



ING. MECATRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero en Mecatrónica.

AUTOR: Jean Carlos Tituana Asanza

TUTOR: Ing. Cristina
Giselle Oscullo Naranjo

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TOSTADORA DE CAFÉ
SEMIAUTOMÁTICA CON UNA CAPACIDAD DE 8 KG

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Cristina Giselle Oscullo Naranjo, certifico que conozco al autor del presente trabajo de Investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TOSTADORA DE CAFÉ SEMIAUTOMÁTICA CON UNA CAPACIDAD DE 8 KG”, de Jean Carlos Tituana Asanza, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, reading "Cristina Oscullo Naranjo", enclosed in a thin black rectangular box.

.....

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Agradecimientos

Es con gran emoción y gratitud que dedico estas líneas para expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de esta tesis. Este trabajo representa el fruto de años de esfuerzo, dedicación y aprendizaje, y no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de muchos individuos.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia. Su amor incondicional, apoyo constante y comprensión han sido el pilar que ha sostenido mi camino hacia la culminación de esta tesis. A mis padres, hermanos y demás familiares, les agradezco profundamente por creer en mí, por su paciencia y por ser mi fuente de fortaleza durante este recorrido. Su apoyo incondicional y su sacrificio han sido la base sobre la cual he construido mis logros académicos.

En segundo lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi directora de tesis, Cristina Oscullo, por su guía experta, paciencia y orientación a lo largo de este proceso. Su conocimiento y experiencia han sido invaluable en la dirección de mis investigaciones y en la formulación de las ideas plasmadas en este documento. Agradezco sinceramente su apoyo constante y sus valiosos comentarios, los cuales han enriquecido significativamente este trabajo.

Asimismo, quiero expresar mi reconocimiento a mis profesores y mentores, quienes han compartido su experiencia y conocimientos durante mi formación académica. Su apoyo y estímulo constante han sido una fuente inagotable de inspiración y motivación para alcanzar mis metas. Agradezco su compromiso con la excelencia académica y su dedicación para impulsar mi desarrollo intelectual.

Además, deseo agradecer a mis compañeros de estudio y amigos, quienes han sido una fuente invaluable de apoyo emocional y compañerismo. Sus palabras de aliento, discusiones estimulantes y colaboración en proyectos conjuntos han enriquecido mi experiencia académica y han hecho de este viaje una experiencia más significativa y gratificante. Su amistad y camaradería han sido una fortaleza en momentos de desafío y una fuente de alegría en cada etapa de este proceso.

En resumen, agradezco a todas las personas que han sido parte de este viaje, ya sea

directa o indirectamente. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi formación como estudiante y como persona. Su contribución ha sido invaluable, y esta tesis no habría sido posible sin su generosidad, aliento y confianza.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema	1
2.	Objetivos	1
2.1.	General	1
2.2.	Específicos	1
3.	Problemática	1
4.	Hipótesis	2
5.	Estudio Teórico del Proceso de Tostado de café	3
5.1.	Secado	3
5.2.	Tostado	4
5.3.	Curvas de Tueste	6
5.4.	Normas en el Ámbito Alimenticio	8
6.	Diseño Conceptual	9
6.1.	Especificaciones Técnicas	9
6.2.	Casa de la Calidad (QDF)	9
6.3.	Análisis Funcional	12
6.4.	Matriz Morfológica	15
6.5.	Matriz de Residuos Ponderados	16
7.	Diseño Mecánico	18
7.1.	Dimensionamiento de la Tolva	18
7.2.	Dimensionamiento del Tambor	20
7.3.	Dimensionamiento del recipiente de enfriado	24
7.4.	Dimensionamiento del Eje	24
7.5.	Diseño Estructural de la Máquina	35
8.	Dimensionamiento Electrónico	37
8.1.	Controlador	37
8.2.	Pantalla	38
8.3.	Motor	39
8.4.	Motor Paso a Paso	40

8.5.	Fuente de Alimentación DC	40
8.6.	Controlador para Motor a Pasos	41
8.7.	Controlador Termocupla	42
8.8.	Protección Circuito de Control y Circuito de Potencia	42
8.9.	Relé	44
8.10.	Selección Luces Piloto	44
8.11.	Selección Pulsador Paro de Emergencia	44
9.	Desarrollo de la Programación	45
9.1.	Qt y Python	45
9.2.	Modelamiento de curvas de tueste	46
9.3.	Programación	49
9.4.	Construcción	50
10.	Pruebas y Resultados	55
10.1.	Prueba 1: Pre calentamiento de la tostadora	55
10.2.	Prueba 2: Tiempo de tostado con variación de carga	57
11.	Conclusiones	59
12.	Recomendaciones	60

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Secado al Sol	3
2. Secador Mecánico	4
3. Niveles de tueste escala de Agtron	5
4. Tostado artesanal	5
5. Curva de tueste	6
6. Desarrollo de las fases de tueste de acuerdo a la temperatura	7
7. Análisis de la Competencia	10
8. Correlaciones	11
9. Características técnicas de mayor importancia	12
10. Casa de la Calidad	13
11. Análisis funcional Nivel 0	14
12. Análisis funcional Nivel 1	14
13. Análisis funcional Nivel 2	15
14. Alternativas de diseño	17
15. Alternativa seleccionada	17
16. Modelado 3D	18
17. Vista explosionada del modelo a simular	21
18. Disposición de elementos del tambor	21
19. Potencia calorífica	22
20. Contactos entre componentes	22
21. Convección y Mallado	23
22. Simulación	23
23. Mezclador	25
24. DCL Eje	25
25. Diagrama de cuerpo libre	32
26. Diagrama de Bloques	37
27. Raspberry Pi 4	38
28. Waveshare modelo 7inch HDMI LCD	39

29. Motor de 0.5HP	39
30. Nema 23	40
31. Fuente ATX500W	41
32. Driver TB6612FNG	42
33. Driver MAX6675	42
34. Interruptor A9K24206	43
35. Interruptor A9K24216	43
36. Relé	44
37. Luz Piloto	45
38. Pulsador Paro de Emergencia	45
39. Curva de tueste 1	47
40. Curva de tueste 2	47
41. Perfil de tueste 1	48
42. Perfil de tueste 2	48
43. Diagrama de Flujo Parte 1	49
44. Diagrama de Flujo Parte 2	50
45. Diagrama de Flujo Parte 3	50
46. Corte de piezas	51
47. Piezas frontales	51
48. Piezas internas	52
49. Tambor previo al rolado	52
50. Rolado del tambor de tostado	53
51. Tolva	53
52. Ensamblaje parcial	54
53. Instalación de componentes eléctricos	54
54. Ensamblaje Final	55
55. Tiempo de precalentamiento de la tostadora en un ambiente abierto y en un ambiente cerrado	56
56. Tostadora con carga de 4 kg	57
57. Tostadora con carga de 6 kg	58

58. Tostadora con carga de 8 kg	58
59. Producto Obtenido	59

ÍNDICE DE TABLAS

1. Tostadoras de Café Comerciales	7
2. Normas de Alimentos	8
3. Asignación de Letras a Criterios de Ponderación	16
4. Análisis de Alternativas	16
5. Análisis de Entradas y Salidas	37
6. Características Principales Raspberry Pi 4	38
7. Características Principales HMI	39
8. Características Principales Motor	40
9. Características Principales Fuente ATX500W	41
10. Características Principales Driver TB6612FGN	41
11. Datos de para perfil de calor 1	47
12. Datos de para perfil de calor 2	48
13. Resultados obtenidos del Precaentamiento en un ambiente cerrado	56
14. Resultados obtenidos del Precaentamiento en un ambiente abierto	56
15. Resultados para perfil de tueste 1	58
16. Resultados para perfil de tueste 2	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Matriz morfológica	66
Anexo B: Análisis de alternativas	68
Anexo C: Propiedades Mecánicas del Acero	70
Anexo D: Factores de acabado superficial	71
Anexo E: Factores de confiabilidad	72
Anexo F: Hoja de Datos Motor WEG 0,5HP	73
Anexo G: Planos de construcción	75

TOSTADORA DE CAFÉ INTELIGENTE

1. Tema

El tema del proyecto planteado es el diseño y construcción de una tostadora de café semiautomática con una capacidad de 8 kg.

2. Objetivos

2.1. General

- Diseñar y construir una máquina semiautomática tostadora de café con una capacidad de tueste 8 kg por ciclo.

2.2. Específicos

- Investigar acerca de las diferentes formas de tostado de café.
- Investigar máquinas similares disponibles en el mercado para tueste de café.
- Diseñar los elementos mecánicos eléctricos y electrónicos para la máquina de acuerdo a requerimiento del usuario final, que sea portátil, calentamiento eléctrico y con una capacidad de procesamiento de 8. de café tostado de acuerdo a perfiles establecidos de tueste y calidad.
- Construir el prototipo con materiales de procura local.
- Implementar un HMI que permita la interacción intuitiva entre el sistema y el usuario.
- Realizar las pruebas de funcionamiento.

3. Problemática

El café ecuatoriano tiene uno de los sabores más deliciosos, sin embargo, la producción se redujo un 24 % el último año, debido a la falta de renovación de los cultivos [1].

La reducción se debe principalmente a que solo el 44 % de los productores pertenece a asociaciones [2], teniendo beneficios potenciales para seguir en el mercado. El 56 % restante que en su mayoría son pequeños productores que tienen que vender sus productos a mayoristas o intermediarios, haciendo que sus cultivos dejen de ser rentables.

Zaruma es una de las ciudades que se caracteriza por ser productora de café, pero dentro de una investigación de campo realizada se pudo determinar que no existe ningún lugar donde un pequeño productor de café puede realizar el tostado del mismo para así llegar directamente al consumidor final, incluso las empresas que se encuentran dentro de la ciudad no cuentan con equipos para realizar tostado de café, por lo tanto, realizan este proceso fuera de la ciudad.

El proceso de tostado es lo que mayor valor agregado le da al café [3] [4], y a que un quintal de \$250 dólar puede pasar a valer más de \$450 dólares [2], haciendo que los mayoristas perciban la mayor parte de la ganancia, por este motivo el presente proyecto se enfoca en desarrollar una máquina portátil y económica, a ser construida con materiales de procura local y que incorpore tecnología que permita tostar café de forma manual o semi-automática teniendo la posibilidad de elegir entre diferentes tipos de tostado para garantizar la calidad del producto.

4. Hipótesis

El prototipo de máquina tostadora de café permite realizar diferentes tipos de tuestes que varían de medio a oscuro a partir del color del grano de café tostado. La máquina semiautomática portátil permite el tueste de hasta 8 kg por ciclo de tueste en un tiempo menor o igual a 20 minutos y consta de una estructura con una tolva para introducir el café a un tambor precalentado que dispone de paletas internas para el tueste homogéneo del café mediante resistencias eléctricas y rotación del tambor mediante un motor eléctrico. La máquina cuenta con un sistema de control de temperatura, tiempo y perfil de tueste, así como una pantalla HMI para que el operador pueda seleccionar el tipo de tueste y calidad deseada dependiendo del tipo de café que se introduzca.

5. Estudio Teórico del Proceso de Tostado de café

5.1. Secado

El proceso de secado del café es crucial en la producción de café, ya que afecta directamente la calidad final del grano. El objetivo del secado es reducir la humedad del café a un nivel adecuado para su almacenamiento y comercialización, evitando la proliferación de mohos y hongos que podrían dañar el producto.

Empieza justo después de su recolección, con el despulpado de los frutos, en esta etapa se separa los granos de la pulpa y la piel del fruto. Esto se puede hacer mecánicamente o de forma tradicional mediante el uso de equipos manuales. La siguiente etapa del proceso es la fermentación de los granos determinado para eliminar los residuos remanentes de la pulpa y la miel que rodean el grano. La fermentación también puede contribuir a mejorar el sabor del café, ya que afecta la composición química del grano [5].

Después de la fermentación, los granos de café se lavan para eliminar los restos de mucílago y la última capa de piel que aún puedan estar adheridos. Antes de proceder con la etapa final del secado.

El método de secado más común y tradicional es el secado al sol. Los granos lavados se extienden sobre superficies planas, como patios de cemento o bandejas, para que se sequen al aire libre. Durante este proceso, los granos deben ser movidos periódicamente para garantizar una sequedad uniforme y para evitar que se fermenten nuevamente [5]. Este método se muestra en la Figura 1 [5].



Figura 1. Secado al Sol

Aunque en algunas fincas cafeteras, especialmente en áreas donde las condiciones climáticas no son ideales para el secado al sol, se utilizan secadoras mecánicas para acelerar el proceso de secado. Estas máquinas controlan la temperatura y la humedad para secar los granos de manera eficiente y uniforme [5]. En la Figura 2 [5] se muestra un secador mecánico.



Figura 2. Secador Mecánico

Es esencial asegurarse de que los granos de café alcancen el nivel de humedad óptimo, que suele estar alrededor del 10-12%. Un contenido de humedad incorrecto puede afectar negativamente la calidad y la vida útil del café [5].

Después del secado, los granos de café se dejan reposar durante un período determinado, generalmente al menos un par de semanas. Esto ayuda a que los sabores y aromas del café se desarrollen completamente antes de ser comercializados o tostados.

La duración del proceso de secado puede variar según las condiciones climáticas, la altitud y la técnica utilizada, pero siempre es fundamental garantizar una sequedad adecuada para preservar la calidad del café y permitir su almacenamiento seguro.

5.2. Tostado

La etapa donde el grano de café adquiere el mayor valor agregado es en el tostado, existen varios tipos de tostado del grano de café y estos se definen por el color del grano, tiempo de tostón y las temperaturas que se realiza el proceso. La escala de Agtron permite determinar el tipo de tostado a partir del color del grano de café. Según esta escala existen

3 tipos de tueste oscuro, 2 tipos de tueste medio y 3 tipos de tueste claro [4]. Como se muestra en la Figura 3 [4].

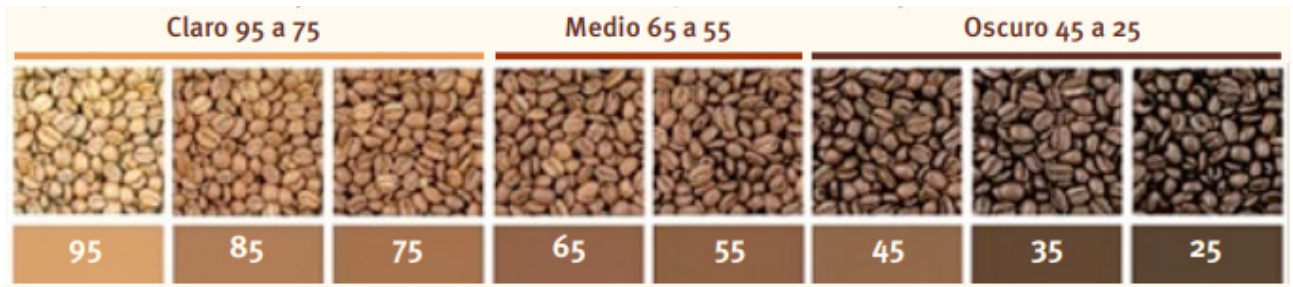


Figura 3. Niveles de tueste escala de Agtron

Tostado Artesanal

El sabor del café es determinado por una gran cantidad de factores que van desde la variedad, el origen, la forma de recogida, la altura la molienda, etc. El proceso de tostado es uno de los que mayor influencia tiene en el sabor, color y aroma final del café. El tostado artesanal se refiere a la no utilización de maquinaria industrial moderna y automatizada con la que se procesan grandes cantidades de café en un solo ciclo de tostado. Sino a pequeños mecanismos diseñados localmente como se muestra en la Figura 4 [6] para procesar pequeñas cantidades de café que generalmente son alimentados con leña o gas. Un maestro tostador es quien se encarga del proceso, con la experiencia adquirida a lo largo de los años es capaz de llevar el café hasta el punto deseado [6].



Figura 4. Tostado artesanal

5.3. Curvas de Tueste

Una curva de tueste indica la temperatura que debe tener el café en cada instante de tiempo durante el tostado para que el café adquiera ciertos sabores particulares al final del proceso. Las curvas de tueste pueden predecir las características de un café en la taza. Para elaborar una curva de tueste es necesario tener en cuenta que se debe anotar las temperaturas registradas en intervalos fijos de tiempo hasta llegar a obtener el producto final. Además, se requiere tener en cuenta otros aspectos como: porcentaje de humedad, peso inicial, peso final, origen y densidad. En la Fig. 5 [7], se muestra una curva de tueste.

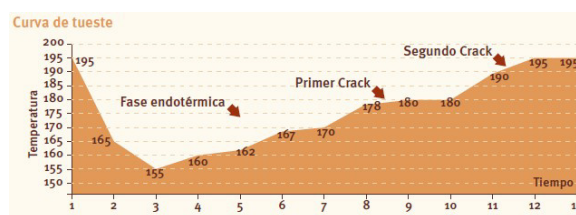


Figura 5. Curva de tueste

Característica de Tostadoras de Café Comerciales

En la industria cafetera el tostado es una parte fundamental ya que puede otorgar distintos sabores para una misma variedad de café. Las tostadoras automáticas pueden facilitar el proceso y reducir el tiempo de tostado, con la ventaja de ser simple de operar y además se pueden procesar desde 50 hasta 2500 kg/h de café. Estas tostadoras están diseñadas para replicar cubas de calor que van desde los 150 hasta los 250°C [4]. Como se indica en la Figura 6 [4].

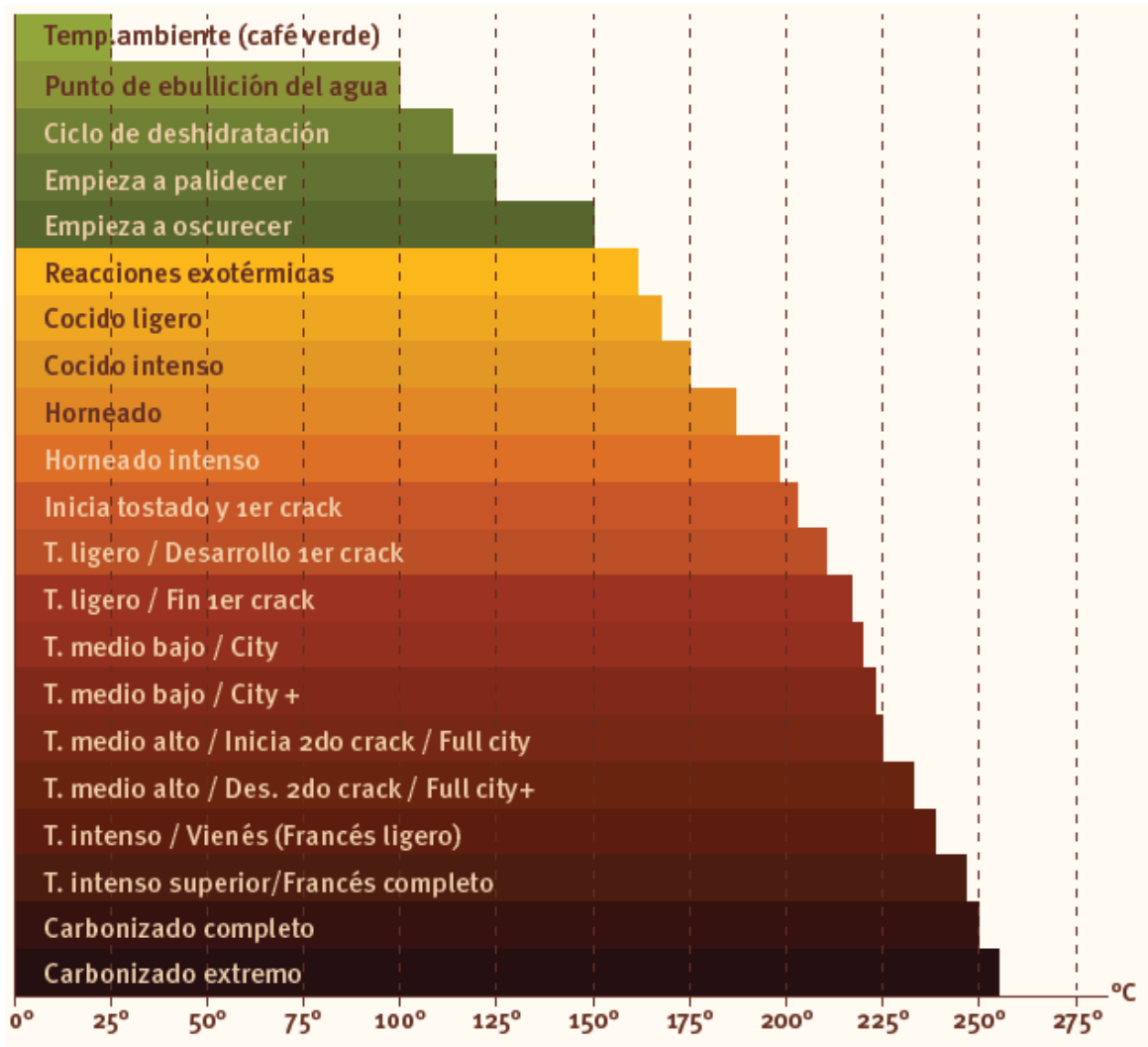



Figura 6. Desarrollo de las fases de tueste de acuerdo a la temperatura

Existen varias marcas que fabrican tostadoras de café de manera comercial con diferentes precios y capacidades, estas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tostadoras de Café Comerciales

Descripción	Imagen
<p>INNOENVAS TNS-8000: Esta tostadora de café automática puede procesar hasta 32 kg/h, cuenta con 3 modos de funcionamiento que son: automático, semi automático y manual. Puede replicar curvas de calor de procesos previos. Su precio es de 5000 dólares [8].</p>	

Descripción	Imagen
<p>DISCAF TN-2: Esta tostadora automática tiene una capacidad de 2 kg por ciclo de tueste y un máximo de 8 kg/h, cuenta con 2 modos de funcionamiento: automático y manual. Puede replicar curvas de calor de procesos previos. Su precio es 3500 dólares [9].</p>	
<p>CARMOMAQ CALORATTO: Esta tostadora de café automática se fabrica en diferentes tamaños que van desde los 5kg por lote o 20 kg/h hasta los 30 kg por lote o 120 kg/h, cuenta con panel de selección donde se pueden elegir entre varios tipos de tostado [10].</p>	

5.4. Normas en el Ámbito Alimenticio

En la Tabla 2 se presentan las normas aplicadas al área alimenticia y su respectiva descripción.

Tabla 2. Normas de Alimentos

Norma	Descripción
FDA CFR Title 21 Parts 170-179 Food Additives	Materiales y componentes que pueden estar en contacto directo con alimentos.
CPE INEN 01:1987	Código de práctica para manipulación de alimentos.
RTE INEN 131	Seguridad e higiene de maquinaria para procesamiento de alimentos.
INEN-EN 1672-1	Maquinaria para procesamiento de alimentos. Conceptos básicos. Parte 1: Requisitos de seguridad.
IEC 60529	Grados de protección IP en los equipos e instalaciones.

Norma	Descripción
ISO 12100:2012	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.

En base a estas normas se realiza la selección de materiales para el diseño de la tostadora de café inteligente.

6. Diseño Conceptual

6.1. Especificaciones Técnicas

El análisis de las especificaciones técnicas se realiza a partir de los requerimientos y expectativas del usuario, para diseñar un producto de calidad. La calidad se define como “el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confiere la aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas” [11]. Mediante las especificaciones técnicas se determina el diseño de la tostadora y se especifican las prioridades del cliente. Logrando crear un diseño de calidad para satisfacer al cliente. En la siguiente sección se encuentra el desarrollo de la QFD, de este se obtiene que una de las características más relevantes es poder realizar distintos tipos de tostados, replicar curvas de calor y su precio. Que cumpla con las normas de seguridad industrial y que sea modular para facilitar su limpieza son otros aspectos a tener en cuenta.

6.2. Casa de la Calidad (QDF)

Voz del Usuario

La voz del usuario son las necesidades y los requerimientos de los pequeños productores para el diseño de la tostadora de café. Se detallan los requerimientos a continuación:

- Capacidad de tostado 8kg de café seco.
- Realizar diferentes tipos de tostado.
- Proceso de tostado automático.

- Tiempos de tostado adecuados.

Análisis de la Competencia

Para el análisis de la competencia se analizan 2 tostadoras de café comerciales. El análisis de la competencia proporciona la información necesaria para realizar un diseño de tostadora de café competitivo en el mercado. Con el análisis se pudo determinar que un aspecto muy importante para tener una máquina competitiva es precio ya que las disponibles en el mercado son bastante costosas, además la tostadora tiene que poder replicar diversas curvas de calor para obtener los diferentes tipos de tostado y también se tiene que cumplir las diferentes normas para fabricación de maquinaria alimenticia. En la Figura 7 se presenta el análisis de la competencia.

		Evaluación del usuario		
		Pequeños productores	Competencia 1	Competencia 2
Elegir el tipo de tostado	B	3	5	4
Fácil Limpieza	B	4	4	3
Fácil de encender	O	3	3	4
Replicar curvas de calor	B	3	3	4
Compacto	E	5	2	3
Ligero	E	4	2	3
Fácil mantenimiento	O	3	5	3
Seguro	B	3	5	4
Funcionamiento silencioso	E	2	3	5
Fácil de cargar la máquina	B	3	5	3
Costo	B	5	2	3

Figura 7. Análisis de la Competencia

Voz del Ingeniero

Las demandas subjetivas del usuario se deben describir como características técnicas medibles de forma que se satisfagan las demandas del usuario y se tenga una base para crear un diseño.

- Diseñar una tolva capaz de almacenar y suministrar 8kg de café seco.
- Diseñar un sistema de mezclado que gire a 12rpm.

- Diseñar una estructura que soporte el peso de la tostadora.
- Diseño mecánico de la tostadora de café.
- Implementación de un sistema de control para controlar el proceso de tostado.
- Diseño de sistema de enfriamiento.

Correlaciones

Dentro de este punto se analiza hasta que punto se puede satisfacer los requerimientos del cliente a partir de las características técnicas seleccionadas en la voz del usuario. Existen tres distintos grados de satisfacción, si es débil se coloca 1, si es medio se coloca 3 y si es fuerte se coloca 9, si no tienen relación entre las características técnicas y los requerimientos no se coloca ningún valor. Los valores que se asignaron a los requerimientos del usuario según las características técnicas encontradas se pueden observar en la Figura 8.

	VOZ DEL INGENIERO	Tipos de tostado disponibles	Modular	Tiempo de encendido	Replicar curvas de calor	Volumen de la tostadora	Peso de la tostadora	Numero de indicadores de falla	Cantidad de protecciones	Nivel de ruido	Capacidad de carga	Precio
Elegir el tipo de tostado	B	9			3							3
Fácil Limpieza	B	1	9								1	
Fácil de encender	O			9								
Replicar tipos de tostado	B	3			9							3
Compacto	E		1			9	3			1		
Ligero	E		1			3	9			1		
Fácil mantenimiento	O		3			1		9	3		1	1
Seguro	B					1		3	9			
Funcionamiento silencioso	E	1		1		1	1			9		
Fácil de cargar la maquina	B	3									9	
Costo	B	1				3						9

Figura 8. Correlaciones

Evaluación Técnica

Con esta evaluación se finen las características técnicas que tienen mayor importancia en el diseño de la tostadora . En la Figura 9 se puede observar la importancia de cada una de las características, de la misma obtenemos que los aspectos más relevantes para el diseño de la tostadora son poder realizar distintos tipos de tostado, replicar curvas de calor y el precio.

Características Técnicas	%
Tipos de tostado disponibles	14%
Modular	11%
Tiempo de encendido	5%
Replicar curvas de calor	14%
Volumen de la tostadora	7%
Peso de la tostadora	5%
Numero de indicadores de falla	11%
Cantidad de protecciones	9%
Nivel de ruido	6%
Capacidad de carga	5%
Precio	13%

Figura 9. Características técnicas de mayor importancia

Implantación de Casa de la Calidad

Con todo el análisis previo se procede a implementar la casa de la calidad como se muestra en la Figura 10.

6.3. Análisis Funcional

Este análisis se realiza al descomponer el sistema que se pretende diseñar en bloques funcionales, estos interactúan entre sí de tal manera que cumplen el objetivo para el cual fue diseñada la máquina.

Nivel 0

En este nivel el proceso es representado de manera general donde en el ingreso se tiene materia prima, energía y señal, con esto se desea obtener una tostadora de café inteligente y obtener los datos técnicos como son planos mecánicos, planos eléctricos, planos

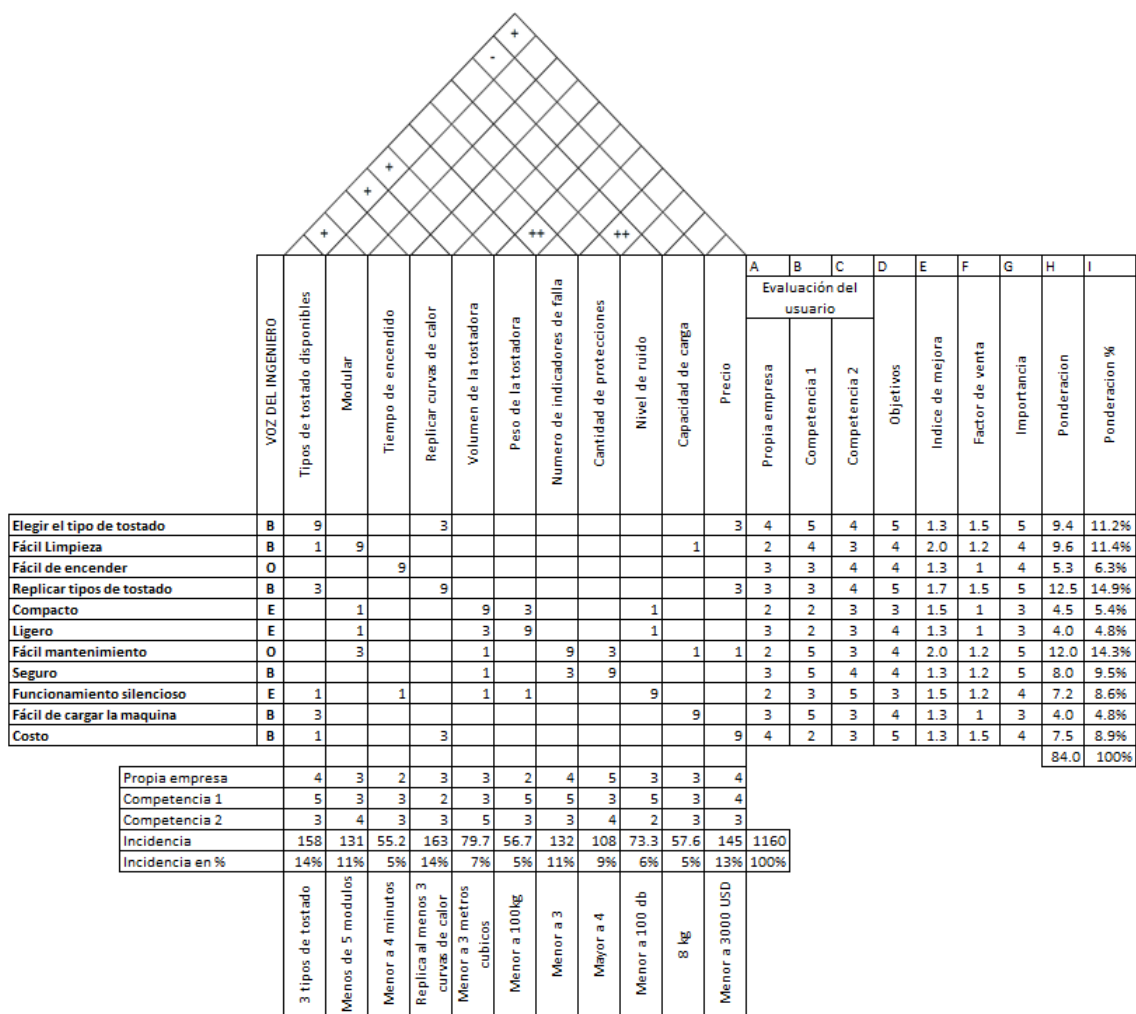


Figura 10. Casa de la Calidad

informáticos y una máquina funcional. El nivel 0 se puede observar en la Figura 11.

Nivel 1

En este nivel se generan dos módulos, uno mecánico y el otro de control, donde se presentan todos los procesos comprendidos en el diseño de la máquina. El nivel 1 se presenta en la Figura 12

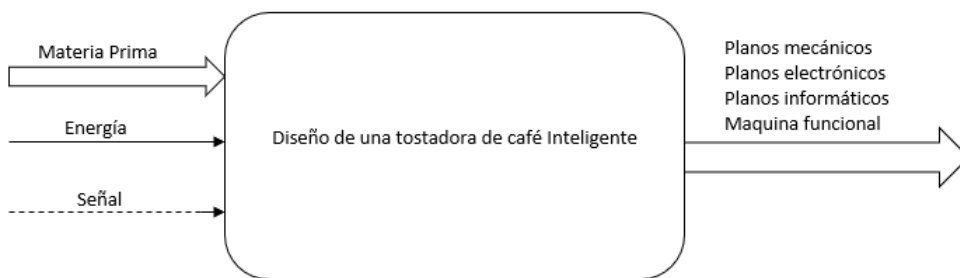


Figura 11. Análisis funcional Nivel 0

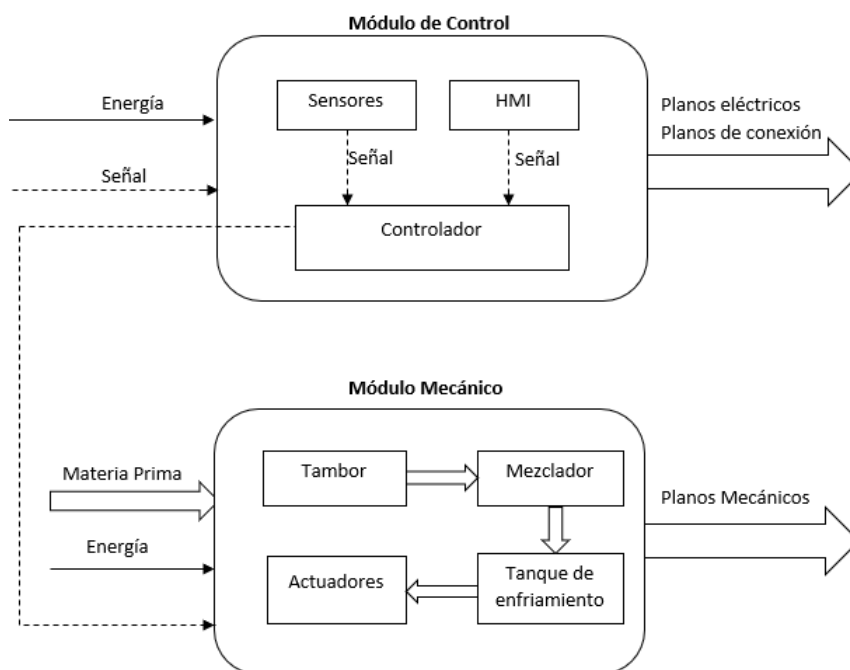


Figura 12. Análisis funcional Nivel 1

Nivel 2

En este nivel se generan dos módulos, uno mecánico y el otro de control, donde se presentan todos los procesos comprendidos en el diseño de la máquina. El nivel 1 se presenta en la Figura 13

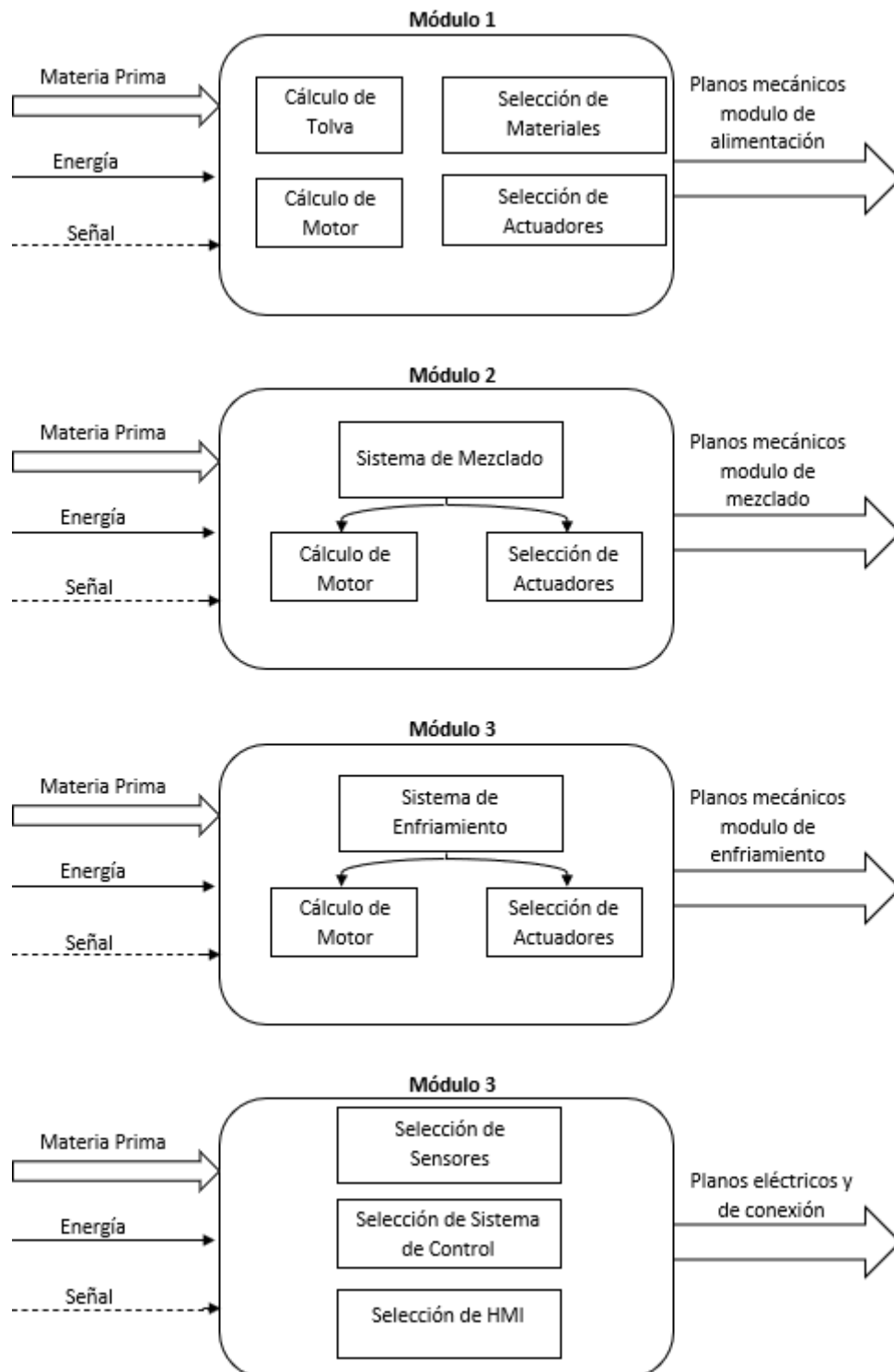


Figura 13. Análisis funcional Nivel 2

6.4. Matriz Morfológica

En la matriz morfológica presentan las distintas opciones que se tiene para cada requerimiento de la máquina. Una vez se conoce la opción se determina las diferentes combinaciones que son creadas con las soluciones de los módulos funcionales que conforman

el sistema. De estas combinaciones se selecciona la alternativa que mejor se adapta al proyecto. El Anexo A muestra la tabla de alternativas de la matriz morfológica y sus 4 alternativas resultantes.

6.5. Matriz de Residuos Ponderados

En la matriz de residuos ponderados se observa cual alternativa de las generadas en la matriz morfológica es la que mejor se adapta al proyecto, la selección se la realiza mediante criterios típicos de evaluación que se indican en el Anexo B. Además se determina la importancia de cada criterio y se compara cada alternativa según cada criterio.

En la Tabla 3 se asignan letras a cada uno de los criterios de ponderación y en la Tabla 4 se muestran los resultados de los cuatro criterios de ponderación evaluados para cada una de las alternativas. La alternativa una tiene un valor de 0.290 siendo la más idónea para el diseño de la tostadora. En las Figura 14 se pueden observar las alternativas que se analizó para realizar la matriz de residuos ponderados.

Tabla 3. Asignación de Letras a Criterios de Ponderación

ASIGNACIÓN	CRITERIOS
A	Precisión
B	Capacidad
C	Seguridad
D	Limpieza

Tabla 4. Análisis de Alternativas

	A	B	C	D	$\sum +1$	Prioridad
Alternativa 1	0.105	0.088	0.052	0.045	0.290	1
Alternativa 2	0.060	0.038	0.022	0.105	0.225	3
Alternativa 3	0.060	0.050	0.052	0.105	0.267	2
Alternativa 4	0.075	0.075	0.023	0.045	0.218	4

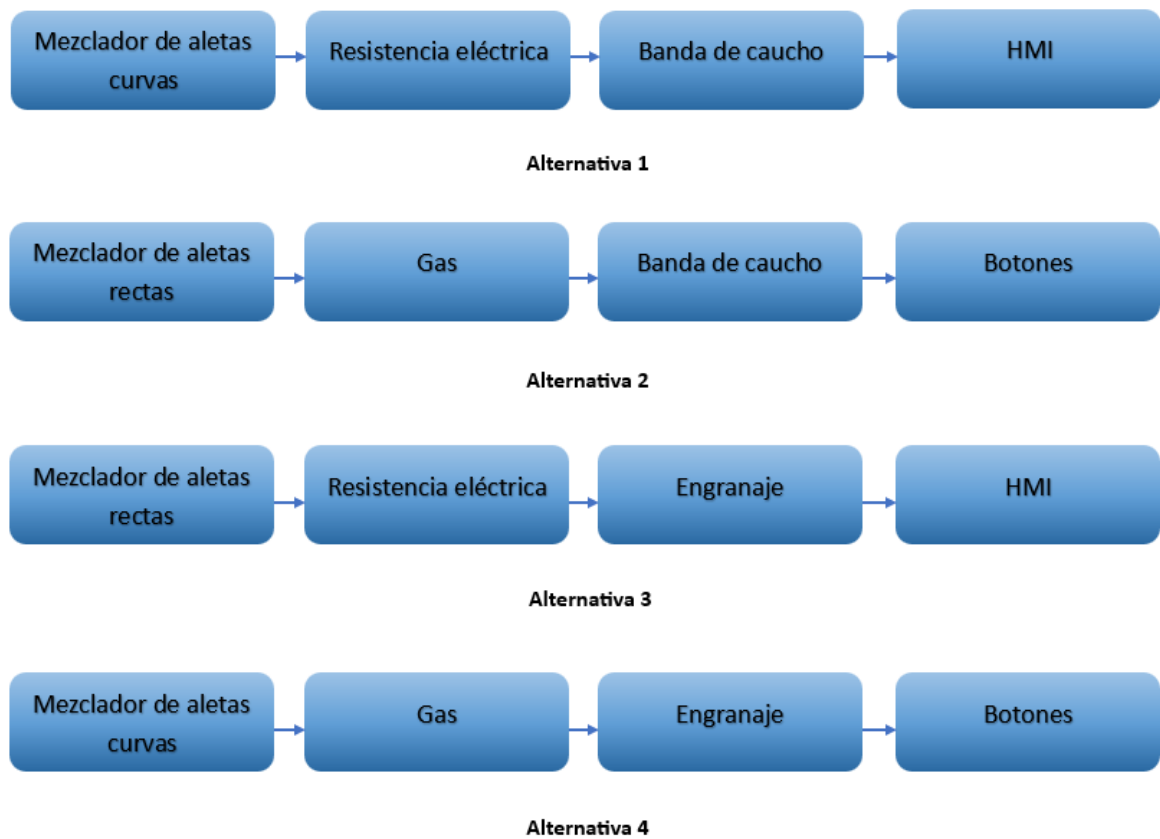


Figura 14. Alternativas de diseño

A partir del resultado obtenido mediante la matriz de residuos ponderados se empieza, el dimensionamiento de cada uno de los elementos mecánicos que conforman la tostadora. Las partes que conforman la alternativa seleccionada se muestran en la Figura 15.



Figura 15. Alternativa seleccionada

Esta alternativa consiste en una tolva donde se acumula el café antes del proceso de tostado, un mezclador de aletas curvas con el que se mezcla el café dentro del tambor, una resistencia para calentar el café hasta la temperatura deseada, una banda de caucho para transmitir el movimiento del motor al mezclador de aletas curvas, un sistema de enfriamiento, un HMI donde se puede seccionar distintos tipos de tostado para el café y una cámara que verificara que el producto obtenido cumpla con las características de tostado deseadas como se muestra en la Figura 16.

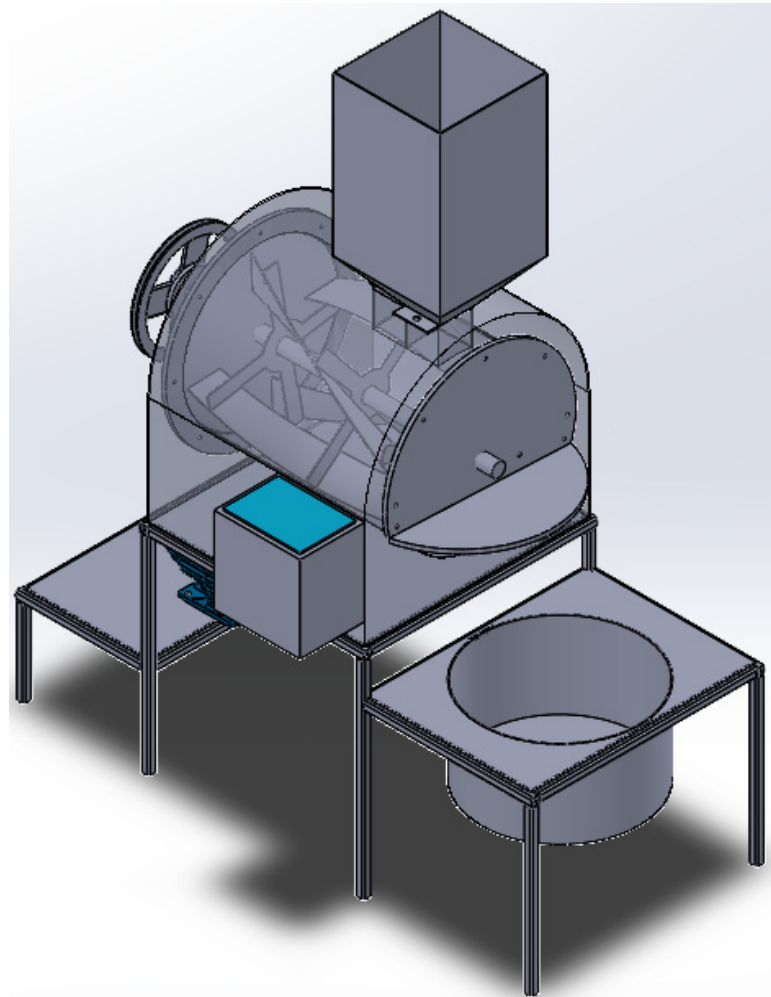


Figura 16. Modelado 3D

7. Diseño Mecánico

En esta sección se muestra el diseño de cada uno de los elementos mecánicos de la tostadora de café empezando por la tolva donde se almacenan los 8kg de café, el tambor donde se realiza el agitado del café para el proceso de tostado, el eje del sistema de mezclado y finalmente la estructura donde están colocados cada uno de estos elementos.

7.1. Dimensionamiento de la Tolva

Según los datos obtenidos del cliente, se necesita que la tolva tenga una capacidad para almacenar 8kg de café seco, se sabe que la densidad del café puede variar entre 380 y 450 kg/m^3 [12] [13], para el cálculo se asume el peor de los casos 380 kg/m^3 , debido a que cuando el café tiene esta densidad el volumen de 8 kg de café es mayor. Por lo tanto, se

ocupara una tolva de mayor tamaño.

Para calcular el volumen se utiliza la ecuación(1) [14].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde

ρ densidad, en kg/m³;

m masa, en kg;

V volumen, en m³.

Luego de despejar y reemplazar en (1), se obtiene:

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

$$V = 21052,63 \text{ cm}^3$$

$$V = 0,02105 \text{ m}^3$$

Una vez calculado el volumen que ocupa 8kg de café se procede a calcular las dimensiones del prisma que contiene el café, este cálculo se lo realiza a partir de la ecuación (2) [15], debido a que se necesita realizar un diseño compacto la base de la tolva es un cuadrado de 25 cm de lado y se necesita la altura de la tolva.

$$V = l^2 \cdot h \quad (2)$$

Donde

l lado del cuadrado, en cm;

h altura del prisma, en cm;

V volumen, en cm³.

Luego de despejar y reemplazar en (2), se obtiene:

$$h = \frac{V}{l^2}$$

$$h = 33,68 \text{ cm}$$

El café que ingresa en la tolva por medio de un dispensador DOWSON D971X-10, experimentalmente se determinó que el flujo masico de la tolva al tambor es de 0.7 kgs. Por lo tanto los 8 kg tardarían 12 segundos en pasar de la tolva al tambor. La tolva está diseñada para que no se exceda la capacidad máxima de la tostadora.

7.2. Dimensionamiento del Tambor

El tambor debe tener forma cilíndrica y ser capaz de contener 8kg de café, el volumen del café aumenta al doble y se reduce su peso a la mitad luego del tostado [4], por lo tanto el volumen inicial del café debe ser menor o igual al 40 % del volumen del cilindro debido al aumento de luego del proceso de tostado y también a que se introducirá el sistema de mezclado dentro del tambor. El volumen del cilindro se calcula a partir de la ecuación (3):

$$V = r^2 \cdot \pi \cdot h \quad (3)$$

Donde

r radio del cilindro, en cm;

h altura del cilindro, en cm;

V volumen, en cm^3 .

El volumen del cilindro debe ser de 52631.57 cm^3 , se asume un radio de 18 cm para mantener el diseño compacto, luego de despejar y reemplazar en (3), se obtiene:

$$h = \frac{V}{r^2 \cdot \pi}$$

$$h = 51,70 \text{ cm}$$

Dentro del tambor se lleva a cabo el proceso de tostado del café por lo tanto también es necesario hacer un análisis de la distribución del calor dentro del tambor, esto se simula en SolidWorks con los elementos que se muestran en la Figura 17.

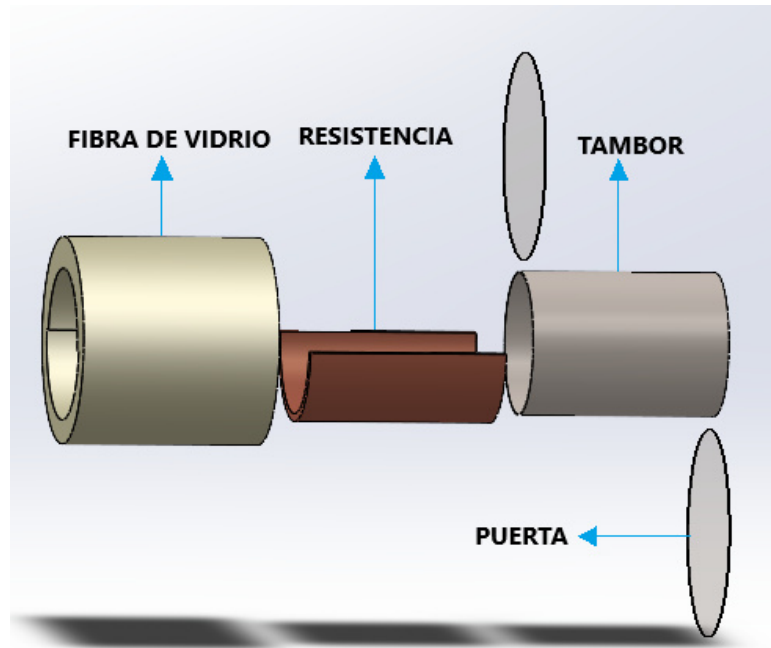


Figura 17. Vista explosionada del modelo a simular

A continuación, se muestra el modelo a simular con la puerta frontal transparente para apreciar de mejor manera la ubicación de los elementos, como se muestra en la Figura 18.

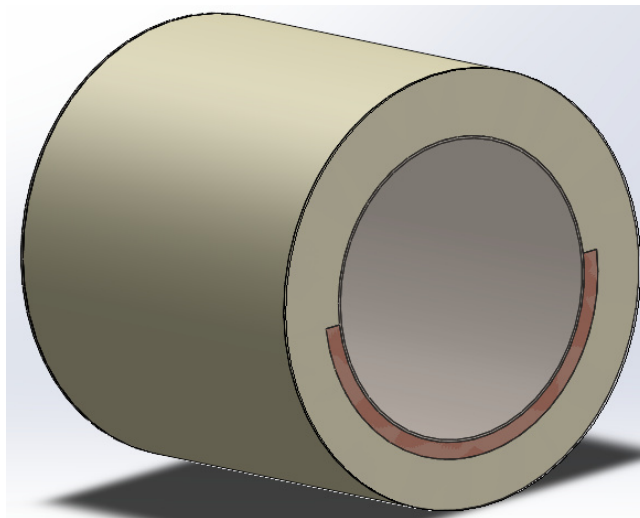


Figura 18. Disposición de elementos del tambor

La resistencia eléctrica emite una potencia calorífica de 2000 w como se muestra en la Figura 19.

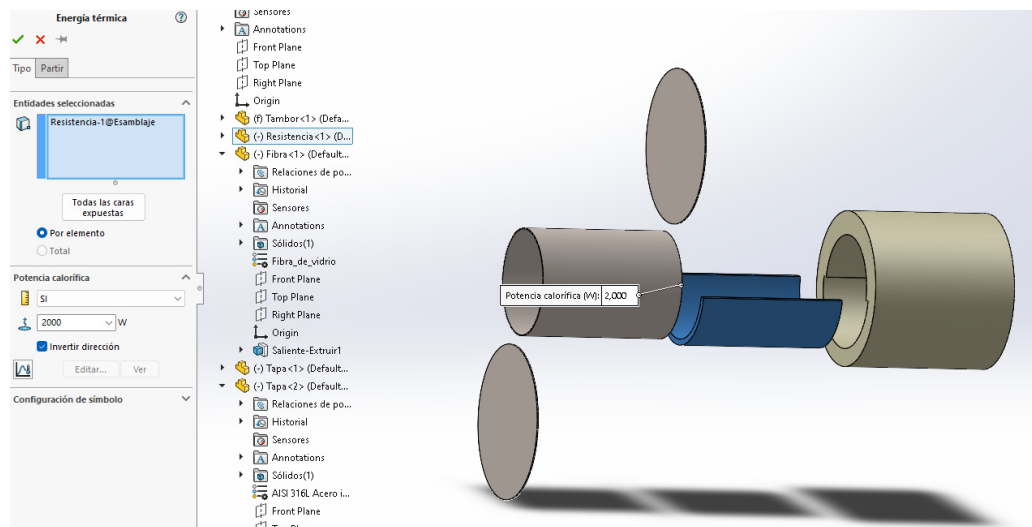


Figura 19. Potencia calorífica

En la Figura 20 se definen los contactos que existen entre cada uno de los elementos.

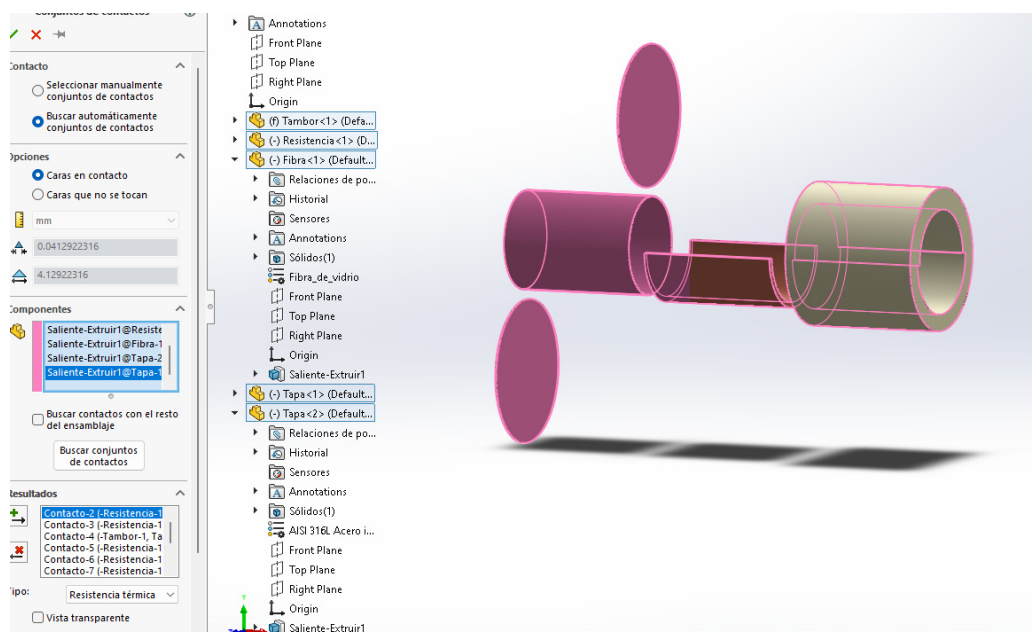


Figura 20. Contactos entre componentes

Se definen las superficies donde existirá convección con el ambiente y se genera un mallado para el elemento esto se muestra en la Figura 21.

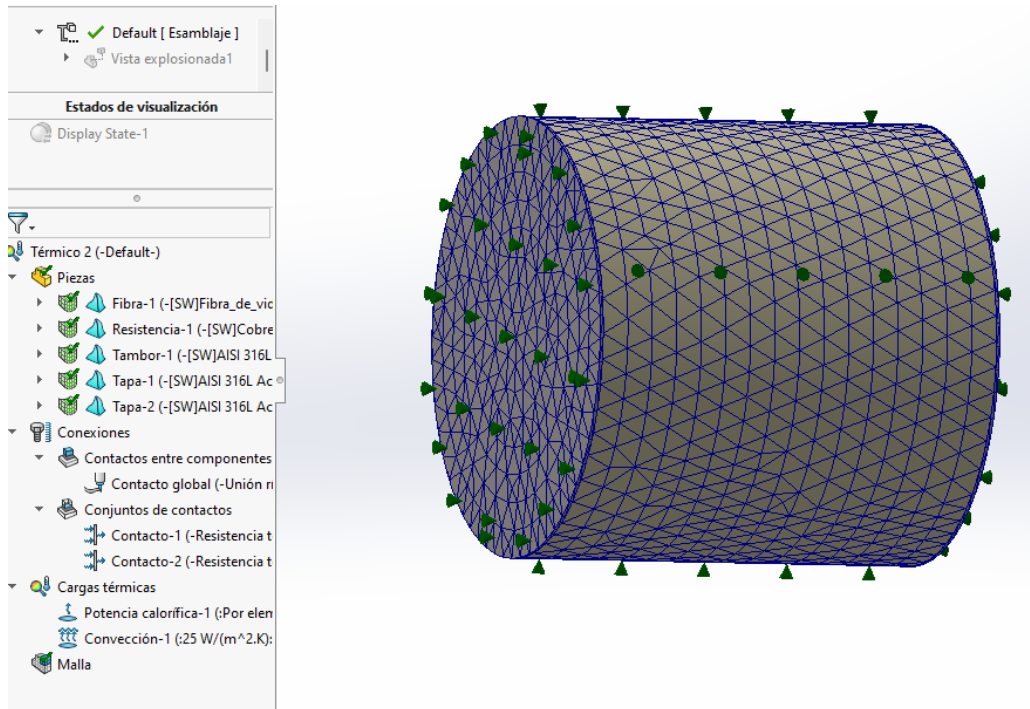


Figura 21. Convección y Mallado

Finalmente se obtienen los resultados de la simulación que se muestran en la Figura 22.

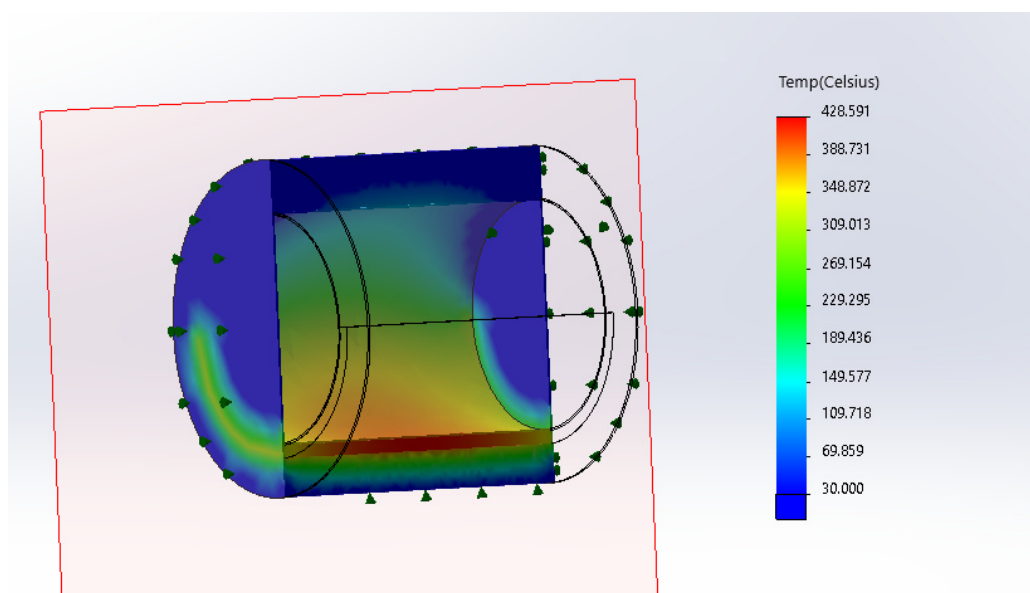


Figura 22. Simulación

Con estos resultados se puede observar que la máxima temperatura dentro del tambor puede llegar a ser 420 °C, por este motivo se requiere un sistema de control para no exceder la temperatura requerida por las curvas de tostado. Además, se puede observar que se aísla de manera eficiente la temperatura en la cubierta del tambor, pero se debe tener cuidado con las puestas que pueden alcanzar temperaturas considerables.

7.3. Dimensionamiento del recipiente de enfriado

El máximo volumen del café tostado es de 52631.57 cm³, se asume un radio de 25 cm para el recipiente de enfriamiento. El volumen del cilindro se calcula a partir de la ecuación (3) y se obtiene:

$$h = \frac{V}{r^2 \cdot \pi}$$

$$h = 26,8 \text{ cm}$$

7.4. Dimensionamiento del Eje

El diseño de un eje es un proceso crítico en la ingeniería. Un eje debe ser capaz de transmitir la carga de un extremo a otro sin deformarse excesivamente o fallar en servicio. Para diseñar un eje adecuado, es necesario considerar una variedad de factores, incluyendo la cantidad y tipo de carga, las dimensiones y la geometría del eje, los materiales utilizados y las condiciones ambientales en las que operará el eje.

La flexión y la torsión son dos tipos de carga comunes que pueden actuar en un eje, y cada una debe ser considerada cuidadosamente en el diseño. La flexión puede ser causada por cargas aplicadas en ángulo recto al eje, mientras que la torsión puede ser causada por cargas aplicadas en dirección axial.

Las aletas y los soportes del mezclador están ensamblados sobre el eje generando cargas de flexión. Además, la polea y el café dentro de maquina crean cargas de torsión por lo tanto primero se realiza análisis tanto a torsión como a flexión.

En la Figura 23 se muestra el mezclador donde se pueden ver de mejor manera las aletas y los soportes que son las cargas de flexión, con ayuda del software de diseño Solid-Works se sabe que el peso de estos elementos es de 3,5 kg.

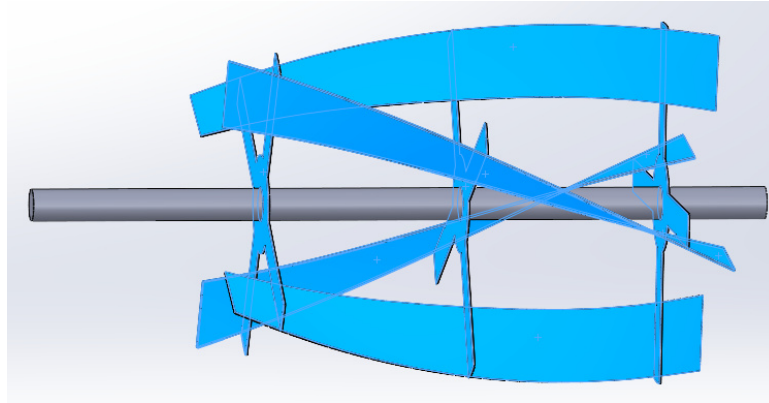


Figura 23. Mezclador

A continuación, en la Figura 24 se muestra el diagrama de cuerpo libre que es una simplificación del modelo [16]. Con este se realizarán los cálculos para dimensionar correctamente el eje que tiene una longitud de 0.504m.

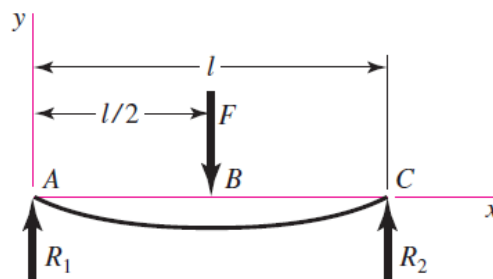


Figura 24. DCL Eje

La fuerza de reacción en las vigas se calcula a partir de la ecuación (4).

$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad (4)$$

Donde

R_1 Fuerza resultante en el punto A, en N;

R_2 Fuerza resultante en el punto B, en N;

F Peso de los elementos mecánicos, en N.

Luego de reemplazar en (4), se obtiene:

$$R_1 = R_2 = \frac{34N}{2}$$

$$R_1 = R_2 = 17N$$

A continuación, se calcula el momento flector en A-B y B-C con ecuación (5):

$$M_{A-B} = M_{B-C} = F_{A-B} \quad (5)$$

Donde

M_{A-B} Momento flector A-B, en Nm;

M_{B-C} Momento flector B-C, en Nm;

F Peso de los elementos mecanicos, en N;

d_{A-B} Distancia entre A-B, en m.

Luego de reemplazar en (5), se obtiene:

$$M_{A-B} = M_{B-C} = 34N \cdot 0,252m$$

$$M_{A-B} = M_{B-C} = 8,57Nm$$

Con el criterio de Goodman modificado ecuación (6), se calcula el factor de seguridad del eje.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (6)$$

Donde

σ_a Esfuerzo estático, en MPa;

σ_m Esfuerzo medio, en MPa;

S_e Limite de resistencia a la fatiga en las condiciones de uso, en MPa.

S_{ut} Esfuerzo último a la tensión, en MPa;

n Factor de seguridad.

Se calcula el esfuerzo estático ecuación (7) y el esfuerzo medio ecuación (8):

$$\sigma_a = \frac{|\sigma_{max} - \sigma_{min}|}{2} \quad (7)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (8)$$

Donde

σ_a Esfuerzo estático, en MPa;

σ_m Esfuerzo medio, en MPa;

σ_{max} Esfuerzo máximo, en MPa;

σ_{min} Esfuerzo mínimo, en MPa.

Para calcular σ_{max} se utiliza ecuación (9) [16]:

$$\sigma_{max} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} \quad (9)$$

Donde

M Momento en el punto de mayor esfuerzo, en Nm;

d Diámetro del eje, en m.

Dentro de los elementos disponible localmente se encuentra un eje de 25.4 mm o 0.0254 m por lo tanto se utiliza este dato como diámetro del eje. Luego de reemplazar en (9), se obtiene:

$$\sigma_{max} = \frac{32 \cdot 8,57Nm}{\pi \cdot 0,0254m^3}$$

$$\sigma_{max} = 5,32MPa$$

Para calcular σ_{min} se utiliza ecuación (10) [16]:

$$\sigma_{min} = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Donde

F Fuerza aplicada al eje, en N;

A Área donde se aplica la fuerza, en m^2 .

El área donde se aplica la fuerza es toda el área lateral del eje y se calcula con la ecuación (11) [16]:

$$A = d \cdot \pi \cdot l \quad (11)$$

Donde

A Área donde se aplica la fuerza, en m^2 ;

d Diámetro de eje, en m.

l Longitud de eje, en m.

Después de reemplazar de estos datos en (11) se obtiene:

$$A = 0,0254m \cdot \pi \cdot 0,504m$$

$$A = 0,402m^2$$

Luego de reemplazar en (10), se obtiene:

$$\sigma_{min} = \frac{34N}{0,402m^2}$$

$$\sigma_{min} = 84,5Pa$$

Con los datos obtenidos se procede a reemplazar en ecuación (7) y ecuación (8) obteniendo:

$$\sigma_a = \frac{|5,32MPa - 84,5Pa|}{2}$$

$$\sigma_a = 2,66MPa$$

$$\sigma_m = \frac{5,32Mpa + 84,5Pa}{2}$$

$$\sigma_m = 2,66MPa$$

El límite de resistencia a la fatiga en las condiciones de uso se calcula con la ecuación (12).

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_{e'} \quad (12)$$

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 modificación por efectos varios.

$S_{e'}$ Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria, en MPa.

El factor de modificación por la condición superficial se calcula con ecuación (13).

$$K_a = aS_{ut}^b \quad (13)$$

Donde

a, b Factores de condición superficial;

S_{ut} Esfuerzo último a la tensión.

Los valores de a y b para maquinado o laminado en frío se pueden observar en el Anexo D [16].

Luego de reemplazar en (13), se obtiene:

$$K_a = 4,51 \cdot 568^{-0,265}$$

$$K_a = 0,84$$

El factor de modificación por el tamaño se calcula con ecuación (14) [16].

$$K_b = \frac{d^{-0,107}}{7,62} \quad (14)$$

Donde

d Diámetro del eje, en mm.

Luego de reemplazar en (14), se obtiene:

$$K_b = \frac{25,4^{-0,107}}{7,62}$$

$$K_b = 0,88$$

El factor de modificación por la carga K_c para cargas de flexión es igual a 1 [16].

El factor de modificación por la temperatura se calcula con ecuación (15) [16]. La temperatura de trabajo del eje es de 250 °C o 482 °F.

$$K_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})T_F - 0,115(10^{-5})T_F^2 + 0,104(10^{-8})T_F^3 - 0,595(10^{-12})T_F^4 \quad (15)$$

Donde

T_F Temperatura del eje, en °F.

Luego de reemplazar en (15), se obtiene:

$$K_d = 0,975 + 0,432(10^{-3}) \cdot 482 - 0,115(10^{-5}) \cdot 482^2 + 0,104(10^{-8}) \cdot 482^3 - 0,595(10^{-12}) \cdot 482^4$$

$$K_d = 1$$

El factor de confiabilidad se establece de acuerdo con la confiabilidad que se requiere para la pieza, para evitar cualquier tipo de inconveniente se elige una confiabilidad del 99 %, con este valor de confiabilidad el factor de confiabilidad K_e es igual a 0,814 como se muestra en el Anexo E [16].

El factor de modificación por efectos varios K_f es igual a 1 ya que el eje no se encuentra expuesto a rozamientos, corrosión o recubrimiento electrolítico [16]. El límite de resistencia a la fatiga se obtiene de la tabla que se muestra en el Anexo C. El valor de S'_e es 276 MPa.

Luego de encontrar y reemplazar las variables en ecuación (12), se obtiene:

$$S_e = 0,84 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 276 MPa$$

$$S_e = 165,87 Mpa$$

El esfuerzo último a la tensión se obtiene de el Anexo C. S_{ut} es igual a 568 Mpa.

Luego de encontrar y reemplazar la variables en ecuación (6), se obtiene:

$$\frac{2,66 MPa}{165,87 MPa} + \frac{2,66 Mpa}{568 MPa} = \frac{1}{n}$$

$$n = 48,23$$

Este factor de seguridad de $n=48.23$ indica que el eje puede soportar de muy buena manera los esfuerzos flectores a los que está sometido durante el proceso de tostado.

Además, es necesario un diseño a torsión para garantizar la funcionalidad de la máquina por lo tanto a partir del DLC de la Figura 25 se realiza el dimensionamiento a torsión con las dimensiones previamente indicadas.

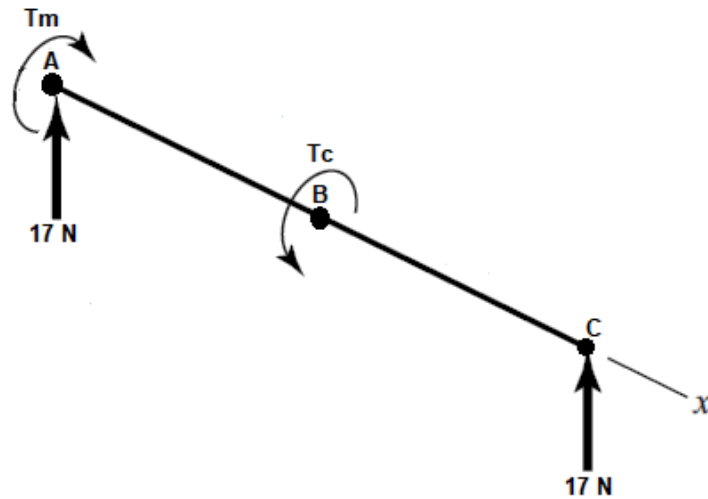


Figura 25. Diagrama de cuerpo libre

El torque del motor es de 2,06 Nm esto se obtiene de la hoja de datos del Anexo F, este motor tiene un reductor por lo tanto es necesario calcular el torque al la salida con la ecuacion (16).

$$\tau_m = \frac{\tau_e \cdot U \cdot V_s}{V_e} \quad (16)$$

Donde

τ_m Torque de salida, en Nm;

τ_e Torque de entrada, en Nm;

V_s Velocidad de salida, en rpm;

V_e Velocidad de entrada, en rpm;

U Eficiencia del reductor.

La eficiencia del reductor es un dato que proporciona el fabricante [17].

Luego de reemplazar en (15), se obtiene:

$$\tau_m = \frac{2,06 Nm \cdot 0,612 \cdot 1730 rpm}{14 rpm}$$

$$\tau_m = 155,79 Nm$$

Los 8 kg de café generan un torque en el eje este se calcula con la ecuación (17).

$$\tau_c = F_c \cdot r_m \quad (17)$$

Donde

τ_c Torque generado por el café, en Nm;

F_c Fuerza generada por el peso del café, en N;

r_m Radio del mezclador, en m.

Luego de reemplazar en (15), se obtiene:

$$\tau_c = 78,4N \cdot 0,18m$$

$$\tau_c = 14,11Nm$$

El esfuerzo torsional máximo, que ocurre entre A y B se calcula con ecuación (18). El esfuerzo torsional mínimo es 0 y se da cuando el mezclador detiene su movimiento ya que en ese instante no existen cargas de torsión.

$$\tau_{max} = \frac{16 \cdot (\tau_m + \tau_c)}{\pi \cdot d^3} \quad (18)$$

Donde

τ_{max} Esfuerzo torsional máximo, en MPa;

τ_m Torque del motor, en Nm;

τ_c Torque generado por el café, en Nm;

d Diámetro del eje, en m;

Luego de reemplazar en (18), se obtiene:

$$\tau_{max} = \frac{16 \cdot (155,79Nm + 14,11Nm)}{\pi \cdot 0,0254^3}$$

$$\tau_{max} = 52,80MPa$$

El factor de seguridad se calcula con el criterio de Goodman modificado ecuación (19).

$$\frac{\tau_a}{S_e} + \frac{\tau_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (19)$$

Donde

τ_a Esfuerzo torsional estático, en MPa;

τ_m Esfuerzo torsional medio, en MPa;

S_e Limite de resistencia a la fatiga en las condiciones de uso, en MPa.

S_{ut} Esfuerzo último a la tensión, en MPa;

n Factor de seguridad.

Se calcula el esfuerzo torsional estático ecuación (20) y el esfuerzo torsional medio ecuación (21):

$$\tau_a = \frac{|\tau_{max} - \tau_{min}|}{2} \quad (20)$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2} \quad (21)$$

Donde

τ_a Esfuerzo torsional estático, en MPa;

τ_m Esfuerzo torsional medio, en MPa;

τ_{max} Esfuerzo torsional máximo, en MPa;

τ_{min} Esfuerzo torsional mínimo, en MPa.

Luego reemplazar en ecuación (20) y ecuación (21) se obtiene:

$$\sigma_a = \frac{|52,80MPa - 0Mpa|}{2}$$

$$\sigma_a = 26,40MPa$$

$$\sigma_m = \frac{52,80MPa + 0MPa}{2}$$

$$\sigma_m = 26,40MPa$$

El límite de resistencia a la fatiga en las condiciones de uso se calcula con la ecuación (12). Los factores que modifican el límite a la fatiga son iguales a los que se utiliza para diseño a flexión al tratarse del mismo eje, con excepción del factor K_c ya que en este caso la carga es de torsión por lo tanto el factor K_c es igual a 0,59.

Luego reemplazar en ecuación (12), se obtiene:

$$S_e = 0,84 \cdot 0,88 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 276MPa$$

$$S_e = 97,92MPa$$

Luego de encontrar y reemplazar la variables en ecuación (6), se obtiene:

$$\frac{26,40MPa}{97,92MPa} + \frac{26,40MPa}{568MPa} = \frac{1}{n}$$

$$n = 3,16$$

Si bien el factor de seguridad es muy alto en el diseño a flexión se justifica ya que se obtiene un factor de seguridad de 3.16 en el diseño a torsión.

7.5. Diseño Estructural de la Máquina

La tostadora tiene que soportar un peso aproximado de 50 kg se necesita una estructura rígida. Por lo tanto el diseño se lo realiza por rigidez considerando la deflexión de los elementos a ser seleccionados. Se considera un parametro de deflexion maximo moderado de $Y_{max} = 0,0005mm/mm$ [18]. Se empieza calculando las columnas de la estructura principal.

Es necesario garantizar que el diseño soporte toda la carga de los componentes de la máquina por lo que se considera el peso de las vigas de la estructura, la tolva, el tambor, la cubierta y componentes eléctricos lo que da un peso aproximado de 50 kg. Con la ecuación (22) se calcula la carga total sobre las columnas.

$$P_t = m_t \cdot g \quad (22)$$

Donde

P_t Carga total, en N;

m_t Masa total, en kg;

g Gravedad, constante 9,8 m/s².

$$P_t = 50\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2$$

$$P_t = 490\text{N}$$

La carga crítica P_{cr} en las columnas se calcula con la ecuación (23).

$$P_{cr} = \frac{1,2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (23)$$

Donde

P_{cr} Carga crítica, en N;

E Módulo de elasticidad del acero inoxidable 304 E, 193 GPa

I Inercia de la viga, 4,85 m⁴;

L Longitud de la viga, 0,54 m.

Luego reemplazar en ecuación (23), se obtiene:

$$P_{cr} = 37,39(10)^3\text{N}$$

El factor de seguridad η se calcula con la ecuación(24).

$$\eta = \frac{P_{cr}}{P_t} \quad (24)$$

$$\eta = 76,31$$

Debido a la alta inercia de las columnas el factor de seguridad es de 76.31 y son capaces de sostener con facilidad la estructura de la máquina.

8. Dimensionamiento Electrónico

Es necesario saber cuáles son los elementos que requiere la tostadora para realizar una correcta selección de los componentes electrónicos, por este motivo se realiza un diagrama de bloques con las partes que integran la tostadora. Como se muestra en la Figura 26.

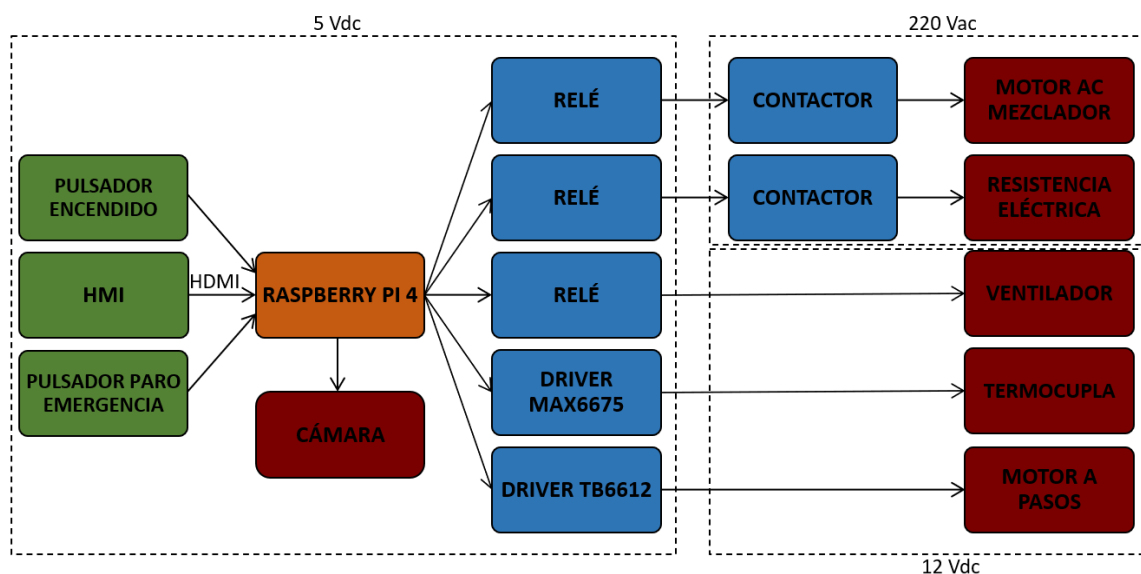


Figura 26. Diagrama de Bloques

Se realiza un análisis de las entradas y salidas del controlador Raspberry Pi 4, el análisis es presentado en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de Entradas y Salidas

I/O	Descripción	Tipo
I/O	Conexión HMI	Digital
O	Señal de activación relé motor mezclador	Digital
O	Señal de activación relé resistencia eléctrica	Digital
O	Señal de activación relé ventilador	Digital
O	Señal de activación motor paso a paso	Digital
I	Señal de driver MAX6675	Digital

8.1. Controlador

El sistema de control utiliza un Raspberry Pi 4, el modulo se observa en la Figura 27 [19].

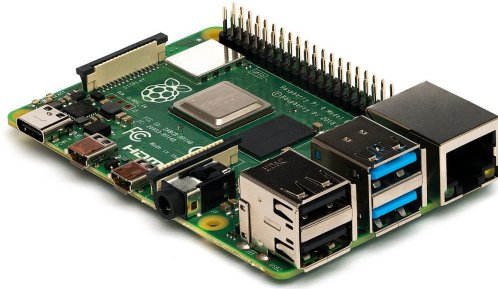


Figura 27. Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 es un ordenador de placa simple de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, Incluye un procesador Broadcom, memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO y un conector para cámara. No incluye memoria por lo tanto es necesario una tarjeta MicroSD. A continuación se presentan sus características principales en la Tabla6 [19].

Tabla 6. Características Principales Raspberry Pi 4

Descripción	Características
I/O Digitales	26 entradas / salidas
Análogas	Ninguna
Dimensiones W x H x D	90 x 20 x 60
Alimentación	5 Vdc

El módulo es capaz de controlar todos los componentes del prototipo, ya que en las entradas / salidas se pueden configurar diversos tipos de conexiones dependiendo de los sensores que se utilice.

8.2. Pantalla

La Pantalla seleccionada es de la marca Waveshare modelo 7inch HDMI LCD que es compatible con Raspberry Pi 4 la cual es apta para visualizar e interactuar con la interfase grafica . Esta se muestra a continuación en la Figura 28 [20].

Las características principales de la pantalla Waveshare 7inch HDMI LCD , se muestran en la Tabla 7 [20].

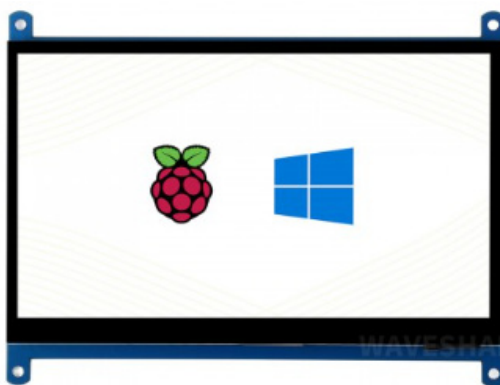


Figura 28. Waveshare modelo 7inch HDMI LCD

Tabla 7. Características Principales HMI

Descripción	Características
Alimentación	5 Vdc
Comunicación	HDMI
Dimensiones W x H x D	160 x 120 x 10
Resolución	1024x600

8.3. Motor

En el diseño mecánico se calculó el torque necesario para que el mezclador cumpla correctamente su función, en el catálogo se selecciona un motor WEG de 0.5HP modelo 4P C56 1F. Este se muestra en la Figura 29 [21].



Figura 29. Motor de 0.5HP

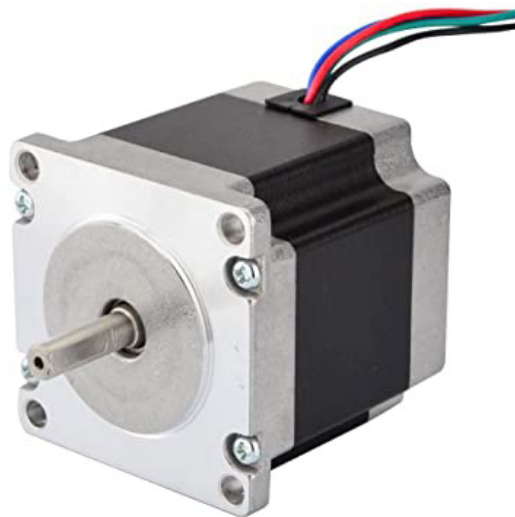
Las características principales del motor se muestran en la Tabla 8 [21].

Tabla 8. Características Principales Motor

Descripción	Características
Alimentación	115/208-230 Vac
Frecuencia	60 Hz
Velocidad de Rotación	1800 rpm
Potencia	0.5Hp
Grado de Protección	IP21

8.4. Motor Paso a Paso

Se selecciona un motor Nema 23 el cual se acopla mediante un mecanismo biela-manivela a la puerta. El Nema 23 es un motor paso a paso capaz de convertir impulsos eléctricos enviados por el controlador en movimiento angular, lo que permite la apertura y cierre de la puerta en el momento indicado, este motor se presenta en la Figura 30 [22].

**Figura 30.** Nema 23

8.5. Fuente de Alimentación DC

La fuente de alimentación DC brinda el voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento de los componentes de control debido a que el controlador no es capaz de suministrarlos. Se utiliza una fuente capaz de entregar diferentes valores de voltaje DC, debido a que el ventilador utiliza un voltaje de 12Vdc, el sensor MAX6675 utiliza 5Vdc y el motor Nema 23 funciona a 24 Vdc. Por lo tanto, se selecciona la fuente UNIKA modelo ATX500W que se muestra en la Figura 31 [23].



Figura 31. Fuente ATX500W

Las principales características de la fuente ATX500W se muestran en la Tabla 9 [23].

Tabla 9. Características Principales Fuente ATX500W

Descripción	Características
Alimentación	90-264 Vac
Frecuencia	47-63 Hz
Potencia	500W
Voltaje de salida	3.3 / 5 / 12 / 24 Vdc

8.6. Controlador para Motor a Pasos

Para el correcto funcionamiento de los motores Nema 23 es necesario un controlador, se selecciona el driver TB6612FGN que permite controlar un motor a pasos unipolar o bipolar, soporta picos de corriente de hasta 3A y puede disipar una potencia máxima de 1W. Este se muestra a continuación en la Figura 32 [24].

Las principales características del driver TB6612FGN se muestran en la Tabla 16 [24].

Tabla 10. Características Principales Driver TB6612FGN

Descripción	Características
Alimentación	2.7-5 Vdc
Voltaje de Potencia	5-15 Vdc
Corriente	1.2-3 A

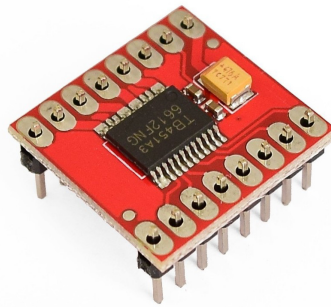


Figura 32. Driver TB6612FNG

8.7. Controlador Termocupla

Para el correcto funcionamiento de la termocupla tipo K es necesario un controlador, se selecciona el driver MAX6675 que permite medir temperaturas entre 0°C y 1023°C. Posee interfaz de comunicación digital SPI que facilita la comunicación con diversos microcontroladores. Este se muestra a continuación en la Figura 33 [25].

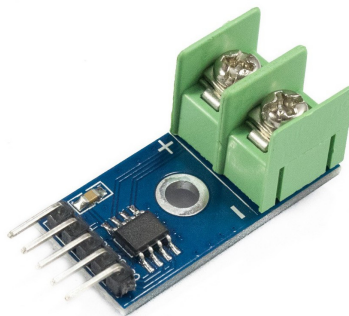


Figura 33. Driver MAX6675

8.8. Protección Circuito de Control y Circuito de Potencia

Un interruptor termo magnético protege estos elementos contra sobrecargas del sistema y cortocircuitos. Para el circuito de control que cuenta con una fuente y un controlador

se utiliza un interruptor A9K24106 el cual protege de corrientes mayores a 6A que es ideal para el consumo de la fuente y Raspberry y se muestra en la Figura 34 [26].



Figura 34. Interruptor A9K24206

El circuito de potencia que consta de dos motores de 0,5HP que consumen 1A cada uno y dos resistencias eléctricas para generar calor que consumen 4,4A cada una, lo que da un consumo total de 10,8A. Por lo tanto, se utiliza un interruptor A9K24216 el cual protege los elementos de corrientes mayores a 16A. Este se muestra en la Figura 35 [26].



Figura 35. Interruptor A9K24216

8.9. Relé

Se utiliza como switch, la parte de control funciona con corriente continua y la parte de potencia funciona con corriente alterna o continua, soporta hasta 10A, se puede operar hasta 300 veces por minuto y su expectativa de vida útil es de 10 millones de operaciones. Este se muestra en la Figura 36 [27].



Figura 36. Relé

8.10. Selección Luces Piloto

Las luces piloto son indicadores necesarios en el panel de control, se cuenta con una luz verde que indica que la tostadora esta encendida y una luz roja que indica que la tostadora se detuvo por alguna emergencia. Se selecciono luces que funcionan con un voltaje de 110/220 V y tienen un radio de 11 mm. Estas se muestran en la Figura 37 [28].

8.11. Selección Pulsador Paro de Emergencia

Un pulsador de paro de emergencia es un dispositivo crucial en muchos entornos y sistemas, ya que su función principal es garantizar la seguridad de las personas y los equipos en situaciones de emergencia. Al presionarse el proceso detiene hasta poder solucionar la emergencia, luego de solucionar el problema, un operador tiene que girar la roseta para



Figura 37. Luz Piloto

reanudar el proceso. Un pulsador de paro de emergencia es importante porque garantiza la seguridad de las personas, proporciona una respuesta rápida en situaciones de peligro, reduce los riesgos asociados con emergencias, cumple con las regulaciones aplicables y ayuda a evitar daños adicionales a los equipos. Su presencia en entornos industriales y otros sistemas críticos es esencial para proteger vidas y prevenir accidentes graves. Este se muestra en la Figura 38 [29].



Figura 38. Pulsador Paro de Emergencia

9. Desarrollo de la Programación

9.1. Qt y Python

Qt es una biblioteca de desarrollo de aplicaciones multiplataforma ampliamente utilizada en la programación de interfaces gráficas de usuario (GUI) en diversos lenguajes de pro-

gramación, incluido Python. Qt permite crear aplicaciones de escritorio y móviles con una apariencia y funcionalidad modernas y profesionales [30].

Python, por otro lado, es un lenguaje de programación de alto nivel, conocido por su simplicidad y legibilidad. Es ampliamente utilizado en diversos campos, desde desarrollo web hasta análisis de datos y desarrollo de juegos [31]. La combinación de Python y Qt ofrece una potente solución para el desarrollo de aplicaciones con interfaces gráficas atractivas y funcionales.

La integración de Qt con Python se logra mediante la biblioteca PyQt o PySide, que proporcionan enlaces para utilizar las clases y funcionalidades de Qt en entornos de desarrollo Python. Estas bibliotecas permiten a los programadores aprovechar al máximo las características de Qt y crear interfaces gráficas interactivas y dinámicas en Python.

La sintaxis de Qt en Python es similar a la de otros lenguajes compatibles con Qt, lo que facilita la transición de desarrolladores de otros lenguajes hacia Python. Además, Qt proporciona una amplia gama de componentes y widgets predefinidos que se pueden utilizar para construir rápidamente interfaces de usuario, así como herramientas de diseño visual que simplifican el proceso de creación y diseño de la interfaz gráfica.

La combinación de Qt y Python ofrece una poderosa plataforma para el desarrollo de aplicaciones con interfaces gráficas atractivas y funcionales. Con estas herramientas, los programadores pueden crear aplicaciones multiplataforma con facilidad, lo que las hace ideales para proyectos que requieren interfaces de usuario intuitivas y profesionales.

9.2. Modelamiento de curvas de tueste

Los tostados de café más claros que dejan los granos muy crudos no resaltan sabores ni aromas muy agradables al paladar del consumidor y así también los granos de café con exceso tostación son demasiado amargos y desagradables [32]. Por este motivo se excluyen este tipo de tuestes, se selecciona perfiles de tueste para lograr tuestes medios y tuestes medio altos. Estos se presentan a continuación en la Figura 39 [7] y Figura 40 [7].

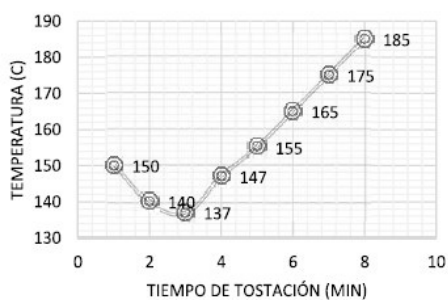


Figura 39. Curva de tueste 1

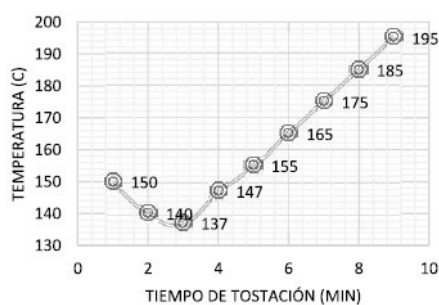


Figura 40. Curva de tueste 2

Con los datos de los perfiles de calor es necesario realizar un modelamiento matemático de los perfiles de calor, debido a que en la Figura 39 y Figura 40 se presentan únicamente datos referenciales en ciertos instantes del proceso estos datos se muestran en la Tabla 11 y Tabla 12.

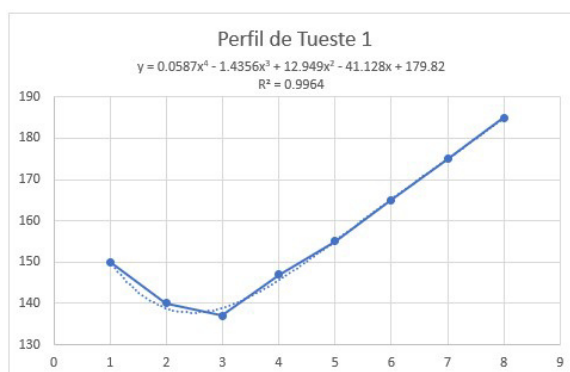
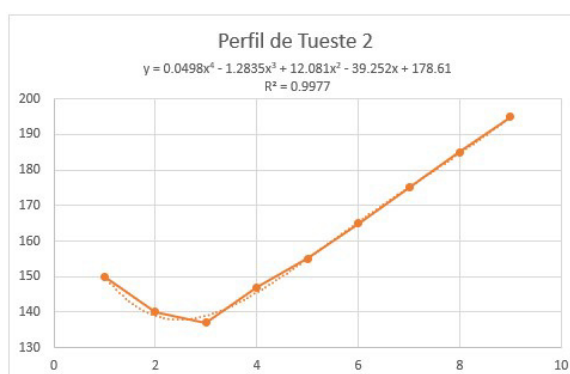
Tabla 11. Datos de para perfil de calor 1

Tiempo (S)	Temperatura (°C)
1	150
2	140
3	137
4	147
5	155
6	165
7	175
8	185

Tabla 12. Datos de para perfil de calor 2

Tiempo (S)	Temperatura (°C)
1	150
2	140
3	137
4	147
5	155
6	165
7	175
8	185
9	195

A partir de estos datos se realiza una regresión lineal con ayuda del software Excel y se obtiene una ecuación para cada perfil de tueste, con el objetivo de implementarla en el proceso de control de la tostadora, ya que con esta es posible saber que temperatura debe tener el café en cada instante de tiempo durante el proceso de tueste. Esto se muestra en la Figura 41 y Figura 42.

**Figura 41.** Perfil de tueste 1**Figura 42.** Perfil de tueste 2

En un modelo de regresión lineal el coeficiente de determinación R^2 determina la canti-

dad proporcional de variación en la variable de respuesta (**y**), según la variable independiente (**x**). Mientras R^2 más se acerque a 1, menor es la variabilidad del modelo de regresión lineal [33]. Por lo tanto, las ecuaciones son una buena aproximación de los perfiles de tueste ya que los valores de R^2 son muy cercanos a 1.

9.3. Programación

La programación del Raspberry Pi 4 se la realiza mediante Python y la librería Qt donde se desarrolla la interfase grafica (GUI), esto permite integrar de una manera simple y eficiente todos los procesos de producción. Se utiliza la versión 3.7 de Python y la versión 5 de la librería Qt donde se realiza un programa para replicar las curvas de tueste de una manera adecuada. El diagrama de flujo con la lógica a seguir se divide en tres partes. La primera parte es la inclusión de librerías, variables y selección de proceso esta se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Diagrama de Flujo Parte 1

La segunda parte realiza el control del proceso durante el ciclo de tostado y se muestra en la Figura 44.

Finalmente la tercera parte se encarga de la evacuación del café tostado hacia el recipiente de enfriamiento esto se muestra en la Figura 45.

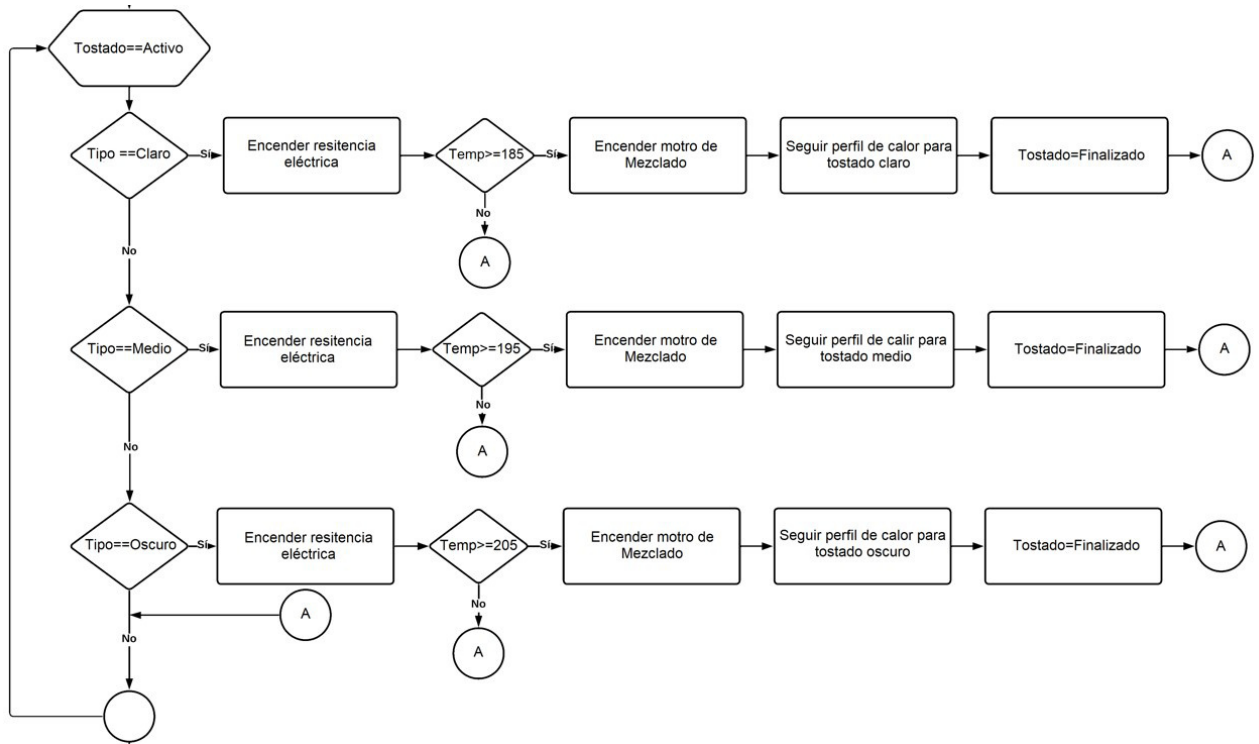


Figura 44. Diagrama de Flujo Parte 2

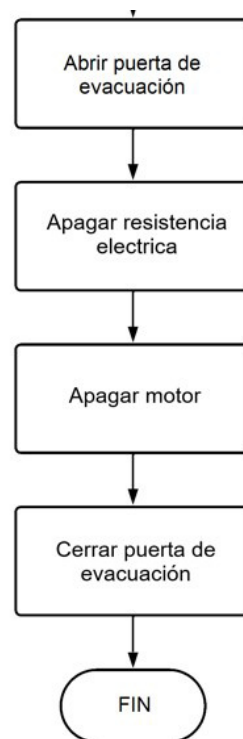


Figura 45. Diagrama de Flujo Parte 3

9.4. Construcción

En el proceso constructivo lo primero que se realiza es el corte de la piezas con la ayuda de una maquina CNC de corte con plasma como se muestra en la Figura 46.

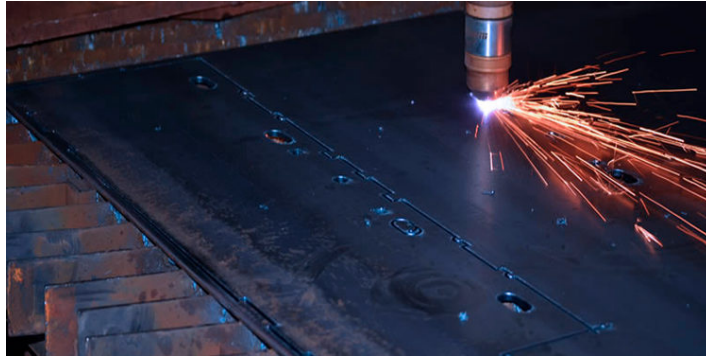


Figura 46. Corte de piezas

Las piezas obtenidas luego del proceso de corte se muestran en la Figura 47, Figura 48, Figura 49.



Figura 47. Piezas frontales

Se realiza el proceso de rolado del tambor de tostado como se muestra en la Figura 50.



Figura 48. Piezas internas



Figura 49. Tambor previo al rolado

Se sueldan las piezas y se incorporan a la estructura principal de la tostadora como se muestra en la Figura 51, Figura 52.

Para finalizar se colocan las protecciones y componentes electrónicos como se muestra en la Figura 53 y Figura 54.



Figura 50. Rolado del tambor de tostado

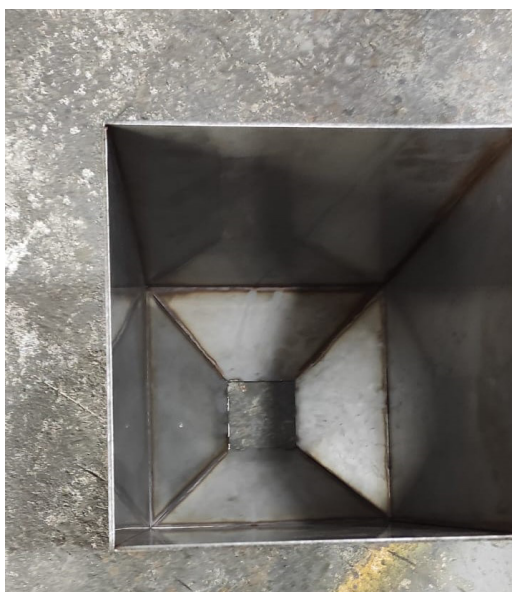


Figura 51. Tolva



Figura 52. Ensamblaje parcial



Figura 53. Instalación de componentes eléctricos



Figura 54. Ensamblaje Final

10. Pruebas y Resultados

Las pruebas de funcionamiento de la máquina se han dividido en dos partes: la primera prueba para determinar el tiempo que requiere la máquina para alcanzar 175°C en el tambor y la segunda prueba para determinar el tiempo que requiere para llegar a la temperatura de tostado según el perfil de tueste programado.

10.1. Prueba 1: Pre calentamiento de la tostadora

Este parámetro advierte el tiempo que requiere la máquina para calentarse previo al inicio del proceso de tostado. Para realizar esta prueba se ocupa la termocupla instalada en la tostadora con la puerta de evacuación cerrada. La prueba se realiza en un ambiente abierto y en un ambiente cerrado para determinar si estos tiempos varían dependiendo del ambiente.

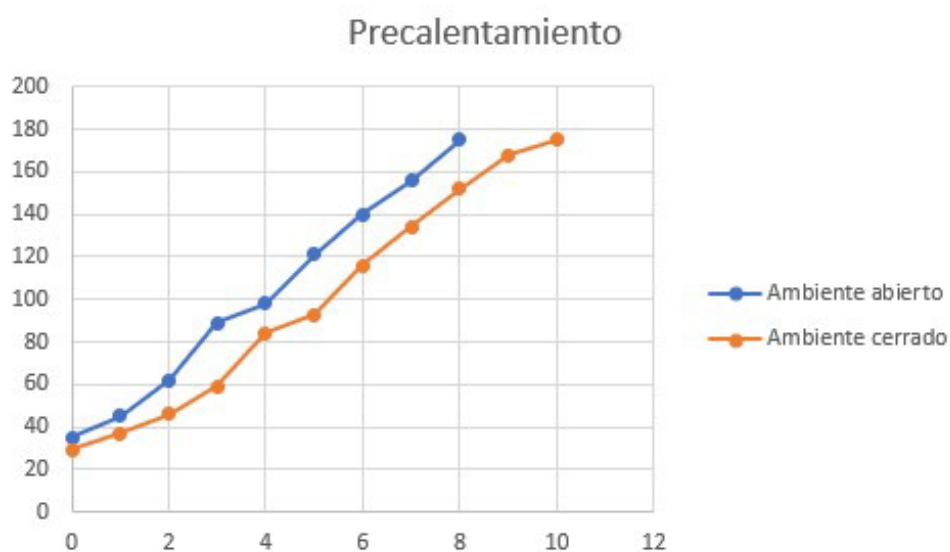
La prueba consiste en encender las resistencias eléctricas hechas a la medida del tambor que tienen una potencia de 2kW y medir el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura de 175°C necesaria para el inicio del tostado.

Tabla 13. Resultados obtenidos del Pre calentamiento en un ambiente cerrado

Temperatura (°C)	Tiempo (S)
35	0
45	1
62	2
89	3
98	4
121	5
140	6
156	7
175	8

Tabla 14. Resultados obtenidos del Pre calentamiento en un ambiente abierto

Temperatura (°C)	Tiempo (S)
29	0
37	1
46	2
59	3
84	4
98	5
116	6
134	7
152	8
168	9
175	10

**Figura 55.** Tiempo de pre calentamiento de la tostadora en un ambiente abierto y en un ambiente cerrado

Los resultados muestran en la Tabla 13, 14. Los tiempos de precalentamiento son diferentes si se realizan en un ambiente abierto o cerrado también influye la temperatura inicial de la máquina previo al precalentamiento por lo tanto este tiempo puede variar entre 8 y 10 minutos pero el tiempo puede ser inclusive mayor si la tostadora se encuentra en una zona donde la temperatura inicial es menor a la de las pruebas realizadas.

10.2. Prueba 2: Tiempo de tostado con variación de carga

La tostadora está diseñada para tostar hasta 8 kg de café por ciclo de tostado, pero también hay la posibilidad de tostar cantidades menores a eso, con esta prueba se trata de evidenciar el efecto que tiene la carga en el tiempo de final de tostado.

La prueba se la realiza con café de la variedad arábigo con un 12 % de humedad a una altitud de 1200 msnm y cargas de 4, 6 y 8 kg se mide el tiempo que se tarda en realizar el tostado sin tomar en cuenta el tiempo de precalentamiento, así mismo se utilizan los 2 perfiles de tueste.

En la Figura 56, Figura 57 y Figura 58 se observa la máquina con las respectivas cargas de café previo a las pruebas.



Figura 56. Tostadora con carga de 4 kg



Figura 57. Tostadora con carga de 6 kg



Figura 58. Tostadora con carga de 8 kg

Tabla 15. Resultados para perfil de tueste 1

Peso (kg)	Tiempo (min)
4	7.8
6	8
8	8.25

Tabla 16. Resultados para perfil de tueste 2

Peso (kg)	Tiempo (min)
4	9.1
6	9.16
8	9.5

En la Figura 59 se muestra el producto obtenido luego del proceso de tostado.

**Figura 59.** Producto Obtenido

La cantidad de café que ingresa a la tostadora no es un aspecto que influye de manera relevante en el tiempo de tostado ya que el controlador sigue el perfil de tueste sin importa la cantidad de café que existe en el interior las pequeñas variaciones en el tiempo se deben a que la lógica de programación ya que el café debe alcanzar cierta temperatura antes de que se de por finalizado el ciclo y en este caso una mayor cantidad de café puede hacer que varíe unos segundos el tiempo de tostado.

11. Conclusiones

- La máquina tostadora de café fue diseñada y construida y cumple con los objetivos planteados de procesar 8 kg por ciclo de tueste y puede funcionar manual y semiautomáticamente, pudiendo replicar curvas de calor de procesos previos para obtener tipos de tuestes de café en base a perfiles de calidad preestablecidos, identificando el tipo de tostado mediante la escala de Agtron dependiendo de la tonalidad del café obtenido.
- El prototipo portátil tiene un peso aproximado de 45 kg, y dimensiones 1485 mm de alto, 1200 mm de ancho y 542 mm de profundidad. Consta de una estructura que soporta una tolva, un tambor cilíndrico de secado y una caja de recolección de café tostado

y contruidos con planchas de 2 mm en acero inoxidable INOX304, un eje mezclador con paletas curvas dentro del tambor, un motor eléctrico de 0.5 HP 115/208-230 VAC, y una caja de control para el funcionamiento de la máquina.

- Para el tueste se considera un precalentamiento de 175 °C del tambor, posteriormente se introduce el café en el tambor que rota a 12 RPM para un secado homogéneo de los granos y continua el calentamiento con las resistencias eléctricas hasta obtener la temperatura preestablecida según el perfil programado para replicar los tipos de tueste. Se apaga el equipo y se retira el café tostado para el enfriamiento natural.
- El sistema de control consta de sensores y actuadores, controladores, dispositivos para el control de temperatura y tiempo de tueste. El HMI en la parte de hardware cuenta con una pantalla touch de 7 pulgadas y un módulo microprocesador Raspberry pi 4b. El software se desarrolla en Python. esto logra que la interacción del usuario con la tostadora sea de manera muy intuitiva.
- La máquina fue probada utilizando café de la variedad arábigo, previamente despulpada, retirada la piel y lavada, con un 12 % de humedad a una altitud de 1200 msnm y con cargas de 4, 6 y 8 kg. Se realizaron pruebas para dos (2) perfiles de tueste, medio y oscuro y en ambientes abiertos y cerrados, a diferentes temperaturas. Se determina que el tiempo para obtener las temperaturas de tueste no dependen de la carga de cada ciclo sino del tipo de tostado que se desea obtener.

12. Recomendaciones

- Para el funcionamiento del prototipo se requiere que el usuario se familiarice con los procedimientos de operación, mantenimiento y de seguridad que se adjunta, para garantizar el funcionamiento, la vida útil de la máquina y la integridad física de los operadores.
- Los aspectos de seguridad industrial deben ser cumplido estrictamente para evitar lesiones como quemaduras en los operadores por el tipo de máquina.

- En la parte constructiva, para futuras fabricaciones se recomienda realizar la soldadura de las juntas con procedimiento de soldadura y soldadores previamente calificados para evitar deformaciones causadas por el calor, que podría generar rozamientos, vibraciones y ruidos indeseados.
- Se recomienda revisar los factores de seguridad a ser utilizados en el diseño de partes que podrían deformarse por el calor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Perfect Daily Grind. Explorando el café especial de Ecuador. [En línea]. Disponible: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/10/11/explorando-el-cafe-de-ecuador/> [Fecha de consulta: Julio 2023]
- [2] A. Belduma, H. Carvajal, y E. Prado, “Análisis de la situación económica de la producción de café en el cantón zaruma en el periodo 2017 – 2020,” *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 7, no. 2, pp. 229–238, Febrero 2022.
- [3] L. Bernabé, “Diseño de una máquina tostadora de café mediante flujo del aire caliente en lecho fluidizado para una capacidad de una tonelada,” *Proy. pregrado*, Esc. Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, 2018.
- [4] M. Castillo y M. Muñoz, *Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café*, 1st ed., Ministerio de Industrias y Productividad, Ecuador, Marzo 2016.
- [5] H. Ospina y S. Marín, *Cartilla Cafetera Tomo II*, 1st ed., Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, Colombia, Septiembre 2004.
- [6] Torrecafhe. Tostado artesanal de café. [En línea]. Disponible: www.torrecafhe.com/tostado-artesanal-de-cafe/ [Fecha de consulta: Marzo 2023]
- [7] O. Benítez-Urbano y D. Campo-Ceballos, “Evaluación de la calidad del café tostado utilizando herramientas de procesamiento digital de imágenes,” *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, vol. 30, no. 1, pp. 32–43, 2018.
- [8] Innoenvas. Tostadoras de café. [En línea]. Disponible: <https://www.innoenvas.com/tostadoras-cafe-shop.html> [Fecha de consulta: Julio 2023]
- [9] Discaf. Tostadora tn-2 tienda café. [En línea]. Disponible: <https://www.discaf.com/Tostadora-cafe-tienda-TN-2.html> [Fecha de consulta: Julio 2023]

- [10] Caloratto. Tostador de alto rendimiento con tecnología digital. [En línea]. Disponible: <https://dinatek.ec/wp-content/uploads/2021/10/FCAR4-CALORATTO.pdf> [Fecha de consulta: Julio 2023]
- [11] C. Riba, *Diseño concurrente*, primera ed. Edicions UPC - España, 2002.
- [12] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Equivalencia de diversas unidades mundiales. [En línea]. Disponible: www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm [Fecha de consulta: Marzo 2023]
- [13] J. Montilla, J. Arcila, y M. Aristizábal, “Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio,” *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*, no. 370, pp. 1–8, 2008.
- [14] Y. Cengel y A. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa*, cuarta ed. McGraw Hill - México, 2011.
- [15] D. Alexander y G. Koeberlein, *Geometría*, quinta ed. Cengage Learning - México, 2013.
- [16] R. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, octava ed. McGraw-Hill - México, 2008.
- [17] Atcor Geryma S.A. Reductores y variadores de velocidad. [En línea]. Disponible: <https://advanced-gears.com/wp-content/uploads/catalogo.pdf> [Fecha de consulta: Agosto 2023]
- [18] R. Mott, *Resistencia de materiales aplicada*, tercera ed. Pearson - México, 2007.
- [19] Raspberry Pi Foundation. Raspberry pi 4. [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [20] WaveShare. 7inch capacitive touch screen lcd. [En línea]. Disponible: <https://www.waveshare.com/7inch-hdmi-lcd-c.htm> [Fecha de consulta: Junio 2023]

- [21] WEG. Motor 0.50hp 4pc561f. [En línea]. Disponible: <https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/-Motores-EI%C3%A9ctricos/Motor-de-Inducc%C3%ADon—NEMA/Tratamiento-de-Aire/Base-EI%C3%A1stica/ODP-NEMA-48-%26-56—Base-el%C3%A1stica/Motor-0-5-HP-4P-C56-1F-115-208-230-V-60-Hz-IC01—ODP—Con-pies/p/10343061> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [22] Schneider. Nema size 23, 2-phase stepper motor. [En línea]. Disponible: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1276820/Schneider/NEMA23/1> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [23] ATX. Atx 500w power supplies. [En línea]. Disponible: https://www.fsp-group.com/download/pro/FSP500-70MPE_Datasheet.pdf [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [24] Toshiba. Driver ic for dual dc motor. [En línea]. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/TB6612FNG.pdf> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [25] Maxim. Cold-junction-compensated k-thermocoupleto-digital converter. [En línea]. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/MAX6675.pdf> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [26] Schneider. Protecciones y seguridad en instalaciones eléctricas. [En línea]. Disponible: https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=Catalogp_File_Name=00-Catalogo+general+Retail+2019.pdfp_Doc_Ref=Catalogo_General_Retail_2019 [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [27] Songle Relay. Srd-12vdc-sl-c datasheet. [En línea]. Disponible: <https://pdf1.alldatasheet.es/-/datasheet-pdf/view/1132031/SONGLERELAY/SRD-12VDC-SL-C.html> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [28] RS Pro. Rs pro, luz piloto led de montaje en panel, abertura de 22mm, ip65. [En línea]. Disponible: <https://docs.rs-online.com/33e0/A700000008838101.pdf> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [29] P. Schmersal, *Manual de instrucciones Pulsador de Paro de Emergencia*, 1st ed., K.A. Schmersal GmbH Co. KG, Alemania, Enero 2017.

- [30] Qt Company Ltd. Qt for python. [En línea]. Disponible: <https://doc.qt.io/qtforpython-6/gettingstarted/index.html> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [31] Python Software Foundation. The python wiki. [En línea]. Disponible: <https://wiki.python.org/moin/FrontPage> [Fecha de consulta: Junio 2023]
- [32] S. Kiania, S. Minaeia, y M. Ghasemi-Varnamkhasti, "Fusion of artificial senses as a robust approach to food quality assessment," *Journal of Food Engineering*, vol. 171, no. 1, pp. 230–239, 2016.
- [33] S. Chapra y R. Canale, *Métodos numéricos para ingenieros*, quinta ed. McGraw-Hill, 2007.

Anexo A: Matriz morfológica

Se cuenta con dos diferentes alternativas para cada requerimiento, con estas se realiza diferentes combinaciones con las demás alternativas de los diferentes requerimientos. La matriz morfológica presentada en la Tabla 1 presenta las diferentes alternativas a cada uno de los requerimientos.

Tabla 1. Matriz Morfológica

FUNCIÓN		COMPONENTE
Mezclador de aletas curvas	Mezclador de aletas rectas	Sistema de mezclado
Resistencia eléctrica	Gas	Sistemas de tueste
Banda de caucho	Engranaje	Transmisión de movimiento
HMI	Botones	Selección de tipo de tostado

A continuación, se detallan 4 alternativas de la matriz morfológica y se presentan en las Figuras 1, 2, 3, 4.



Figura 1. Alternativa 1



Figura 2. Alternativa 2

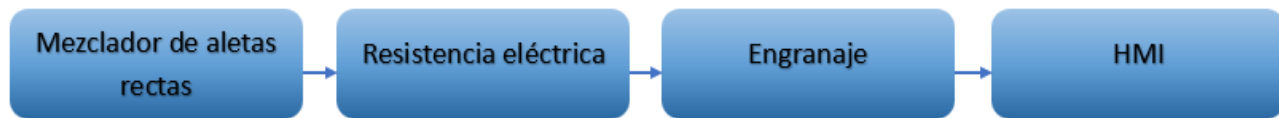


Figura 3. Alternativa 3



Figura 4. Alternativa 4

Anexo B: Análisis de alternativas

Los criterios que se utilizan para la evaluación son:

- **Precisión:** Los diferentes tipos de tostado tienen que tener el tono adecuado según la escala de Agtron.
- **Capacidad:** La máquina tiene que ser capaz de tostar las cantidades de café establecidas en los tiempos requeridos.
- **Seguridad:** Debido a que se encuentra en un ambiente de trabajo es necesario que tenga las debidas protecciones.
- **Limpieza:** Al encontrarse en contacto directo con alimentos debe ser fácil de limpiar.

Para determinar la incidencia de cada uno de los criterios se realiza una evaluación de peso específico como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de peso específico

	Pre.	Cap.	Seg.	Limp.	$\sum +1$	Ponderación
Precisión		0.5	1	0.5	3	0.300
Capacidad	0.5		0.5	0.5	2.5	0.250
Seguridad	0	0.5		0	1.5	0.150
Limpieza	0.5	0.5	1		3	0.300
Total					10	1.00

El análisis del criterio de evaluación Precisión se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de precisión

Precisión	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	0.5	3.5	0.350
Alternativa 2	0		0.5	0.5	2	0.200
Alternativa 3	0	0.5		0.5	2	0.200
Alternativa 4	0.5	0.5	0.5		2.5	0.250
Total					10	1.00

El análisis del criterio de evaluación Capacidad se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis de capacidad

Capacidad	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	0.5	3.5	0.350
Alternativa 2	0		0.5	0	1.5	0.150
Alternativa 3	0	0.5		0.5	2	0.200
Alternativa 4	0.5	1	0.5		3	0.300
Total					10	1.00

El análisis del criterio de evaluación Seguridad se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de seguridad

Seguridad	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0.5	1	3.5	0.350
Alternativa 2	0		0	0.5	1.5	0.150
Alternativa 3	0.5	1		1	3.5	0.350
Alternativa 4	0	0.5	0		1.5	0.150
Total					10	1.00

El análisis del criterio de evaluación Limpieza se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de limpieza

Limpieza	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0.5	1.5	0.150
Alternativa 2	1		0.5	1	3.5	0.350
Alternativa 3	1	0.5		1	3.5	0.350
Alternativa 4	0.5	0	0		1.5	0.150
Total					10	1.00

Anexo C: Propiedades Mecánicas del Acero

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					
			Fluencia S_y	Última S_u	A la fractura, σ_f	Coefficiente σ_0	Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
			MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)		
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) [†]	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) [†]	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) [†]	1410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) [†]	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aluminum aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18

* Los valores se tomaron de una o dos coladas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

[†] Valor derivado.

Anexo D: Factores de acabado superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente <i>b</i>
	S_{utr} kpsi	S_{utr} 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

Anexo E: Factores de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_α
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

Anexo F: Hoja de Datos Motor WEG 0,5HP

HOJA DE DATOS					
Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula					
Cliente : _____					
Línea del producto : Motor Monofásico		Código del producto : 10343061			
Carcasa : C56	Potencia : 0.5 HP (0.37 kW)	Polos : 4	Frecuencia : 60 Hz	Tensión nominal : 115/208-230 V	
Corriente nominal : 8.50/4.10-4.25 A	Corriente de arranque : 45.9/22.1-23.0 A	Ip/In : 5.4x(Cód. M)	Corriente en vacío : 6.80/2.93-3.40 A	Rotación nominal : 1730 rpm	
Resbalamiento : 3.89 %	Torque nominal : 0.210 kgfm	Torque de arranque : 330 %	Torque máximo : 240 %	Clase de aislamiento : B	
Factor de servicio : 1.25	Momento de inercia (J) : 0.0020 kgm²	Tiempo de rotor bloqueado : 10s (frío) 6s (caliente)	Elevación de temperatura : 80 K	Régimen de servicio : Cont.(S1)	
		Temperatura ambiente : -20°C hasta +40°C	Altitud : 1000 m	Grado de protección : IP21	
		Método de refrigeración : IC01 - ODP	Forma constructiva : F-1	Sentido de giro ¹ : Ambos	
		Masa aproximada ³ : 11.3 kg	Nivel de ruido ² : 50.0 dB(A)	Método de Arranque : Partida directa	
Potencia	25%	50%	75%	100%	
Rendimiento (%)	50.7	53.0	59.0	61.7	
Cos Φ	0.24	0.43	0.52	0.61	
Fuerzas en la fundación					
Tracción máxima : 10 kgf					
Compresión máxima : 21 kgf					
Tipo de cojinete :	<u>Delantero</u>		<u>Trasero</u>		
Sello :	6203 ZZ		6202 ZZ		
Intervalo de lubricación :	Sin vedación		Sin vedación		
Cantidad de lubricante :	-		-		
Tipo de lubricante :	Mobil Polyrex EM				
Notas					
Esta revisión reemplaza y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada. (1) Mirando la punta delantera del eje del motor. (2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A). (3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación. (4) Al 100% de la carga completa.			Los valores indicados son valores promedio con base en ensayos y para alimentación en red senoidal, sujetos a las tolerancias de la norma NEMA MG-1.		
Rev.	Resumen de los cambios		Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor					
Verificador				Pagina	Revisión
Fecha	20/06/2023			1 / 2	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.
Sujeto a cambios sin previo aviso

CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA

Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula

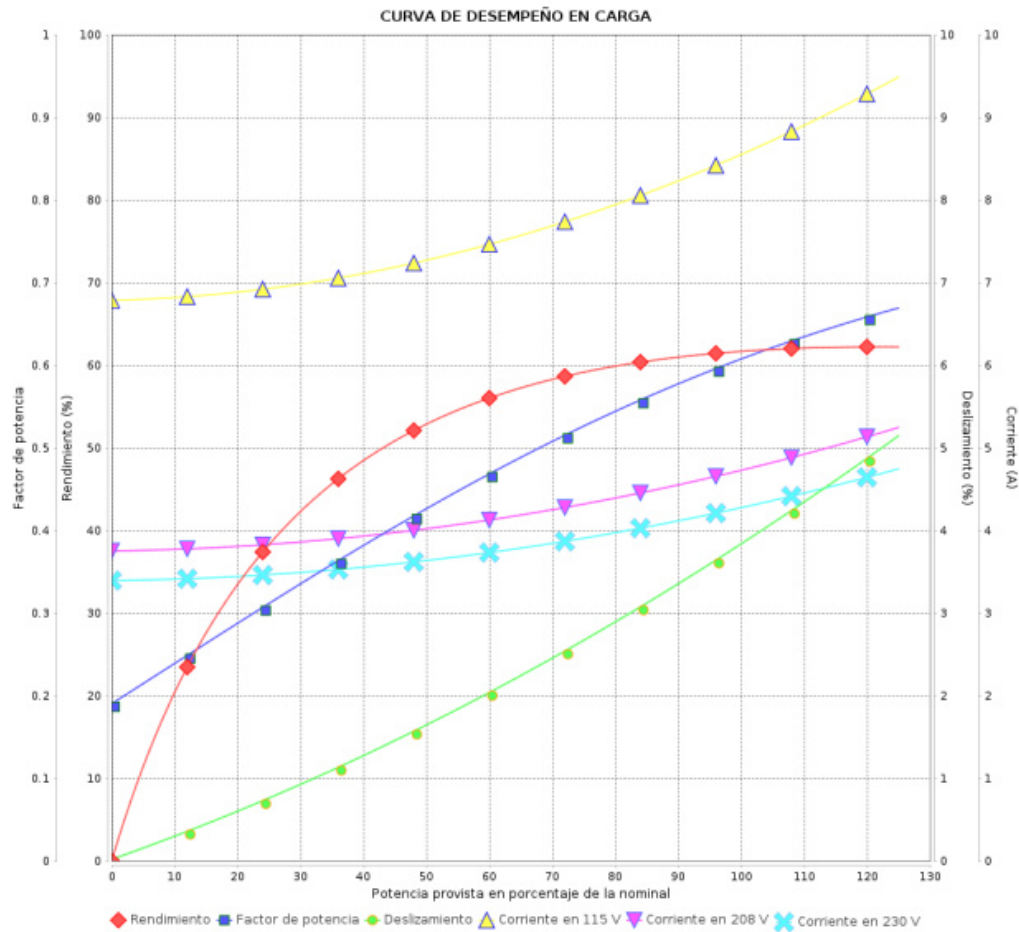


Cliente :

Línea del producto : Motor Monofásico

Código del producto :

10343061



Desempeño : 115/208-230 V 60 Hz 4P

Corriente nominal : 8.50/4.10-4.25 A
 Ip/In : 5.4
 Torque nominal : 0.210 kgfm
 Torque de arranque : 330 %
 Torque máximo : 240 %
 Rotación nominal : 1730 rpm

Momento de inercia (J) : 0.0020 kgm²
 Régimen de servicio : Cont.(S1)
 Clase de aislamiento : B
 Factor de servicio :
 Elevación de temperatura : 80 K

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Página	Revisión
Fecha	20/06/2023		2 / 2	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.
 Sujeto a cambios sin previo aviso

Anexo G: Planos de Construcción.

Anexo G: Planos de construcción