



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

TEMA:

**MÁQUINA TOSTADORA ROTATORIA DE MANÍ PARA LA INDUSTRIA
ARTESANAL CON SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO**

AUTOR: RICARDO PATRICIO ARCINIEGA ROCHA

DIRECTOR: ING. ZAMIR MERA

IBARRA – ECUADOR

2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad. Por medio del presente documento depongo mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	1003011200
Apellidos y Nombres	Ricardo Patricio Arciniega Rocha
Email	Rickypato14@hotmail.com
Teléfono Fijo	062 610 733
Teléfono móvil	0988 010 437

DATOS DE LA OBRA	
Título	MÁQUINA TOSTADORA ROTATORIA DE MANÍ PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL CON SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO
Autor	Ricardo Patricio Arciniega Rocha
Fecha	
Programa	Pregrado
Título por el que se aspira	Ingeniería en Mecatrónica

2. AUTORIZACIÓN USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Ricardo Patricio Arciniega Rocha, con cédula de identidad N°. 1003011200, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la Ley de educación Superior Artículo 144.

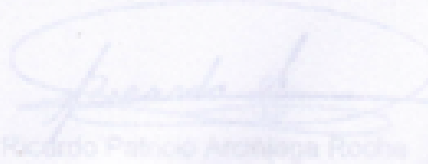



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Ricardo Patricio Arciniega Rocha, con cédula de identidad N°. 1003011200, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: "MAQUINA TOSTADORA ROTATORIA DE MANI PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL CON SISTEMA SEMIAUTOMATICO", que ha sido desarrollado para optar por el título de **Ingeniera en Mecatrónica**, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi calidad de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Firma

Nombre: Ricardo Patricio Arciniega Rocha

Cédula: 1003011200

DECLARACIÓN

Yo Ricardo Patricio Arciniega Rocha, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.



Ricardo Patricio Arciniega Rocha

fortaleza para enfrentar las situaciones difíciles permitiéndome así culminar esta etapa de mi vida

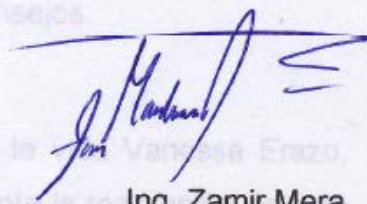
CERTIFICACIÓN

Agradezco a mi madre que con su cariño y paciencia me guía en la vida

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Ricardo Patricio Arciniega Rocha, bajo mi supervisión.

A mi padre, que supo inculcarme valores y compartió sus conocimientos iluminando el camino durante toda mi vida estudiantil con sus sabios consejos

Agradezco especialmente a mi compañera sentimental en la vida, Vanessa Erazo, quien siempre supo entenderme y brindarme su apoyo durante la realización de este trabajo y gran parte de esta etapa estudiantil.



Ing. Zamir Mera
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por haberme cuidado en toda mi vida y por darme la fortaleza para enfrentar las situaciones difíciles permitiéndome así culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi madre que con su cariño y paciencia me guía en la vida enseñándome que ante cualquier dificultad siempre hay que mostrar una sonrisa y enfrentarla con temple.

A mi padre, que supo inculcarme valores y compartió sus conocimientos iluminando el camino durante toda mi vida estudiantil con sus sabios consejos.

Agradezco especialmente a mi compañera sentimental en la vida Vanessa Erazo, quien siempre supo entenderme y brindarme su apoyo durante la realización de este trabajo y gran parte de esta etapa estudiantil.

Al Ing. Zamir Mera y a todos los profesores que me guiaron para realizar el presente trabajo.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, Guadalupe Rocha y César Arciniega por ser el pilar más importante en mi vida y demostrarme siempre su cariño y su apoyo incondicional. A mis hermanos: Mauricio, Alex y Margarita que durante toda nuestra vida han participado activamente en mi educación, brindándome cariño y apoyo. A mi prima Margarita que siempre fue una guía espiritual en mi vida. A Vanessa que con su amor ha sabido brindarme la fortaleza de continuar creciendo en todo aspecto en la vida.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.2 PROBLEMA	2
1.3 ESPECIFICACIONES GENERALES	2
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL MANÍ	3
1.3.1.2 Propiedades.....	3
1.3.1.3 Usos a nivel mundial.....	4
1.3.2 EL MANÍ CONFITADO	6
1.4 PROCESOS DE TOSTADO DE MANÍ.....	7
1.4.1 A NIVEL INDUSTRIAL.....	8
1.4.2 A NIVEL ARTESANAL	8
1.4.3 EN EL HOGAR	8
1.4.4 PROCESO ACTUAL DE TOSTADO EN LA INDUSTRIA ARTESANAL	9
1.5 TIPOS DE TOSTADORAS.....	10
1.5.1 MÁQUINA TOSTADOTA DE TAMBOR GIRATORIO	10
1.5.2 HORNO CON BANDEJAS CONVECCIONAL	11
1.5.3 MÁQUINA DE PLATO CON ASPAS GIRATORIAS	12

CAPITULO II

ARQUITECTURA DEL SISTEMA	13
2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE PELADO DEL MANÍ	13
2.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA HORIZONTAL	13
2.3 REQUISITOS DEL SISTEMA	14
2.3.1 DE SEGURIDAD.....	14
2.3.2 DE CONSUMO ELECTRICO Y POTENCIA	14
2.3.3 DE ESPACIO	15

2.3.4 DE CAPACIDAD	15
2.3.5 DE HIGIENE Y CALIDAD ALIMENTARIA.....	15
2.4 APROXIMACIÓN EN BLOQUES	16
2.4.1 SISTEMA MECÁNICO	16
2.4.2 SISTEMA ELÉCTRICO	17
CAPITULO III	
DISEÑO DE LA MÁQUINA TOSTADORA DE MANÍ.....	21
3.1 SISTEMA DE TOSTADO	23
3.1.1 TAMBOR ROTATORIO	24
3.1.1.1 Funciones del tambor de la tostadora	24
3.1.1.2 Parámetros de funcionamiento	24
3.1.1.3 Cálculo del espesor del tambor	24
3.1.1.4 Selección del espesor de la lámina del tambor.....	38
3.1.1.4.1 Criterios de evaluación para la selección de la lámina	38
3.1.1.4.2 Matriz de decisión.....	39
3.1.2 CÁMARA DE TOSTADO	40
3.1.2.1 Funciones de la cámara de tostado de la máquina.....	40
3.1.2.2 Parámetros de funcionamiento	40
3.1.2.3 Cálculo de temperaturas y energías de la cámara de tostado.....	40
3.1.2.4 Selección de los quemadores.....	50
3.2 SISTEMA MOTRIZ.....	52
3.2.1. MOTOR.....	52
3.2.1.1 Funciones del motor	52
3.2.1.2 Parámetros de funcionamiento	52
3.2.1.3 Selección del motor	52
3.2.1.3.1 Inercia del eje motriz.....	53
3.2.1.3.2 Inercia del cilindro tostador.....	54
3.2.1.3.3 Inercia de los volantes de la cámara de tostado.....	55
3.2.1.3.4 Inercia de la masa de maní en la cámara de tostado	57
3.2.2. TRANSMISIÓN	62

3.2.2.1	Funciones del sistema de transmisión	62
3.2.2.2	Parámetros de funcionamiento	62
3.2.2.3	Selección del método de transmisión	63
3.2.2.3.1	Criterios de evaluación para la selección del método de transmisión	63
3.2.2.3.2	Matriz de decisión.....	64
3.2.2.4	Reducción de velocidad de 1750 a 360 rpm.....	65
3.2.2.4.1	Selección de poleas: reducción 1750-360 rpm.....	65
3.2.2.4.1.1	Diámetro mínimo de la polea del motor.....	65
3.2.2.4.1.2	Diámetro de la polea conducida	66
3.2.2.4.2	Selección de las bandas: reducción 1750-360 rpm.....	66
3.2.2.4.2.1	Selección del tipo de banda	66
3.2.2.4.2.2	Distancia mínima entre centros (c).....	67
3.2.2.4.2.3	Longitud de la banda (l_b)	68
3.2.2.4.2.4	Cálculo del número de bandas.....	70
3.2.2.5	Reducción de velocidad de 360 a 50 rpm.....	72
3.2.2.5.1	Selección de poleas: reducción 360 a 50 rpm.....	72
3.2.2.5.1.1	Diámetro mínimo de la polea del motor.....	73
3.2.2.5.1.2	Diámetro de la polea conducida	73
3.2.2.5.2	Selección de las bandas: reducción 360-50 rpm.....	74
3.2.2.5.2.1	Selección del tipo de banda	74
3.2.2.5.2.2	Distancia mínima entre centros (c).....	74
3.2.2.5.2.3	Longitud de la banda (l_b)	75
3.2.2.5.2.4	Cálculo del número de bandas.....	77
3.2.3	EJE	79
3.2.3.1	Funciones del eje de la máquina	79
3.2.3.2	Parámetros de funcionamiento	79
3.2.3.3	Diseño estático del eje.....	79
3.2.3.4	Análisis de fatiga.....	88
3.2.3.5	Análisis del tipo de eje escogido.....	95
3.2.3.5.1	Criterios de evaluación	95

3.2.3.5.2 Matriz de decisión.....	96
3.3 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....	96
3.3.1 CALCULO DE ESFUERZO POR PANDEO.....	101
3.3.2 DISEÑO DE LOS PRISIONEROS	106
3.3.3 SELECCIÓN DEL RODAMIENTO	108
3.3.3.1 Vida del rodamiento.....	113
3.4 SISTEMA DE CONTROL.....	114
3.4.1 CIRCUITO ELECTRÓNICO.....	115
3.4.1.1 Parámetros de funcionamiento.....	115
3.4.1.2 Funciones del circuito electrónico.....	115
3.4.1.2.1 Modo tostar.....	116
3.4.1.2.2 Modo sacar.....	117
3.4.1.2.3 Paro de emergencia	117
3.4.1.3 Materiales	177
3.4.1.4 Microcontrolador.....	118
 CAPITULO IV	
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	121
4.1. MONTAJE FÍSICO DE LA MÁQUINA	121
4.1.1 TAMBOR.....	123
4.1.2 TAPAS DEL TAMBOR	124
4.1.3 VOLANTE DE SUJECCIÓN DEL EJE CON EL TAMBOR	125
4.1.4 TOLVA DE ENTRADA	125
4.1.5 CUBIERTA DE LA MÁQUINA.....	126
4.1.6 BLINDAJE TÉRMICO	128
4.2 MONTAJE Y SINCRONIZACIÓN DE ACTUADORES.....	128
4.2.1 MOTOR.....	131
4.2.1.1 Colocación del motor	132
4.2.2 BANDAS Y POLEAS.....	132
4.2.3 QUEMADOR Y CHISPERO	133
4.2.4 ELECTROVÁLVULA.....	134

4.3 PRUEBAS	135
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
CONCLUSIONES.....	137
RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	145
ANEXO 1. MANUAL DE USUARIO DE LA MÁQUINA TOSTADORA	145
ANEXO 2. DATASHEET DEL ATMEGA324P (Configuración de pines).....	148
ANEXO 3. PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR	149
ANEXO 4. PLANOS MECÁNICOS	152

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I FUNDAMENTO TEÓRICO

FIGURA 1.1: Maníes con cascara gruesa.....	3
FIGURA 1.2: Maníes de dulce (derecha) y maní salado (izquierda).....	6
FIGURA 1.3: Tostadora industrial de maní.	8
FIGURA 1.4: Horno casero de bandejas.....	8
FIGURA 1.5: Maní tostado de forma casera en hornilla de cocina.	9
FIGURA 1.6: Tostador INMEGAR Modelo SB	10
FIGURA 1.7: horno para pan.	11
FIGURA 1.8: máquina de plato con aspas.....	12

CAPITULO II ARQUITECTURA DEL SISTEMA

FIGURA 2.1: Diagrama de la calidad de los alimentos.	16
FIGURA 2.2: Aproximación en bloque del Sistema mecánico.	16
FIGURA 2.3: Aproximación en bloque del Sistema de control.....	17
FIGURA 2.4: Aproximación en bloque del paro de emergencia.....	17
FIGURA 2.5: Aproximación en bloque del proceso de tostado	18
FIGURA 2.6: Aproximación en bloque del proceso de sacado.	19

CAPITULO III DISEÑO DE LA MÁQUINA TOSTADORA DE MANÍ

FIGURA 3.1: Máquina tostadora de maní y los sistemas que la conforman	21
FIGURA 3.2: Partes del sistema de tostado.....	23
FIGURA 3.3: Bosquejo del cilindro.....	27
FIGURA 3.4: Diagrama de cuerpo libre de la viga con la carga uniformemente distribuida.....	33
FIGURA 3.5: Secciones circulares huecas.	36
FIGURA 3.6: Flujos de calor en el proceso	41
FIGURA 3.7: Capas externas del cilindro tostador.....	42
FIGURA 3.8: Circuito térmico del calor perdido	43
FIGURA 3.9: Capas internas de la cámara de combustión.....	44

FIGURA 3.10: Capas internas desde la cámara de combustión	45
FIGURA 3.11 Quemador.....	51
FIGURA 3.12: Ubicación de los volantes en la cámara de tostado.....	55
FIGURA 3.13: Ubicación del maní y los volantes en la cámara de tostado	58
FIGURA 3.14: Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión.....	80
FIGURA 3.15: Diagrama de fuerza cortante en el eje	82
FIGURA 3.16: Diagrama de momento flector en el eje	82
FIGURA 3.17: Diagrama de cuerpo libre, Fuerza cortante, momento flector, momento torsor	83
FIGURA 3.18: Esfuerzos aplicados en las secciones críticas	84
FIGURA 3.19: Esfuerzos a los que se somete una sección crítica	84
FIGURA 3.20: Teoría de la energía de la distorsión.	86
FIGURA 3.21: Diagrama de Variación de Esfuerzos en el tiempo	88
FIGURA 3.22 Diagrama de fatiga Goodman.....	93
FIGURA 3.23: Estructura de la máquina, viga AC	97
FIGURA 3.24: Diagrama de cuerpo libre de la viga con la carga puntual	98
FIGURA 3.25: Esquema de la estructura de la tostadora, viga AB.....	102
FIGURA 3.26: Valores k para longitud efectiva.....	103
FIGURA 3.27: Prisionero de sujeción.	106
FIGURA 3.28: Prisionero sometido a un esfuerzo de corte y a un momento torsor.....	107
FIGURA 3.29: Rodamiento UC207-20	109
FIGURA 3.30: Calculadora interactiva Manual SKF.....	111
FIGURA 3.31: Diagrama del circuito electrónico de control	116
FIGURA 3.32: Diagrama de flujo del microcontrolador	119

CAPITULO IV IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

FIGURA 4.1: Diagrama de flujo del montaje físico de la máquina	122
FIGURA 4.2: Tambor de tostado.....	123
FIGURA 4.3: Vista lateral del tambor y sus paletas	124
FIGURA 4.4: Tapa lateral del tambor	124

FIGURA 4.5: Volante de sujeción del eje contra el tambor	125
FIGURA 4.6: vista de la tolva de entrada.....	126
FIGURA 4.7: Estructura de tubo antes de recubrir.....	127
FIGURA 4.8: Cubierta de la máquina.....	127
FIGURA 4.9: Colocación de la lana de vidrio para el blindaje.....	128
FIGURA 4.10: Diagrama de flujo del montaje de los actuadores de la tostadora de maní	130
FIGURA 4.11: Motor marca WEG 1HP 110V-220V	131
FIGURA 4.12: Juego de poleas y bandas para la reducción de velocidad	132
FIGURA 4.13: Chispero eléctrico de la tostadora	133
FIGURA 4.14: Quemador de la tostadora	133
FIGURA 4.15: Electroválvula	134

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I FUNDAMENTO TEÓRICO

TABLA 1.1: Características de la tostadora de maní SB INMEGAR	11
---	----

CAPITULO III DISEÑO DE LA MÁQUINA TOSTADORA DE MANÍ

TABLA 3.1: Densidad de algunos productos.....	
TABLA 3.2 Eficiencia máxima permisible para juntas soldadas con gas y con arco.	
TABLA 3.3 Propiedades Mecánicas del acero AISI 304	
TABLA 3.4: Vigas en empotramiento perfecto.	34
TABLA 3.5: Espesores a escoger del cilindro	38
TABLA 3.6: Matriz de decisión de los espesores de la lámina de acero.....	39
TABLA 3.7: Características comparativas entre métodos de transmisión.....	63
TABLA 3.9: Matriz de decisión de los métodos de transmisión.....	64
TABLA 3.8: Diámetro mínimo recomendado para las poleas.....	65
TABLA 3.10: Curva para la selección de bandas.....	67
TABLA 3.11: Tipos de bandas A.....	69
TABLA 3.12: Potencia transmitida por los diferentes tipos de banda.....	69
TABLA 3.13: Factores de servicio sugeridos para bandas trapeziales	70
TABLA 3.14: Valores de potencia adicional en las bandas por relación de transmisión.....	71
TABLA 3.15: Diámetro mínimo recomendado para las poleas.....	73
TABLA 3.16: Tipos de bandas A.....	76
TABLA 3.17: Potencia transmitida por los diferentes tipos de banda.....	76
TABLA 3.18: Valores de potencia adicional en las bandas por relación de transmisión.....	78
TABLA 3.19: Matriz de decisión de la selección del tipo de eje	96
TABLA 3.20: Vigas perfectamente empotradas	98
TABLA 3.20: Características del tubo estructural ASTM A500	100

CAPITULO IV IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

TABLA 4.1: Actividades del montaje físico de la máquina	121
TABLA 4.2: Características del cilindro de tostado	123
TABLA 4.3: Actividades de montaje y sincronización los actuadores de la tostadora de maní	129
TABLA 4.4: Características del motor marca WEG 1HP 110V-220V.....	131
TABLA 4.5: Pruebas de funcionamiento	135

RESUMEN

El siguiente trabajo escrito contiene el fundamento teórico, los cálculos de diseño y la implementación de una MÁQUINA TOSTADORA DE MANÍ PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL CON SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO.

En el primer capítulo de este documento se reúne toda la información necesaria para el diseño de la máquina tostadora: las características generales del maní, los procesos de tostado, el proceso actual en la industrial artesanal y los tipos de tostadoras de maní.

En el capítulo dos se selecciona y define el tipo de máquina a diseñar, los parámetros con los que funcionará la tostadora y se muestra un diagrama de aproximación en bloques de la misma.

El capítulo tres contiene los cálculos realizados para el diseño de todos los sistemas que constituyen la máquina tostadora de maní, como son: sistema de tostado, sistema motriz, sistema de control y estructura de la máquina.

El montaje e instalación de las partes que componen la tostadora se explican en el capítulo cuatro, además se detallan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos después de la puesta en marcha de la máquina. Finalmente, también se presentan las conclusiones y las recomendaciones del presente trabajo.

ABSTRACT

This written work contains the theoretical fundamentals, the calculations of design and the implementation a toaster machine of peanut for an artisanal industry with semiautomatic system.

In the first chapter of this document is collected all information required about how design the machine: the peanut general characteristics, the process of toasted, the actual process in the artisanal industry and the kinds of toaster machines.

In the chapter two is selected and defined the kind of machine to design, the operating parameters and is showed a block diagrams of machine.

The chapter three contains the calculations made to design every one of the systems that composed the toaster machine, such us: the toasted system, the drive system, the control system and the structure of machine.

The assembled and installation of the parts that composed the toaster is explained in the chapter four, in addition is detailed the tests made and the results after to start the machine. Finally, also is presented the conclusions and the recommendations about this work.

PRESENTACIÓN

La industria artesanal “Productos favoritos” que tiene por propietario al Sr. Edgar Salazar está ubicada en la ciudad de Ibarra. En esta industria se elaboran productos derivados de maní. Para la elaboración los diferentes productos se sigue un proceso de tostado y pelado del maní antes de prepararlo. Actualmente, el maní es tostado en hornos para hacer pan y mientras dura este proceso el operador debe revisar constantemente que el maní no se pase de tueste.

El proyecto que se presenta a continuación, optimiza el proceso de tostado del maní, permite tostar mayor cantidad de maní en menos tiempo y brinda mayor seguridad al operador.

Con esto se obtendrá mayor cantidad de maní tostado permitiendo aumentar la producción del maní de sabores sin alterar la calidad del producto.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de tostado de maní en la industria artesanal mediante el uso de una máquina tostadora que mejore la calidad del producto final y brinde seguridad para los usuarios.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el proceso de tostado de maní.
- Determinar requerimientos y concepciones generales del proceso.
- Utilizar criterios de ingeniería en el diseño de la estructura mecánica del sistema.
- Implementar la tostadora de maní con todos los sistemas que la conforman.
- Realizar las pruebas de trabajo del sistema planteado.
- Elaborar los manuales de uso y mantenimiento de la máquina tostadora de maní.

1.2 PROBLEMA

El maní de sabor es un producto muy requerido en el mercado alimenticio local. La industria artesanal de la ciudad de Ibarra se dedica a la elaboración de algunos productos alimenticios, entre ellos el maní de dulce y sal. Para la elaboración del producto final de maní es necesario primero tostarlo. En la actualidad existen máquinas solo para tostar maní en grandes cantidades orientadas a la gran industria.

En la industria artesanal actualmente se tuesta el maní en un horno casero comúnmente utilizado para hacer pan. El horno que se utiliza no es el óptimo para tostar maní. Al horno solo se puede meter un promedio de 15 libras en cada tostada y tarda en tostarse una hora aproximadamente. Para chequear que el maní se esté tostando correctamente se debe revisar manualmente. Existe un alto riesgo de sufrir quemaduras si se quiere obtener un maní perfectamente tostado.

1.3 ESPECIFICACIONES GENERALES

Se compila a continuación parte del fundamento teórico más relevante acerca de las características del maní y el maní enconfitado.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL MANÍ

“El maní es una planta fibrosa originaria de América, que llega a medir de 30 a 50 cm de altura. Los frutos crecen bajo el suelo, dentro de una vaina leñosa redondeada que contiene de una a cinco semillas. Al poseer una cáscara leñosa sin pulpa se considera un tipo de fruto seco que contienen semillas apreciadas en la gastronomía”.¹



FIGURA 1.1: Maníes con cascara gruesa.²

1.3.1.2 Propiedades³

Principios activos.- “Contiene: amidas, azúcares, colina, araquina, aceite (ácido oleico, palmítico, esteárico, aráquico, mírstico y ligocérico, como componentes), proteínas, betaína”.⁴

¹Cacahuete. Recuperado de: <http://cocinatelotu.es/ingrediente/cacahuete//s>

²Fuente: <http://lasumayresta212.wordpress.com/2013/03/22/mani-arachis-hypogaea/>

³LESUR, LUIS. (2010) Manual de nutrición. (1ra Edición). México: Trillas.

⁴Beneficio de los frutos secos en la ensalada. Tipos de frutos secos: Cacahuete. Recuperado de: <https://www.ropa-ciclismo.com/blog/beneficios-de-los-frutos-secos-en-la-ensalada/>

Indicaciones.- “Es nutritivo, fluidificante, anticolesterolémico. La harina se usa para productos destinados a diabéticos (galletas, turrónes). Se usan los frutos para preparar snacks como maní confitado o salado”.⁵

1.3.1.3 Usos a nivel mundial⁶

“De este fruto se obtienen alimentos como la crema o mantequilla de maní, y se extrae su aceite, muy empleado en la cocina de la India y del sureste de Asia”.⁷

En Paraguay, el dulce de maní es un postre típico de la gastronomía popular preparado en base a maní y miel negra de caña.

En Uruguay y Argentina, se consume de diversas formas: tostado (pelado o con su cáscara); azucarado en forma de garrapiñadas, turrónes y pralinés; como golosina, ya sea confitado o recubierto de chocolate; o dentro de tabletas y barras de este último. Es, además, uno de los componentes principales de las picadas consumidas en bares y restaurantes de ambos países, siendo frecuentemente servido de forma gratuita acompañando a la cerveza.

Argentina también produce manteca de maní, pero su destino suele ser la exportación, ya que su sabor está poco difundido aún entre la población; sin embargo con ella se produce una especie de turrón semiblando conocido por la marca comercial Mantecol. La Argentina es el mayor productor de maní de América Latina, y el noveno mayor productor en el mundo.

En Brasil se elabora un dulce a base de pasta de cacahuete, almidón de mandioca y azúcar, conocido como paçoquinha.

⁵Maní arachis hypogaea. Recuperado de: <http://lasumayresta212.wordpress.com/2013/03/22/mani-arachis-hypogaea/>

⁶Usos del maní: Receta mantequilla de maní. Recuperado de: <http://debuenamesa.wordpress.com/tag/mani/>

⁷Naturista de corazón: cacahuete. Recuperado de: <http://naturistadecorazon.blogspot.com/2011/11/turron-de-mani-y-copos.html>

En Colombia la semilla se consume de distintas maneras: frita (confitada, frita con y sin cáscara, con y sin sal), tostada, con y sin cáscara, y confitada. En este último caso, se confita con caramelo, quedando de color rojo por el colorante rojo natural de la cáscara. También se utiliza para fabricar el turrón de maní o bañado en caramelo.

En Chile se vende normalmente como aperitivo, preparado ya sea en forma industrial o artesanal, en las tiendas de las estaciones de servicio, también en supermercados, kioscos y minimercados entre otros. También, en casi todas las esquinas de los sectores céntricos y en zonas de interés turístico o comercial.

En Cuba también es un alimento popular y se vende en la calles por los denominados "maniseros" quienes tuestan las semillas que luego venden empaquetadas.

En España se consume la semilla cruda o tostada, denominándose entonces "panchitos" en áreas localizadas, aunque se suele conocer popularmente como "cacahuets" o "cacaos".

En México es común encontrarlos en diferentes presentaciones como botana o golosina o en forma de un dulce tradicional muy nutritivo hecho con maníes y miel llamado "palanqueta" o "pepitoria" e incluso como mazapán de cacahuete. Asimismo se utiliza para preparar distintos guisos, como el pollo en salsa de cacahuete.

En Ecuador es un alimento muy consumido que tiene gran presencia en ciertas provincias costeras como la provincia de Manabí, donde su uso es básico en la elaboración de platos típicos como el viche de mariscos, el corviche y otros platos a base de plátano verde. De igual forma se usa en la gastronomía ecuatoriana para la elaboración de bollos de pescado, cazuelas, guatita, salprietá, etc. Se comercializa a escala industrial como pasabocas en distintas presentaciones: salado, con miel, picante.

En Perú es también un alimento popular que se puede hallar en múltiples presentaciones y preparaciones, dulce y salado, artesanal e industrial, confitado con

caramelo, como relleno de chocolates. Además es usado en la preparación de platos típicos.

En Venezuela, y probablemente en otros países, es típico el uso del maní junto a las nueces y varios granos en la decoración de la mesa en los días festivos de la temporada navideña o como merienda de niños en la escuela.

1.3.2 EL MANÍ CONFITADO

EL maní es un producto altamente demandado en la industria alimentaria. Existen múltiples recetas para darle uso al maní y preparar deliciosas comidas, entre ellas el maní confitado consiste en preparar el maní de sal o de dulce para servirlo como *snack*⁸.



FIGURA 1.2: Maníes de dulce (derecha) y maní salado (izquierda).^{9, 10}

⁸*Snack. Significado:* entrada, aperitivo, pasabocas, bocadillo.

⁹Fuente: <http://milibroderecetas.blogspot.com/2012/07/mani-confitado.html>

¹⁰Fuente: https://es.123rf.com/photo_4331722_mani-salado-en-close-up.html

En el Ecuador existen industrias artesanales dedicadas a elaborar estos productos comestibles. Para la elaboración del maní de sabor en la industria artesanal es necesario el siguiente proceso:

- 1 Tostar el maní, cuidando que el maní quede bien tostado pero no se queme.
- 2 Enfriar después del tostado.
- 3 Pelar el maní tostado, cuidando que el grano no se rompa en este proceso.
- 4 Prepararlo con sal o dulce.
- 5 Dosificar y empaquetar para finalmente comercializar el producto.

1.4 PROCESOS DE TOSTADO DE MANÍ

Existen muchos productos derivados del maní y en casi todos los productos el maní debe ser tostado antes de su preparación. Como se explicó anteriormente el proceso de tostado es el primero en la elaboración de maní enconfitado. Lo primordial al momento de tostar el maní es tener en cuenta el tiempo y temperatura adecuada de tueste para preservar su sabor y calidad.

Existen varios métodos para tostar maní. En general una sencilla clasificación de estos sería la cantidad a tostar según su posterior utilidad. Los métodos para tostar maní más comunes son:

1.4.1 A NIVEL INDUSTRIAL (GRANDES CANTIDADES).- Se utiliza máquinas específicamente diseñadas para tostar maní.



FIGURA 1.3: Tostadora industrial de maní.¹¹

1.4.2 A NIVEL ARTESANAL (CANTIDADES MEDIAS).- Se utiliza hornos comunes de cocina u hornos para hacer pan.



FIGURA 1.4: Horno casero de bandejas.¹²

1.4.3 EN EL HOGAR (PEQUEÑAS CANTIDADES).- Se utiliza el maní en un sartén y tostándolo de forma sencilla en la hornilla de la cocina.

¹¹Fuente: <http://lima.evisos.com.pe/tostadora-para-mani-id-341063>

¹²Fuente: <http://comeencasa.blogspot.com/2010/08/tareas-malditas-en-la-cocina.html>



FIGURA 1.5: Maní tostado de forma casera en hornilla de cocina.¹³

1.4.4 PROCESO ACTUAL DE TOSTADO EN LA INDUSTRIA ARTESANAL

Como se define, para la elaboración del maní confitado, es necesario tostar adecuadamente el grano antes de pelarlo. Como referencia se toma una industria artesanal que elabora maní confitado. En esta industria este proceso se realiza utilizando un horno común para hacer pan. Se tuesta un promedio 15 libras por hora de la siguiente manera:

- ✓ Se coloca el maní con cascara roja en una bandeja para hacer pan
- ✓ Se distribuye el maní en la bandeja formando una capa uniforme para intentar que se tueste apropiadamente.
- ✓ Se mete la bandeja al horno a una temperatura entre 160 a 200 grados centígrados por un tiempo de 45 a 60 minutos aproximadamente.

¹³Fuente: http://cocinavino.com/pasoapaso/receta_info.php?id_receta=10793

10

- ✓ Se revisa constantemente la temperatura del horno para evitar que el maní se quemara y se toma pequeñas muestras para asegurar el tueste adecuado

- ✓ Finalmente se retira del horno la bandeja de maní y se lo deja enfriar para el posterior proceso de pelado.

1.5 TIPOS DE TOSTADORAS

Existen varios tipos de tostadoras, se describe a continuación cada una y sus características.

1.5.1 MAQUINA TOSTADOTA DE TAMBOR GIRATORIO

La tostadora consta de un tambor giratorio en donde los granos son fácilmente tostados gracias a la hornilla ubicada en la parte inferior, mientras el tambor permanece en rotación con la ayuda de un motor. “Esta máquina ha sido diseñada para un correcto tostado del maní, obteniéndose un producto uniforme en su coloración sin presencia de granos quemados”.¹⁴

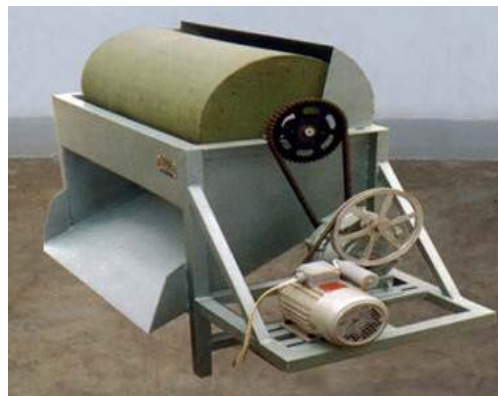


FIGURA 1.6: Tostador INMEGAR Modelo SB.¹⁵

¹⁴Maquinas para el procesamiento de maní: tostadora modelo SB. Recuperado de: <http://www.inmegar.com/mani.html>

¹⁵Fuente: <http://www.inmegar.com/mani.html>

MODELO	POTENCIA HP	KGR/HORA
T-50	0,5	50
T-100	1	100
T-150	2	200

TABLA 1.1: Características de la tostadora de maní SB INMEGAR.¹⁶

1.5.2 HORNO CON BANDEJAS CONVECCIONAL

Es común el uso de un horno convencional para tostar maní. Este horno de combustión a gas tuesta el maní en las bandejas que son colocadas dentro del horno. El calor es generado gracias a una hornilla y se mantiene dentro del compartimento cerrado.



FIGURA 1.7: horno para pan.¹⁷

¹⁶Fuente: <http://www.inmegar.com/mani.html>

¹⁷Fuente: <http://ciudadbarinas.olx.com.ve/pictures/horno-panadero-nuevo-05-camara-y-para-10-bandejas-iid-395751629#the-big>

1.5.3 MÁQUINA DE PLATO CON ASPAS GIRATORIAS

Esta tostadora es por lo general de combustión a gas. El maní se coloca en un plato sobre una hornilla que genera calor mientras las aspas giran removiendo el maní para evitar que se queme y obtener un producto de tueste más uniforme como se muestra en la siguiente figura.

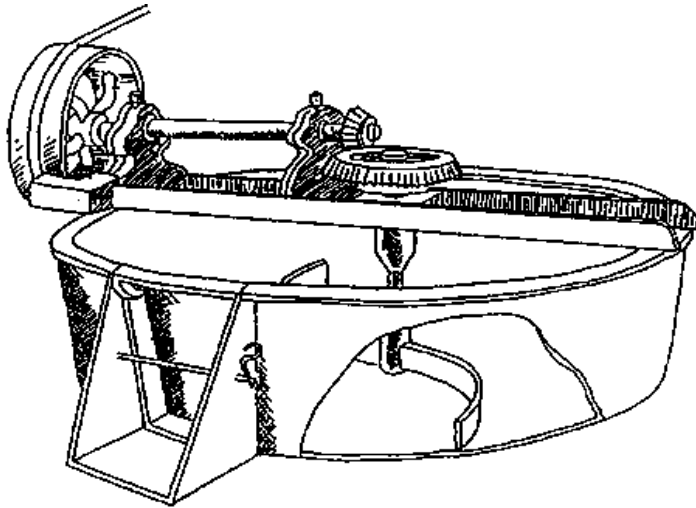


FIGURA 1.8: maquina de plato con aspas. ¹⁸

¹⁸ Fuente: <http://www.nzdl.org/gsd/mod?e=d-00000-00---off-0fml2.2--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-4---0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL3.64&d=HASH017a49f015d5f9f4e2288ce2.3.3>=1>

CAPITULO II

ARQUITECTURA DEL SISTEMA

2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO DE MANÍ

Como se explica en el CAPÍTULO I, en la industria artesanal actualmente se utilizan hornos de pan para tostar el maní. Al colocar el maní en las bandejas para pan los granos muchas veces no se tuestan uniformemente, además que si el operador no revisa constantemente el maní, este puede pasarse de tueste generando perdidas para el negocio, o peor aun el operador puede obtener quemaduras en la piel durante las constantes tomas de muestra del grano.

Por esta razón y también para garantizar que el grano se tueste más uniformemente selecciona la de tipo tambor giratorio en lugar de utilizar las bandejas de un horno, y es la que se diseña.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TOSTADORA

La maquina tostadora de maní que se diseña a continuación consta de un tambor que gira con la ayuda de un motor eléctrico y se ubica horizontalmente para colocar la hornilla en la parte inferior de esta cavidad giratoria. La velocidad de giro del motor es la adecuada para permitir que el grano se tueste de la mejor manera.

Para optimizar el tiempo de tueste el tambor y la hornilla están recubiertos con aislamiento térmico, de la misma manera que en un horno normal procurando que todo el calor sea aprovechado.

Con la finalidad de impedir que el maní se queme se controla el tiempo de tostado acoplado un temporizador al sistema de control de la maquina. Además se incluirá un tomador de muestra adecuado para evitar las quemaduras en el operador.

2.3 REQUISITOS DEL SISTEMA

Los requisitos del sistema son: de seguridad, de consumo eléctrico y potencia, de espacio, de capacidad y de higiene y calidad alimentaria.

2.3.1 DE SEGURIDAD

Dentro de los requisitos de seguridad está el control de salida del gas GLP para evitar posibles accidentes. Para llevar a cabo este control se utiliza una válvula de cierre y apertura que controle la salida del gas y un chispero que permita encender la llama en el piloto antes de prender la hornilla principal. La electroválvula también impedirá el paso del gas en caso de que el operador decida detener el proceso apagando la máquina o la tostadora se apague por fallo en el suministro de energía eléctrica.

Además se diseña un tomador de muestras para procurar la seguridad del operador al momento de tomar las muestras de maní durante el proceso de tostado.

2.3.2 DE CONSUMO ELÉCTRICO Y POTENCIA

En la industria artesanal se dispone habitualmente de una red de 110V por lo que para hacer su uso más adaptable el consumo eléctrico de la maquina tostadora será de 110V. Como se explicó en la sección 2.1 de este capítulo, la maquina contara con la ayuda de un motor para hacer girar el tambor. Se utiliza un motor de 1hp aproximadamente que sumado con el resto de elementos que conformaran la maquina se calcula un consumo de potencia aproximado de 1000w.

2.3.3 DE ESPACIO

En la industria artesanal de maní para la que trabaja la maquina tiene suficiente espacio, sin embargo para dimensionar la tostadora se tendrá en cuenta unas dimensiones aproximadas de 100 cm de alto, 160 cm de ancho y 70 cm de espesor. Ocupando un espacio aproximado de 1.12 m³.

2.3.4 DE CAPACIDAD

Uno de los requisitos importantes es la cantidad por hora de la máquina para tostar los granos de maní. Teniendo en cuenta la necesidad del maní tostado en industria artesanal, la capacidad de la maquina será de 50 libras por hora.

2.3.5 DE HIGIENE Y CALIDAD ALIMENTARIA²⁰

“La calidad de los alimentos es el conjunto de cualidades que hacen aceptables los alimentos para los consumidores. Estas cualidades incluyen tanto las percibidas por los sentidos: sabor, olor, color, textura, forma y apariencia, tanto como las higiénicas”.²¹ Por tanto este es uno de los requisitos más importantes que se tomara en cuenta en el diseño de la maquina tostadora.

Para asegurar la calidad del producto final de maní se precisa un tueste adecuado mediante la rotación del tambor y la correcta temperatura. La maquina se implementa con acero inoxidable para cerciorar la higiene de los alimentos. Y finalmente pero no menos importante se dedica una sección en el manual de mantenimiento donde se explique una adecuada forma de mantener la higiene dentro de la tostadora.

²⁰GARCÍA FAJARDO, ISABEL. (2008) Alimentos seguros: guía básica sobre seguridad alimentaria. (1ra Edición). España: Díaz de Santos.

²¹Control de calidad de alimentos. Recuperado de: <http://nanyastridcoral.blogspot.com/2011/01/control-de-calidad-de-alimentos.html>



FIGURA 2.1: Diagrama de la calidad de los alimentos.²²

2.4 APROXIMACIÓN EN BLOQUES

Se realiza la aproximación en bloques del sistema mecánico y del sistema de control.

2.4.1 SISTEMA MECÁNICO

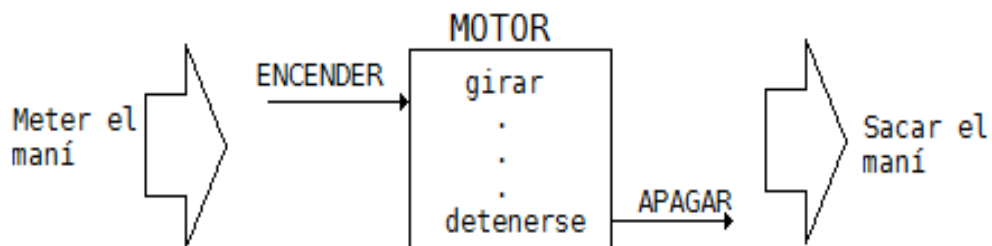


FIGURA 2.2: Aproximación en bloque del Sistema mecánico.²³

²²Fuente: <http://www.fao.org/docrep/meeting/X2669s.htm>

²³Fuente: Autor.

2.4.2 SISTEMA DE CONTROL

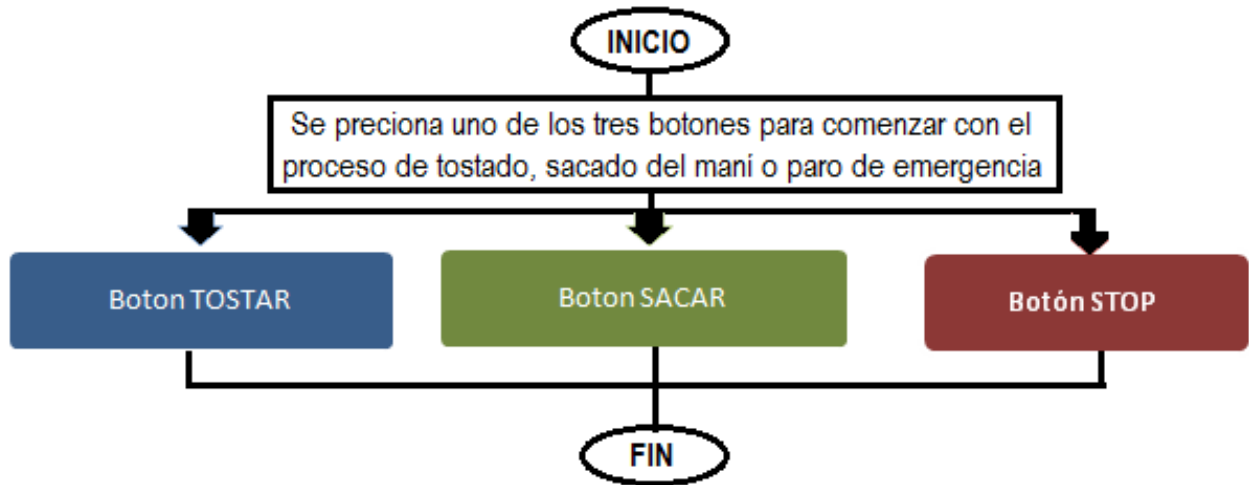


FIGURA 2.3: Aproximación en bloque del Sistema de control.²⁴

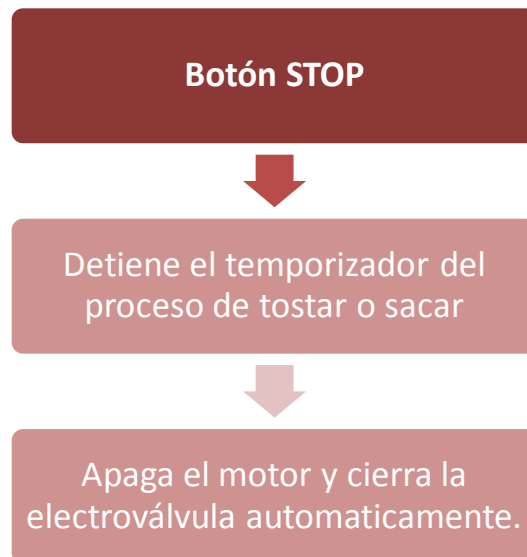
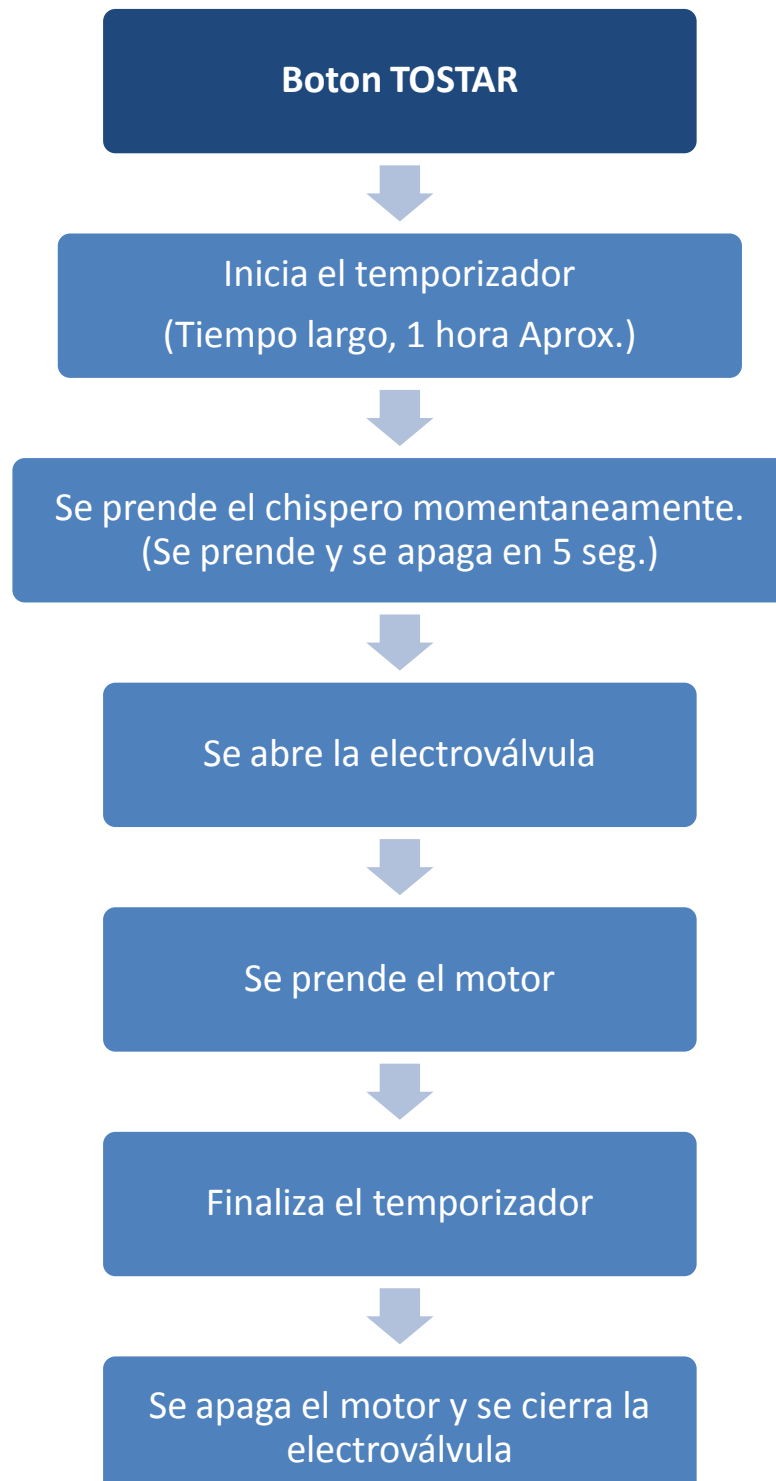


FIGURA 2.4: Aproximación en bloque del paro de emergencia.²⁵

^{24,25}Fuente: Autor.

FIGURA 2.5: Aproximación en bloque del proceso de tostado.²⁶

²⁶Fuente: Autor.

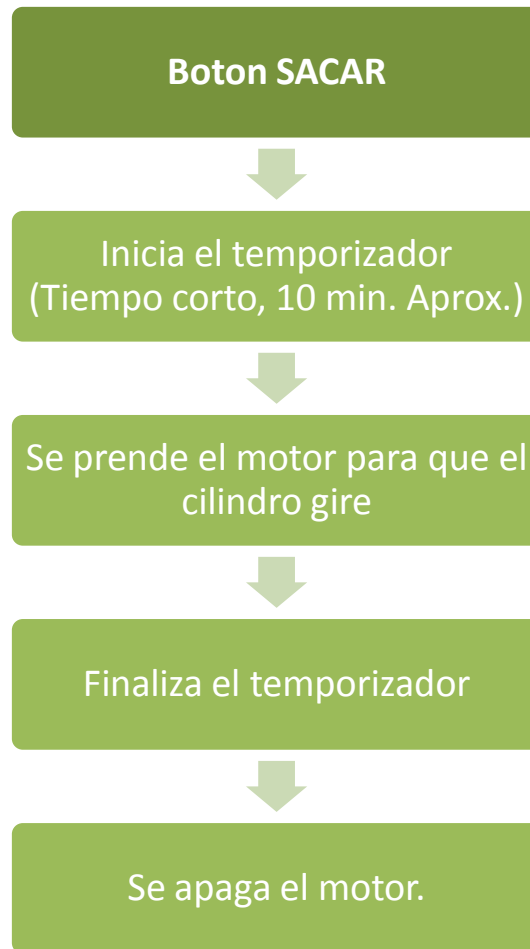


FIGURA 2.6: Aproximación en bloque del proceso de sacado.²⁷

²⁷Fuente: Autor.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA MÁQUINA TOSTADORA DE MANÍ

En el diseño de la máquina se toma en cuenta cada una de las partes, para esto se divide el aparato en los en los sistemas que lo conforman, en cada sistema se realiza el diseño y selección de las partes.

En la figura 3.1 se muestra la máquina tostadora de maní con cada uno de las partes o sistemas que la conforman.

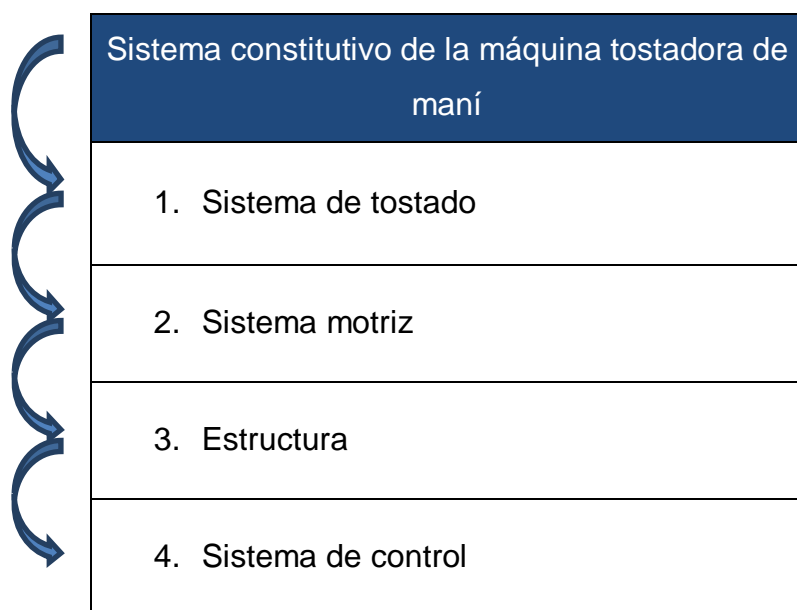


FIGURA 3.1: Máquina tostadora de maní y los sistemas que la conforman.²⁸

El sistema a construirse debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Mantener la temperatura de tostado durante todo el proceso de una manera uniforme.
- Tener un sistema de control que permita la intervención manual del operario durante el proceso.

²⁸Fuente: Autor.

- Evitar pérdidas por transferencia de calor mediante un aislamiento de la cámara de tostado y así reducir riesgos de quemaduras a los operarios garantizando mayor seguridad.

Para realizar el diseño de la tostadora se ha dividido la máquina varios sistemas los cuales se enlista a continuación:

- Sistema de tostado
 - Tambor
 - Cámara de tostado
- Sistema motriz.
 - Motor
 - Transmisión
 - Eje
- Estructura.
- Sistema de control.

Tambor.- Es la parte cilíndrica formada por una lámina de acero inoxidable AISI 304 adecuada para el diseño de intercambiadores de calor en la industria alimenticia, El tambor gira durante el proceso para que el tueste se realice de forma uniforme en todo el proceso.

Cámara de tostado.- Es el lugar donde se encuentra el aislamiento térmico para evitar las pérdidas de calor y a su vez rodea al tambor encerrando el calor que proviene de los quemadores.

Sistema motriz.- Está constituido por un motor que es el encargado de proporcionar la fuerza de giro, y está unido a un eje motriz donde se soporta el tambor mediante volantes de sujeción y el eje a su vez esta soportado en cojinetes.

Estructura.- Es un espacio cerrado que protege a la máquina y en cuyo interior se encuentran todos los elementos que constituyen la misma.

Sistema de control.- Es un control realizado por un autómata que sigue un determinado programa durante el proceso y a su vez permite intervenir en el mismo de forma manual.

3.1 SISTEMA DE TOSTADO

Está constituido por el tambor y la cámara de tostado. El tambor está unido por volantes de sujeción al eje motriz y se ubica en una cámara de combustión o de tostado en la que circula el calor que proporcionan los quemadores.

La cámara de combustión tiene una protección metálica de lana de vidrio que se encargara de minimizar las pérdidas por transferencia de calor y evitara daños a los operarios.

La figura 3.2 muestra las partes del sistema de tostado.

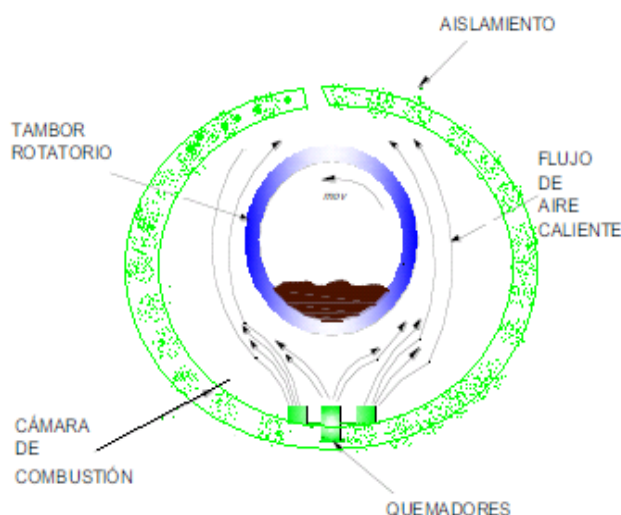


FIGURA 3.2: Partes del sistema de tostado.²⁹

²⁹Fuente: Autor.

3.1.1 TAMBOR ROTATORIO

El tambor rotatorio esta dentro de la cámara de tostado, sus funciones y parámetros de funcionamiento se explican a continuación.

3.1.1.1 Funciones del tambor de la tostadora

- Contener el maní.
- Tostar el maní uniformemente mediante la rotación a una velocidad constante.

3.1.1.2 Parámetros de funcionamiento

- Horas de uso: 4 horas al día aproximadamente.
- Temperatura de trabajo: 260°C

3.1.1.3 Cálculo del espesor del tambor

Para diseñar una tostadora con capacidad de 50lb o 22,68kg se tiene en cuenta las características ya determinadas del maní como el peso específico que se muestra en la tabla 3.1.

DENSIDAD APARENTE	
PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS	DENSIDAD (kg/m³)
Alfalfa, granos	750 - 800
Algodón, granos con su fibra	420
Algodón, granos no apretados	100 - 120
Arroz cáscara	500 - 630
Arroz, gavillas	80- 120
Arroz blanqueado	800 - 850
Arroz de embarque (descascarado)	700 - 750
Avena	500 - 540
Cacahuete con cáscara para aceite	370 - 400
<u>Cacahuete sin cáscara</u>	<u>600 - 620</u>
Cacahuete con cáscara para consumo directo	270 - 300
Cacao (granos frescos)	900
Cacao (granos fermentados)	775
Cacao (granos secos)	635
Café (granos frescos)	620
Café comercial	715
Café (granos secos)	450
Cebada	550 - 690
Frijoles o habichuelas, granos	750 - 850
Guisantes	800- 880
Lino	600- 680
Maíz, granos	700- 820
Maíz, mazorcas peladas	450
Malta	530- 600
Mijo	700
Soja, granos	720 - 800
Sorgo, granos	670 - 760
Trigo	750 - 840
Harina	500 - 800

TABLA 3.1: Densidad de algunos productos.³⁰

³⁰Fuente:<http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041s09.htm>

Con estos datos se calcula el volumen que ocupa el maní en el cilindro.

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

d= Densidad 600[kg/m³].

m= Masa requerida 22,68 [kg].

V= Volumen a ocupar [m³].

Teniendo en cuenta que se conoce el peso específico y la masa requerida, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$V = \frac{22.68\text{kg}}{600 \text{ kg/m}^3}$$

$$V= 0,0378[\text{m}^3]$$

Sabiendo que el volumen que ocupa el cacahuate en el tambor es de 0,0378 m³ se procede a calcular el volumen que debe tener el tambor para contener el producto, teniendo en cuenta que para garantizar un tueste uniforme el tambor no debe ser ocupado más allá del 40% de su volumen total para lo cual se realiza una regla de 3 para saber el volumen que debe tener el cilindro.

Volumen	Porcentaje
X	100%
0,0378m ³	40%

$$X = \frac{v \cdot 100\%}{V_{\text{necesario}}} = \frac{0.0378 \cdot 100}{40} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$x = 0,195 \text{ [m}^3\text{]}$$

El valor encontrado X es el volumen mínimo que debe tener el tambor y es de 0.195m^3 , valor con el cual se procede a dimensionar el cilindro, se asume un valor para el radio de 23cm.

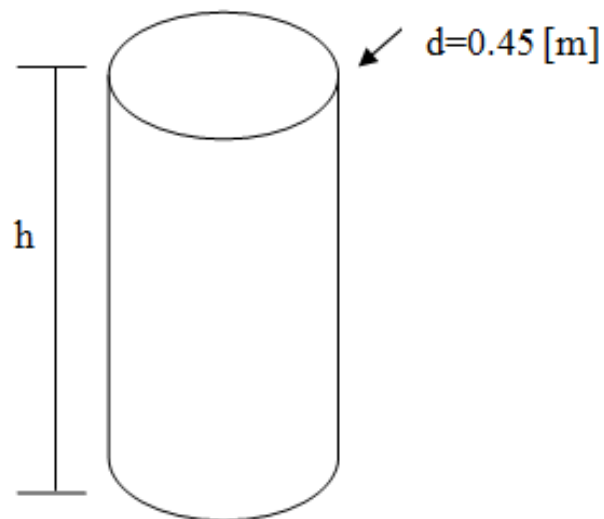


FIGURA 3.3: Bosquejo del cilindro.³¹

$$h = \frac{v}{\pi r^2} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Donde:

h = Altura del cilindro.

V = volumen mínimo del cilindro $0,094 \text{ [m}^3\text{]}$

r = Radio del cilindro 0.225 [m]

³¹Fuente: Autor.

$$g = \frac{v}{\pi r^2} = \frac{0.094}{\pi 0.225^2} = 0.6 \text{ [m]}$$

La longitud del tambor necesaria para contener el volumen es de 0.6 [m] de largo y el radio de 0,225[m].

Considerando que el cilindro debe ser de pared delgada se puede calcular la presión interna que soporta a causa del maní.

$$f = pLD \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:

f = Fuerza que ejerce el maní 50lb.

p= Presión interna

L= longitud del tambor 0.794m.

D= Diámetro del cilindro 0,56m.

Para saber la fuerza que ejerce las 50 lb de maní se transforma el valor a Newton.

$$50\text{lb} \frac{1\text{kg}}{2.254\text{lb}} = 22.68\text{kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 222.264 \text{ [N]}$$

Con este dato se resuelve la ecuación de la siguiente manera:

$$p = \frac{F}{LD} = \frac{222.264\text{N}}{0.65\text{m} \times 0.45\text{m}} = 759.87 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

La presión con la que opera la máquina es de 759.87 [N/m²], por motivos de diseño este valor se multiplica por un factor de seguridad de 1,5 para conseguir el valor de la presión de diseño obteniendo un valor de 1139.814 [N/m²].

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Donde:

t= Espesor del cilindro.

P= Presión de diseño 1139.814 [N/m²]

R= Radio del cilindro 0,225 [m].

S= Esfuerzo permisible.

E= Eficiencia de la junta o soldadura.

En la tabla 3.2 se muestra la eficiencia de soldadura.

Fig. 6-138	Descripción de la junta	Grado de examen		
		Radio- grafía completa	Examen por puntos	No examinada por puntos
<i>a,b</i>	Junta por ensamble con soldadura doble o con medios que permitan obtener la misma calidad de metal soldado a ambos lados de la junta	1.00	0.85	0.70
<i>b</i>	Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo en su lugar	0.90	0.80	0.65
<i>c</i>	Junta por ensamble de soldadura simple, sin banda de respaldo. Sólo se permite para algunas juntas perimetrales.			0.60

TABLA 3.2 Eficiencia máxima permisible para juntas soldadas con gas y con arco.³²

³²Fuente: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3063>

Las soldaduras que se usa en el tambor serán por los dos lados para que el material quede perfectamente unido por lo que el valor de eficiencia es 0,85.

El esfuerzo máximo permisible del acero inoxidable AISI 304 se muestra en la siguiente tabla.

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MÁX)	
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi		ROCKWELL	VICKERS
49	69 500	18	25 500	40	90	200

TABLA 3.3 Propiedades Mecánicas del acero AISI 304.³³

Se transforma el valor de 49 kg/mm² que es el esfuerzo permisible a N/m² para resolver la ecuación.

$$49 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{100\text{mm}^2}{1\text{cm}^2} = 4900 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$4900 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 480525849.99 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} = \frac{\frac{1139,876\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,225\text{m}}{480525849.99 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0,85 - 0,6 * 1139,876 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} =$$

$$\frac{256.47 \text{ m}}{408446231.5} = 0,000000628\text{m}$$

³³CATALOGO DIPAC, planchas de acero inoxidable [AISI 304], pág. 8.

Para hacer un cálculo más conservador del espesor del cilindro se puede hacer un análisis estático de una sección del cilindro como una viga perfectamente empotrada con la carga total del maní distribuida sobre toda la sección, para que el espesor que se obtenga sea suficiente tomando este caso como el más crítico para el diseño.

Para hallar la fuerza total que el maní ejerce sobre esta sección del cilindro se halla la aceleración angular de giro del cilindro, de la siguiente manera:

$$\omega = \omega_0 + \alpha * t \quad \text{Ec. (3.7)}^{34}$$

Donde:

ω = velocidad angular, 5.235 rad/s

ω_0 = velocidad angular inicial = 0

α = aceleración angular, [rad/s²]

t = tiempo, 60 [s]

Se despeja la aceleración angular y se tiene:

$$\alpha = \frac{5.23 \text{ rad/s}}{60\text{s}} = 0.08 \text{ rad/s}^2$$

Ahora con este dato se encuentra la aceleración angular con la siguiente ecuación:

$$a_t = \alpha * r \quad \text{Ec. (3.8)}^{35}$$

^{34,35} Magnitudes lineales y angulares. Recuperado de: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fisica/cinematica/circular1/circular1.htm>.

Donde:

a_t = aceleración tangencial, [m/s²]

α = aceleración angular, 0.08 [rad/s²]

r = radio del cilindro, 0.225 [m]

Se resuelve la ecuación 3.8 y se obtiene:

$$a_t = 0.028 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Para hallar la fuerza total ejercida en la sección del cilindro se halla la fuerza dinámica y luego la fuerza estática.

$$F_{\text{dinamica}} = m * a_t \quad \text{Ec. (3.9)}$$

Donde:

F_{dinamica} = fuerza dinámica que ejerce el maní sobre la sección del cilindro, [N]

m = masa del maní en el cilindro (carga crítica), 75 [lb] = 34.021 [kg]

a_t = aceleración tangencial, 0.028 [m/s²]

La máquina tuesta una cantidad de 50 libras de maní en cada carga, pero por motivo de análisis crítico se toma la carga máxima que el operador puede introducir dentro del cilindro, siendo 75 libras la cantidad con la que se analice este caso.

Se resuelve la ecuación 3.9 y se encuentra que:

$$F_{\text{dinamica}} = 0.952 \text{ N}$$

Ahora se encuentra la fuerza estática ejercida con la siguiente ecuación:

$$F_{\text{estática}} = m * g \quad \text{Ec. (3.10)}$$

Donde:

$F_{\text{estática}}$ = fuerza estática que ejerce el maní sobre la sección del cilindro, [N]

m = masa del maní en el cilindro (carga crítica), 75 [lb] = 34.021 [kg]

g = gravedad, 0.028 [m/s²]

Se tiene que:

$$F_{\text{estática}} = 333.4 \text{ N}$$

La fuerza total ejercida es:

$$F_{\text{dinamica}} + F_{\text{estática}} = 334.35 \text{ N}$$

Se utiliza esta fuerza encontrada como una carga distribuida en una viga de 0.65 m de largo biempotrada. A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre:

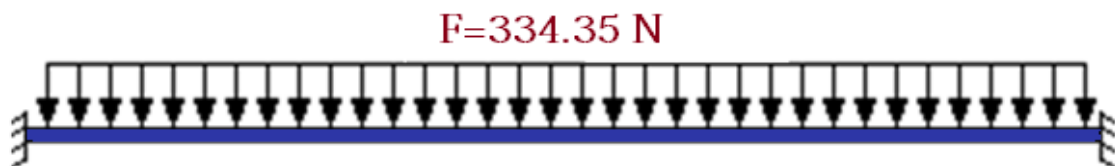


FIGURA 3.4: Diagrama de cuerpo libre de la viga con la carga uniformemente distribuida.³⁶

³⁶Fuente: Autor.

Se encuentra el momento flector máximo mediante la utilización de una tabla de vigas empotramiento perfecto con carga distribuida.

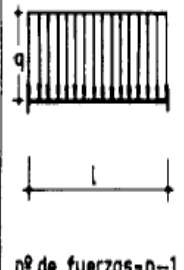
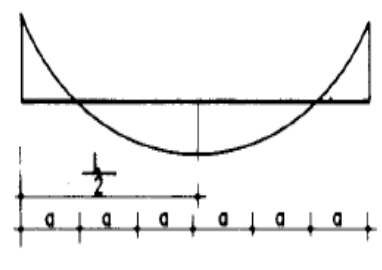
SOLICITACION	MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO	REACCIONES EN LOS APOYOS	DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES
 <p> q l nº de fuerzas = $n-1$ </p>	$M_A = \frac{ql^2}{12}$ $M_B = -\frac{ql^2}{12}$	$R_A = \frac{ql}{2}$ $R_B = \frac{ql}{2}$	 <p> $\frac{l}{2}$ a a a a a a </p>

TABLA 3.4: Vigas en empotramiento perfecto.³⁷

Se extrae la siguiente la fórmula de momento flector máximo de la tabla anterior:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{12} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

Donde:

M = momento flector maximo, [N * m]

q = carga por unidad de longitud, [N/m]

L = longitud de la viga perfectamente empotrada, [m]

³⁷Formulario-de-vigas. <http://www.slideshare.net/marggot696/formulario-de-vigas>

Para hallar el valor de la carga por unidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = q * L \quad \text{Ec. (3.12)}^{38}$$

Donde:

Q = carga total, 334.35 [N]

q = carga por unidad de longitud, [N/m]

L = longitud de la viga, 0.65 [m]

Se despeja (q) de la ecuación 3.12 y se obtiene:

$$q = \frac{334.352 \text{ [N]}}{0.65 \text{ [m]}} = 514.387 \text{ [N/m]}$$

Con este dato se resuelve la ecuación 3.11 y se obtiene el momento flector máximo:

$$M = \frac{514.387 \text{ [N/m]} * (0.65 \text{ m})^2}{12} = 18.11 \text{ [N * m]}$$

Se encuentra el módulo de sección de resistencia (W) de la viga circular hueca con la siguiente ecuación:

$$M = Z * R \quad \text{Ec. (3.13)}^{39}$$

³⁸Arq.Argimiro Castillo Gandica. Universidad de Los Andes. Analisis estructural. Viga biempotrada con carga uniformemente distribuida. Recuperado de: http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE_VIGAS.html

³⁹Alma de herrero. (2009). Calculo de resistencia de vigas. Recuperado de: <http://almadeherrero.blogspot.com/2009/09/calculo-de-la-resistencia-de-una-viga.html>

Donde:

$M =$ Momento de las fuerzas exteriores que producen la flexión, 18.11 [N * m]

$Z =$ Módulo de la sección, [m³]

$R =$ Resistencia a la tracción del material (AISI 304), 480 200 000[N/m²]

Se despeja (Z) y se tiene:

$$Z = \frac{18.11}{480\,200\,000}$$

$$Z = 3.7 * 10^{-8} [\text{m}^3]$$

El siguiente gráfico muestra la fórmula para calcular secciones circulares huecas (Tubos).

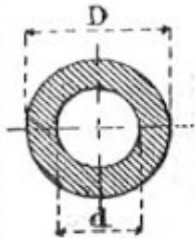
CROQUIS de la sección	MÓDULO Z de la sección	ÁREA A de la sección
	$\frac{\pi}{32} \times \frac{D^3 - d^3}{D}$	$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$

FIGURA 3.5: Secciones circulares huecas.⁴⁰

Si se conoce que el diámetro externo del tambor en este caso tomado como un tubo es de 0.45 m, se puede calcular el diámetro interno y luego el espesor de la lámina de hacer. Del gráfico anterior se extrae la fórmula para calcular el modulo de sección (Z):

⁴⁰Alma de herrero. (2009). Calculo de resistencia de vigas. Recuperado de: <http://almadeherrero.blogspot.com/2009/09/calculo-de-la-resistencia-de-una-viga.html>

$$Z = \frac{\pi}{32} * \frac{(D^4 - d^4)}{D} \quad \text{Ec. (3.14)}$$

Donde:

Z = Módulo de la sección, $3.7 * 10^{-8} [\text{m}^3]$

D = diametro externo, 0.45[m]

d = diametro interno, [m]

Se despeja el diámetro interno de la ecuación y se tiene:

$$d = \sqrt[4]{D^4 - \frac{Z * \pi * D}{32}} = \sqrt[4]{0.45^4 - \frac{3.7 * 10^{-8} * \pi * 0.45}{32}} = 0.449\ 999\ 999 \text{ [m]}$$

Para obtener el espesor mínimo que debe tener la lámina de acero, se resta el diámetro exterior menos el diámetro interior obtenido:

$$\text{espesor} = D - d = 0.45 - 0.449\ 999\ 995 = 4.48 * 10^{-9} \text{ [m]} = 0.000\ 004 \text{ [mm]}$$

Después de calcular el espesor, tomando el cilindro como una viga en empotramiento perfecto con una carga crítica, se encuentra un valor de espesor de 0.000004 mm, mientras que en el análisis del cilindro como un recipiente que contiene el maní se obtuvo un espesor de 0.000628 mm. Para asegurar un mejor diseño del cilindro se toma el valor mayor de los espesores encontrados, por lo que la lámina de acero que forma el tambor debe ser de un espesor mayor a 0.000628 mm.

3.1.1.4 Selección del espesor de la lámina del tambor

El espesor necesario para la lámina que forma el cilindro es 0,36mm. En el mercado se puede encontrar láminas con espesores desde 0,4mm pero tomando en cuenta que el mínimo espesor soldable sin deformación es de 0.6mm, se procede a evaluar los posibles espesores a escoger de entre: 0,4mm, 0,6mm y 0,7 mm a continuación.

3.1.1.4.1 Criterios de evaluación para la selección de la lámina

Se tiene la siguiente tabla de posibles valores:

ESPESOR	RAZÓN
0.4mm	Espesor mínimo disponible más cercano al calculado
0.6mm	Espesor mínimo soldable
0.7mm	Espesor sobredimensionado teniendo en cuenta un número mayor al mínimo soldable, la deformación y el desgaste.

TABLA 3.5: Espesores a escoger del cilindro.⁴¹

A continuación se detalla los criterios que se toman en cuenta para evaluar el espesor a escoger para construir el tambor:

- **Costo de la lámina de acero inoxidable:** el precio aumenta si el espesor aumenta
- **Disponibilidad en el mercado:** las láminas de 0.4 mm de espesor se fabrican solo bajo pedido anticipado, por lo que es más difícil encontrarlas en el mercado.

⁴¹Fuente: Autor.

- **Deformación:** tomando en cuenta que el tambor trabaja a altas temperaturas para que exista menos riesgo de deformación se debe escoger una lámina más gruesa.
- **Desgaste:** entre más gruesa la lámina más tiempo de vida se garantiza para el cilindro.

3.1.1.4.2 Matriz de decisión

Se construye un matriz de decisión evaluando cada criterio del 1 al 10 (se pondera cada dato con el mismo porcentaje sobre 100%). Se da el valor de 10 al más acertado y de 1 al menos acertado.

Espesores Criterios	0.4mm	0.6mm	0.7mm
Costo	10	7	6
Disponibilidad	1	5	10
Deformación	3	7	10
Desgaste	3	7	10
total	17	26	36

TABLA 3.6: Matriz de decisión de los espesores de la lámina de acero.⁴²

Después del análisis de la matriz de decisión se escoge un espesor de lámina de 0.7mm para la construcción del tambor giratorio de la tostadora.

⁴²Fuente: Autor.

3.1.2 CÁMARA DE TOSTADO

La cámara de tostado mantiene el calor permitiendo que el maní se tueste, a continuación se detallan sus funciones y parámetros.

3.1.2.1 Funciones de la cámara de tostado de la máquina

- Contener el tambor giratorio.
- Generar calor gracias a los quemadores.
- Mantener el calor dentro de la cámara para que el maní se tueste.

3.1.2.2 Parámetros de funcionamiento

- Horas de uso: 4 horas al día aproximadamente al día
- Temperatura de trabajo: 160°C

3.1.2.3 Cálculo de temperaturas y energías de la cámara de tostado

El análisis de transferencia de calor por conducción unidireccional en estado estable nos sirve para encontrar las temperaturas superficiales y los espesores adecuados de cada cilindro.

Los flujos generados en la cámara de combustión se dividen en dos, el calor aprovechado y el calor perdido, dichos flujos se encuentran opuestamente ubicados.

El calor aprovechado es el que va en dirección hacia el interior de la cámara de tueste y el calor perdido es el que busca salir hacia el ambiente.

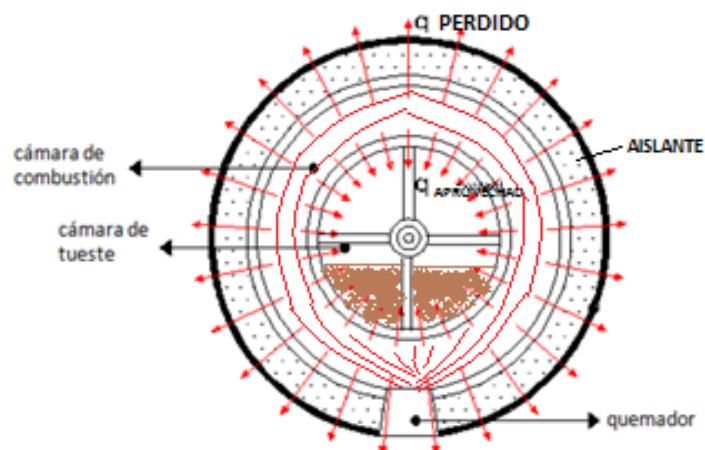


FIGURA 3.6: Flujos de calor en el proceso.⁴³

Para calcular el flujo de calor aprovechado y perdido por el sistema se utiliza la ecuación de resistencia térmica tanto para conducción y convección de cilindros.

La resistencia térmica para convección está dada por:

$$R_{t,conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad \text{Ec. (3.14)}$$

Donde:

$R_{t,conv}$ = Resistencia térmica por convección, [°C/W]

h = Coeficiente de convección, [W/m²°C]

A = Área transversal al flujo de calor [m²]

Resistencia térmica por conducción para cilindros:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln \frac{r_{ext}}{r_{int}}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Donde:

$R_{t,cond}$ = Resistencia térmica por conducción [1C/W]

r_{ext} = Radio externo del cilindro, 0.0226 [m].

⁴³Fuente: Autor.

r_{int} = Radio interno del cilindro, 0.025 [m].

L = Longitud del cilindro, 0.65 [m].

K = Conductividad térmica del material [W/m°C].

En la figura 3.5 se representan los diferentes elementos que intervienen en el flujo de calor perdido a los alrededores.

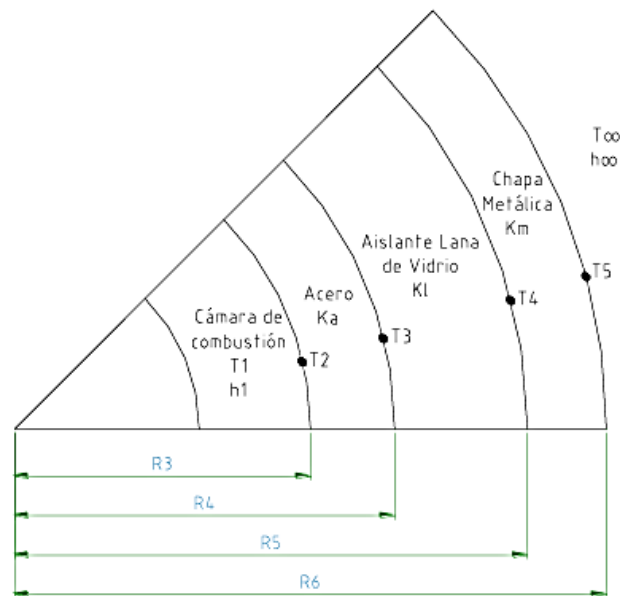


FIGURA 3.7: Capas externas del cilindro tostador.⁴⁴

Para entender cómo se transfiere el flujo de calor hacia afuera del cilindro tostador se esquematiza un circuito térmico, tal como se representa en la siguiente figura.

⁴⁴Fuente: Autor.

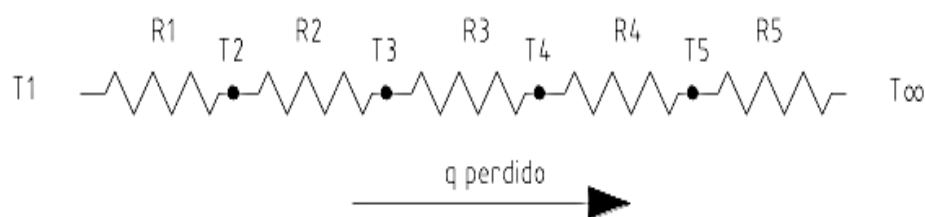


FIGURA 3.8: Circuito térmico del calor perdido.⁴⁵

Con las ecuaciones de resistencia térmica se obtiene la resistencia térmica de las pérdidas de calor:

$$R_{T,1} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 \quad \text{Ec. (3.16)}$$

$$R_{T,1} = \frac{1}{h_1 + A_1} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi \cdot k_a \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_5}{r_4}}{2\pi \cdot k_l \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_6}{r_5}}{2\pi \cdot k_m \cdot L} + \frac{1}{(h_\infty + h_r) \cdot A_2} \quad \text{Ec. (3.17)}$$

Donde:

A_1 = Área transversal al flujo de calor a la entrada del aislante, 1,24 [m²].

A_2 = Área transversal al flujo de calor del exterior de la chapa metálica, 1,97[m²].

h_1 = Coeficiente de convección en la cámara de combustión, 5 [W/m²°C].⁴⁶

h_∞ = Coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente, 5 [W/m²°C].⁴⁷

h_r = Coeficiente de radiación a la temperatura ambiente, 11[W/m²°C].⁴⁸

k_a = Conductividad térmica para acero inoxidable, 14,9 [W/m²°C].⁴⁹

k_l = Conductividad térmica de la lana de vidrio, 0,046 [W/m²°C].⁵⁰

k_m = Conductividad térmica para la chapa metálica, 60,5 [W/m²°C].⁵¹

r_3 = Radio interior lámina de acero inoxidable, 0,225 [m].

r_4 = Radio exterior lámina de acero inoxidable, 0, 226 [m]

⁴⁵Fuente: Autor.

^{46, 47, 48}Rodríguez, Luis. (2011). Diseño de una máquina tostadora de ajonjolí de 40 kg/h de capacidad. Tesis de Ingeniería mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Pág. 75

⁵⁰Incropera, F y DeWitt, D. (1999) Fundamentos de transferencia de calor. (4ta Edición). Pág 824

^{49, 51}Incropera, F y DeWitt, D. (1999) Fundamentos de transferencia de calor. (4ta Edición). Pág 827

r_5 = Radio interior de la chapa metálica, 0,297 [m]

r_6 = Radio exterior de la chapa metálica, 0,299 [m]

L = Longitud de la cámara de combustión, 0,75[m]

Con estos valores se resuelve la ecuación 3.17 para obtener la resistencia $R_{T,1}$:

$$R_{T,1} = 1,452 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right]$$

La figura 3.9 muestra el flujo de calor aprovechado y los elementos de la máquina que interactúan.

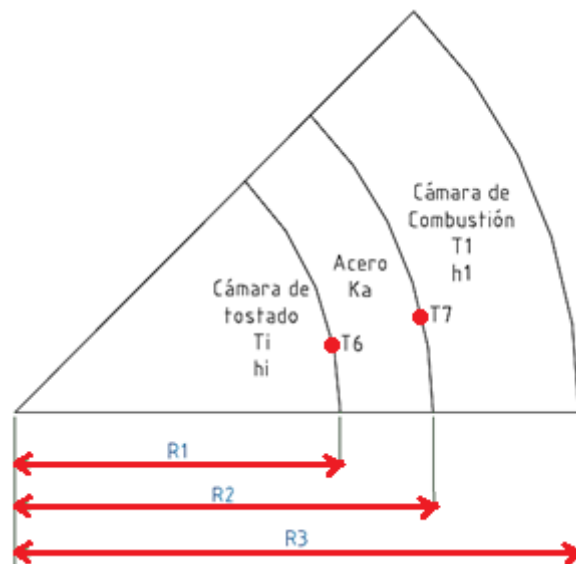


FIGURA 3.9: Capas internas de la cámara de combustión.⁵²

Para entender cómo se transfiere el flujo de calor en la cámara de tostado se esquematiza un circuito térmico, tal como se representa en la figura.

⁵²Fuente: Autor.

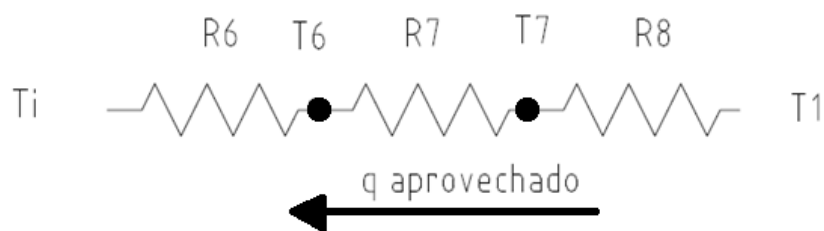


FIGURA 3.10: Capas internas desde la cámara de combustión.⁵³

Con las ecuaciones de resistencia térmica se obtiene la resistencia térmica de calor aprovechado:

$$R_{T_2} = R_6 + R_7 + R_8 \quad \text{Ec. (3.18)}$$

$$R_{T,2} = \frac{1}{h_i \cdot A_3} + \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi \cdot k_a \cdot L} + \frac{1}{(h_1) \cdot A_4} \quad \text{Ec. (3.19)}$$

Donde:

A_3 = Área transversal al flujo de calor a la pared interna de la cámara de tostado, 1.237[m²].

A_4 = Área transversal al flujo de calor a la pared externa de la cámara de tostado, 1.252 [m²].

h_i = Coeficiente de convección en la cámara de tostado, 18 [W/m²°C].⁵⁴

h_1 = Coeficiente de convección en la cámara de combustión, 5 [W/m²°C].⁵⁵

k_a = Conductividad térmica para acero inoxidable, 14,9 [W/m²°C].⁵⁶

r_1 = Radio interior lámina de acero inoxidable, 0,225 [m]

r_2 = Radio exterior lámina de acero inoxidable, 0, 2257 [m]

⁵³Fuente: Autor.

^{54, 55, 56}Diseño de una máquina tostadora de ajonjolí de 40 kg/h de capacidad, Luis Rodríguez, EPN, 2011, Pág. 77

Con estos valores se resuelve la ecuación 3.19 y se obtiene la resistencia

$$R_{T,2} = 0.205 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$$

Utilizando la ecuación 3.20 se encuentra la cantidad de flujo calor necesario para el tostado.

$$q = \frac{\Delta T}{R_{\text{ter}}} \quad \text{Ec. (3.20)}$$

Donde:

q = Flujo de calor, [w]

ΔT = Variación de temperaturas, [$^{\circ}\text{C}$]

R_{ter} =Resistencia térmica, [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

Para calcular el calor aprovechado y perdido es necesario calcular las diferentes temperaturas, para esto es necesario calcular el flujo másico del maní en la tostadora utilizando la ecuación 3.21

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t} \quad \text{Ec. (3.21)}$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico de maní, [kg/s].

m = Masa de maní a tostarse en un determinado tiempo, 22.2 [kg].

Δt = Variación de tiempo que tarda el maní en tostarse, 45[min]= 2700 [s].

Con estos valores se procede a resolver la ecuación.

$$\dot{m} = \frac{22.2}{2700} = 0.0082 \text{ kg/s}$$

Es necesario también calcular el calor específico del maní que para lo que se utiliza la ecuación 3.22 de cálculo de calorías.

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ec. (3.22)}$$

Donde:

Q= calorías que contiene el maní, 571 [Calorías].⁵⁷

m= masa de maní, 100 [g]*

C_p= Calor específico del maní, $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

ΔT = Variación de temperatura, 1 [°C].⁵⁸

Con estos valores se procede a resolver la ecuación.

$$C_p = \frac{Q}{m} = \frac{571}{100} = 5,71 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

Al obtener el valor del flujo másico del maní y con el calor específico a presión constante, se encuentra la energía que se utiliza para tostar el maní desde la temperatura ambiente de la provincia de Imbabura hasta la temperatura de 160°C.

$$q_{\text{aprov}} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{\text{amb}}) \quad \text{Ec. (3.23)}$$

^{57, 58}Calorías y nutrientes en 100 gramos de frutos secos. Recuperado de: <http://www.nutricion.pro/20-12-2007/alimentos/calorias-y-nutrientes-en-100-gramos-de-frutos-secos>

Donde:

q_{aprov} = Calor necesario para tostar el maní, [W]

\dot{m} = Flujo másico del maní en la tostadora, 0.0082 [kg/s]

C_p = Calor específico del maní a presión constante, $5.71 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

T_i = Temperatura de tostado dentro de la cámara de tostado, 160 [°C]

T_{amb} = Temperatura ambiente de la provincia de Imbabura, 18 [°C].⁵⁹

Con estos valores se procede a resolver la ecuación.

$$q_{\text{aprov}} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{\text{amb}}) = 0.0082 * 5.71 * (160 - 18) = 6.65 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = 399 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$$

$$q_{\text{aprov}} = 6650 \text{ W}$$

Los 6650 W es la energía que se debe suministrar al maní para elevar la temperatura de 18 °C, que es la temperatura ambiente, a 160°C para que se tueste y mantener a dicha temperatura constante para obtener un tostado uniforme del maní.

Con los valores de resistencia térmica al flujo de calor en la cámara de tostado y la energía necesaria para tostar el maní, se puede obtener el valor de la temperatura a la que se debe someter el cilindro de tostado aplicando la ecuación 3.17 para el flujo de calor.

$$q_{\text{aprov}} = \frac{(T_1 - T_i)}{R_{T,2}} \quad \text{Ec. (3.24)}$$

⁵⁹Provincia de Imbabura. Recuperado de: <http://www.ecuadorextremo.com/provincias/imbabura.htm>

Donde:

$q_{\text{aprov}} =$ Calor necesario para tostar el maní, 6650 [W]

$T_1 =$ Temperatura de la cámara de combustión.

$T_i =$ Temperatura de la cámara de tostado, 160 [°C]

$R_{T,2} =$ Resistencia térmica hacia la cámara de tostado, 0.205 $\left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right]$

Con estos valores se despeja el valor de la temperatura de la cámara de combustión y se obtiene el siguiente valor:

$T_1 = 1523.25$ [°C]

El valor de 420.015°C es la temperatura de la cámara de combustión, que nos ayuda a encontrar el flujo de calor perdido en los alrededores mediante la ecuación 3.25:

$$q_{\text{perd}} = \frac{(T_1 - T_\infty)}{R_{T,1}} \quad \text{Ec. (3.25)}$$

Donde:

$q_{\text{perd}} =$ Calor perdido en los alrededores, [W]

$T_1 =$ Temperatura de la cámara de combustión, 1523.25 [°C]

$T_\infty =$ Temperatura ambiente, 18 [°C]

$R_{T,1} =$ Resistencia térmica hacia el exterior, 1,452 $\left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right]$

Con estos valores se encuentra el valor de energía perdida:

$q_{\text{perd}} = 1036.67$ [W]

Con los valores de calor aprovechado y calor pedido se puede encontrar la energía que deben suministrar los quemadores sin tener en cuenta la eficiencia de los mismos.

$$q_{\text{total}} = q_{\text{aprov}} + q_{\text{perdido}} \quad \text{Ec. (3.26)}$$

$$q_{\text{total}} = 6650 + 1036.67$$

$$q_{\text{total}} = 7686.67 \text{ [W]}$$

3.1.2.4 Selección de los quemadores⁶⁰

Se utilizan quemadores atmosféricos en la tostadora de maní que garantizan una mezcla de aire y gas licuado de petróleo (GLP) a presión atmosférica en el momento de la combustión, brindando un buen control de temperatura, además son comúnmente comercializados en el mercado ecuatoriano.

Los quemadores atmosféricos están formados por un inyector de combustible, que regula el paso de aire y gas por un pequeño agujero, el gas combustible que pasa a través de del agujero va en función de la presión que se encuentra en la línea de combustible. El inyector induce la mezcla en un venturi, seguida de un tubo que se encarga de distribuir la mezcla reactiva, dicha mezcla sale por agujeros finos distribuidos uniformemente los cuales se encargan de estabilizar la llama.

La inducción de aire es un proceso que sucede en función de una combinación de efectos de propagación y crecimiento de la llama ejercidos por el gas que sale por el inyector, mezclado con el aire que se encuentra a su alrededor, todo esto depende de las condiciones de presión en cada lugar y la geometría del orificio del inyector de combustible.

⁶⁰Rodríguez, Luis. (2011). Diseño de una máquina tostadora de ajonjolí de 40 kg/h de capacidad. Tesis de Ingeniería mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

La estrangulación del fluido a su paso por el venturi genera una caída de presión axial, induciendo aire hacia el interior del quemador, después de la garganta del venturi, el fluido comienza a recuperar presión estática debido a la expansión del área de flujo, hasta un valor superior al de la presión atmosférica en un punto localizado antes de los orificios, permitiendo así la salida de la mezcla reactiva por los agujeros donde se origina la llama.

La figura 3.11 muestra un quemador atmosférico para la industria



FIGURA 3.11 Quemador.⁶¹

Para el encendido de la mezcla se utiliza un ignitor que es el encargado de producir la chispa que produce la llama. El paso de gas está regulado por estrangulación de una válvula que controla la presión de gas y se puede conseguir mediante la variación de la sección de entrada de aire por cambio de geometría de los orificios mediante discos roscados, o capuchón deslizante.

La evacuación de gases desprendidos de la combustión por la chimenea de evacuación y por los costados descubiertos de la estructura del prototipo. En la tostadora de maní la válvula de gas es posicionada antes de la puesta en marcha de la máquina.

⁶¹Fuente: <http://www.familyhandyman.com/grills/how-to-tune-up-your-outdoor-gas-grill/view-all>

3.2 SISTEMA MOTRIZ

Este sistema motriz se encarga de proporcionar el movimiento rotatorio de manera constante al cilindro tostador para que el maní se distribuya de manera uniforme en toda la máquina en un tiempo determinado para proporcionar un buen tueste.

3.2.1. MOTOR

El motor proporciona el torque necesario para que la máquina funcione. A continuación se detallan sus funciones y parámetros.

3.2.1.1 Funciones del motor

- Mover el eje.
- Suministrar la potencia de giro para mezclar el producto.

3.2.1.2 Parámetros de funcionamiento

- Horas de uso: 4 horas al día.
- Temperatura de trabajo: 18°C

3.2.1.3 Selección del motor

El motor es el encargado de proporcionar el movimiento el eje motriz mediante un conjunto de catalinas de transmisión que le dan la velocidad de giro adecuada para que el maní se distribuya de forma uniforme y tenga un buen tostado en toda la extensión del cilindro.

Para la selección del motor es necesario conocer la inercia que existe en cada parte de este sistema, siendo ese el de inercia que el motor debe vencer para que se produzca momento en el cilindro tostador.

El momento del cilindro de tostado está dado por la ecuación 3.27.

$$\sum M = \sum I * \alpha \quad \text{Ec. (3.27)}$$

Donde:

M= Momento, [N*m]

I= Inercia de todas las masas, [Kg* m²]

α = Aceleración angular, [rad/s²]

La inercia mostrada en la ecuación anterior está formada por la sumatoria de inercias de los elementos que conforman el cilindro de tostado como se muestra en la ecuación 3.28

$$\sum I = I_{\text{eje}} + I_{\text{cil}} + I_{\text{vol}} + I_{\text{mani}} \quad \text{Ec. (3.28)}$$

Donde:

I_{eje} = Inercia del eje motriz, [Kg*m²]

I_{cil} = Inercia del cilindro tostador, [Kg*m²]

I_{vol} = Inercia de los volantes soldados a la cámara de tostado, [Kg*m²]

I_{mani} = Inercia de la masa de maní, [Kg*m²]

3.2.1.3.1 Inercia del eje motriz

La inercia del eje motriz está dada en función, para lo que se asume un diámetro de 1[in] = (25.4mm) de acero AISI304.

$$I_{\text{eje}} = \frac{\pi * d_{\text{eje}}^4 * L_{\text{eje}} * \rho}{32} \quad \text{Ec. (3.29)}^{62}$$

Donde:

d_{eje} = Diámetro asumido para el eje, [25.4 * 10⁻³m]

⁶²MERIAM, J. L. (1980) Estática. (2da Edición). Caracas: Editorial Reverté. Pág. 443

L_{eje} = Longitud del eje, 960 [mm], 0.96[m]

P = Densidad del acero AISI 304, 7900 [Kg/m³]⁶³

Se reemplaza los valores en la ecuación 3.29 y se calcula la inercia del eje motriz

$$I_{\text{eje}} = 3.099 \cdot 10^{-4} [\text{Kg} \cdot \text{m}^2]$$

3.2.1.3.2 Inercia del cilindro tostador

El cilindro tostador se considera como un tubo circular, para el cálculo de la inercia se emplea la ecuación 3.30

$$I_{\text{cil}} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho_{\text{ai}} \cdot (D_{\text{ext}}^4 - D_{\text{int}}^4)}{64} \quad \text{Ec. (3.30)}$$

Donde:

I_{cil} = Inercia del cilindro tostador, [Kg·m²]

L = Longitud del cilindro tostador, 0.65 [m]

ρ_{ai} = Densidad acero inoxidable AISI 304, 7900 [Kg/m³]*

D_{ext} = Diámetro exterior del cilindro tostador, 0.4514 [m]

D_{int} = Diámetro interior del cilindro de tostado, 0.45 [m]

⁶³Incropera, F y DeWitt, D. (1999) Fundamentos de transferencia de calor. (4ta Edición). Pág. 827

Con estos valores se resuelve la ecuación 3.30 para obtener la inercia del cilindro de tostado.

$$I_{\text{cil}} = 0.129 \text{ [Kg}\cdot\text{m}^2\text{]}$$

3.2.1.3.3 Inercia de los volantes de la cámara de tostado

Los volantes son los elementos encargados de transmitir el movimiento del eje al tambor para que este pueda girar.

En la figura 3.12 se muestra la ubicación de los volantes con respecto al tambor, y se especifica la forma y sus dimensiones.

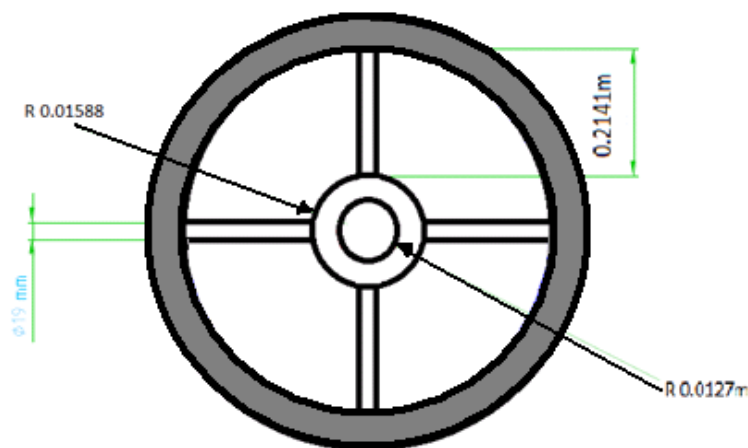


FIGURA 3.12: Ubicación de los volantes en la cámara de tostado.⁶⁴

El cilindro está unido a dos volantes por lo que la inercia sería la siguiente:

$$I_{\text{vol}} = 2(I_{\text{hor}} + I_{\text{bar}}) \quad \text{Ec. (3.31)}$$

Donde:

$$I_{\text{vol}} = \text{Inercia del volante, [Kg}\cdot\text{m}^2\text{]}$$

$$I_{\text{hor}} = \text{Inercia de la horquilla, [Kg}\cdot\text{m}^2\text{]}$$

⁶⁴Fuente: Autor.

I_{bar} = Inercia de la barra (4 por volante), [Kg*m²]

Las horquillas son consideradas cilindros regulares o tubos huecos por lo que la inercia es:

$$I_{\text{hor}} = \frac{\pi * L * \rho_{\text{ai}} * (D_{\text{ext}}^4 - D_{\text{int}}^4)}{64} \quad \text{Ec. (3.32)}^{65}$$

Donde:

I_{hor} = Inercia de la horquilla, [Kg*m²]

L = Longitud de la horquilla, 0.08 [m]

ρ_{ai} = Densidad acero AISI 304, 7900 [Kg/m³]⁶⁶

D_{ext} = Diámetro exterior de la horquilla, 0.0317[m]

D_{int} = Diámetro interior de la horquilla, 0.0254 [m]

Con estos datos se resuelve la ecuación 3.32 para obtener el valor de la inercia.

$$I_{\text{hor}} = 1.861 * 10^{-5} \text{ [Kg*m}^2\text{]}$$

En cada horquilla están unidas cuatro barras solidarias al cilindro por lo que su inercia es:

$$I_{\text{bar}} = 4 * \left(\frac{\rho_{\text{at}} * \pi * L_{\text{bar}} * d_{\text{bar}}^4}{16} + \frac{\rho_{\text{at}} * \pi * L_{\text{bar}}^3 * d_{\text{bar}}^2}{12} \right) \quad \text{Ec. (3.33)}^{67}$$

^{65, 67}MERIAM, J. L. (1980) Estática. (2da Edición). Caracas: Editorial Reverté. Pág. 443

⁶⁶Incropera, F y DeWitt, D. (1999) Fundamentos de transferencia de calor. (4ta Edición). pág. 827

Donde:

$$I_{\text{bar}} = \text{Inercia de la barra, [Kg}\cdot\text{m}^2]$$

$$\rho_{\text{at}} = \text{Densidad del acero de transmisión AISI 304, } 7900 \text{ [Kg/m}^3]$$

$$L_{\text{bar}} = \text{Longitud de la barra, } 0.21 \text{ [m]}$$

$$d_{\text{bar}} = \text{Diámetro de la barra, } 0.019 \text{ [m]}$$

Con estos datos se resuelve la ecuación 3.33 para obtener el valor de la inercia.

$$I_{\text{bar}} = 0.03 \text{ [Kg}\cdot\text{m}^2]$$

Con los valores obtenidos se puede resolver la ecuación 3.31 para hallar la inercia de los dos volantes.

$$I_{\text{vol}} = 2(I_{\text{hor}} + I_{\text{bar}})$$

$$I_{\text{vol}} = 2(1.861 \cdot 10^{-5} + 0.03)$$

$$I_{\text{vol}} = 0.06 \text{ [Kg}\cdot\text{m}^2]$$

3.2.1.3.4 Inercia de la masa de maní en la cámara de tostado

En el momento que inicia el giro la máquina es cuando el motor necesita mayor potencia debido a que el maní está en reposo en la parte inferior de la cámara de tostado y es el momento que mayor inercia tiene la máquina durante la operación.

En la siguiente figura se muestra la cámara de tostado en esta situación.

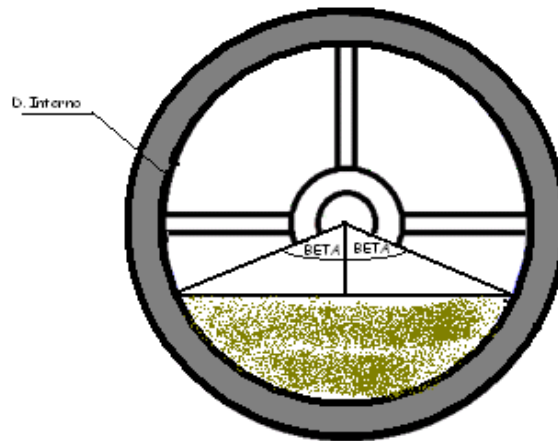


FIGURA 3.13: Ubicación del maní y los volantes en la cámara de tostado.⁶⁸

En el diseño de la máquina se considera que solo el 40% de la capacidad del tambor esta ocupada por la masa de maní como lo muestra la ecuación 3.34

$$P_{\text{per}} = 0.4 * \pi * D_{\text{int}} \quad \text{Ec. (3.34)}$$

Donde:

P_{per} = Perímetro ocupado por el maní, [m]

D_{int} = Diámetro interno del tambor, 0.45[m]

Se reemplaza los valores en la ecuación 4.24 y se tiene:

$$P_{\text{per}} = 0.565 \text{ [m]}$$

El valor del perímetro ocupado por el maní nos ayuda a encontrar el ángulo beta del segmento circular que se muestra en la figura

$$2\beta = \frac{P_{\text{per}} * 360}{\pi * D_{\text{int}}} \quad \text{Ec. (3.35)}^{69}$$

⁶⁸Fuente: Autor.

⁶⁹JÜTZ, H y SCHARKUS, E. (1984) Tablas de la industria metalúrgica. (2da Edición). España: Reverte Editorial S.A. Pág. 41

Con los valores anteriormente obtenidos se resuelve la ecuación 3.35

$$\beta = 71.93 [^\circ] \quad 1.255[\text{rad}]$$

Para calcular el la inercia total de la masa de maní se necesita el momento polar de inercia.

$$I_p = I_x + I_y \quad \text{Ec. (3.36)}^{70}$$

Donde:

$$I_x = \frac{r^4}{4} (\beta - \text{sen}\beta * \text{cos}\beta + \text{sen}^3\beta * \text{cos}\beta) \quad \text{Ec. (3.37)}^{71}$$

$$I_y = \frac{r^4}{12} (3\beta - 3\text{sen}\beta * \text{cos}\beta - 2\text{sen}^3\beta * \text{cos}\beta) \quad \text{Ec. (3.38)}^{72}$$

Resolviendo las ecuaciones 3.37 y 3.38, se reemplaza los valores en la ecuación 3.36 se obtiene el momento polar de inercia de la masa de maní.

$$I_p = 3.085 * 10^{-3} [\text{m}]$$

El momento polar de inercia permite encontrar la inercia total de la masa de maní utilizando la siguiente ecuación:

$$I_{\text{maní}} = \rho_{\text{maní}} * L * I_p \quad \text{Ec. (3.39)}$$

^{70,71}GERE, J. (2006) Mecánica de materiales. (6ta Edición). México D.F: Thomson. Apéndice C, pág. 760

⁷²GERE, J. (2006) Mecánica de materiales. (6ta Edición). México D.F: Thomson. Apéndice C, pág. 778

60

Donde:

$I_{\text{maní}} = \text{Inercia del maní, [Kg} \cdot \text{m}^2]$

$\rho_{\text{maní}} = \text{Densidad del maní, } 600[\text{Kg}/\text{m}^3]$

$L = \text{Longitud del cilindro de tostado, } 0.65 [\text{m}]$

$I_p = \text{Momento polar de inercia del área que ocupa el maní, } 3.085 \cdot 10^{-3} [\text{m}^3]$

Con estos valores se resuelve la ecuación para obtener el valor de inercia total de la masa de maní

$I_{\text{maní}} = 1.203 [\text{Kg} \cdot \text{m}^2]$

Aplicando la ecuación 4.18 tenemos:

$\Sigma I = 3.099 \cdot 10^{-4} + 0.129 + 0.06 + 1.203$

$\Sigma I = 1.392 [\text{m}]$

Durante el tostado del maní se puede observar que existe momentos de torsión opuestos al motor en el instante en que el grano alcanza un ángulo crítico de aproximadamente 60° , empieza a deslizarse en sentido contrario al movimiento, por lo que en ese instante el centro de gravedad se desplaza del eje de transmisión de movimiento, en ese instante el momento se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$M_o = m \cdot g \cdot r_{\text{int}} \quad \text{Ec. (3.40)}$

Donde:

M_o = Momento torsor, [Nm]

m = masa de maní, 22.68 [Kg]

g = Aceleración de la gravedad, 9.8 [m/s²]

r_{int} = Radio interno del cilindro de tostado, 0.225 [m]

Se reemplaza los valores en la ecuación 3.40 y se obtiene el momento torsor opuesto al giro.

$M_o = 50.009$ [Nm]

Se reemplaza los valores en la ecuación 3.41 se obtiene el momento torsor.

$$M_T - M_o = \sum I * \alpha \quad \text{Ec. (3.41)}$$

Donde:

M_T = Momento de torsión que realiza el motor al eje, [N*m]

M_o = Momento opuesto que realiza el maní al deslizarse, 50.009 [Nm]

$\sum I$ = Sumatoria de inercias de todas las masas, 1.392 [m]

α = Aceleración angular, 2.18 [rad/ s²]

Se reemplaza los valores en la ecuación y se obtiene el momento de torsión que realiza el motor al eje.

$M_T = 53.04$ [N*m]

Utilizando la ecuación 3.42 se reemplazan estos valores y se obtiene la potencia del motor necesaria para la máquina.

$$P_{\text{pot}} = M_T * n_2 \quad \text{Ec. (3.42)}$$

Donde:

P_{pot} = Potencia del motor. [W]

M_T = Momento de torsión, 53.92 [N*m]

n_2 = Velocidad angular del tambor, 5.235 [rad/ s]

$$P_{\text{pot}} = 277.66 \text{ [W]} = 0.37 \text{ [HP]}$$

La capacidad mínima disponible en el mercado es de 0.5 HP por lo que se usa un motor de esta capacidad en la tostadora.

3.2.2. TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión sirve para transferir la velocidad y potencia necesaria desde el motor hacia el eje.

3.2.2.1 Funciones del sistema de transmisión

- Transmitir hacia el eje la velocidad que entrega el motor.
- Reducir la velocidad que entrega el motor.

3.2.2.2 Parámetros de funcionamiento

- Horas de uso: 4 horas al día aproximadamente al día.
- Temperatura de trabajo: temperatura ambiente promedio de 18°C.

3.2.2.3 Selección del método de transmisión

Para construir la tostadora de maní se analiza el uso de bandas, cadenas o engranes, para posteriormente seleccionar el método más adecuado para reducir y transmitir la velocidad del motor hacia el eje.

3.2.2.3.1 Criterios de evaluación para la selección del método de transmisión

Analizamos el tipo de transmisión para la tostadora bajo los siguientes criterios:

- Costo
- Disponibilidad en el mercado
- Mantenimiento

Para poder seleccionar el método más conveniente primero se elabora una tabla comparativa entre engranajes, cadenas y bandas.

	Costo	Disponibilidad	Mantenimiento	Perdidas de transmisión
Engranajes	Costosa	Difíciles de conseguir. Se deben mandar a fabricar.	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita lubricación. • Baja resistencia al polvo e impurezas. • Necesita mantenimiento continuo y riguroso. 	poco
Cadenas	Precio moderado	Disponibilidad mayor a los engranes.	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita lubricación. • Baja resistencia al polvo e impurezas. • Necesita mantenimiento moderado. 	moderado
Bandas	Económicas	Método más fácil de encontrar en el mercado.	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita lubricación • Mayor resistencia al polvo e impurezas. • Necesita menor mantenimiento. 	mucho

TABLA 3.7: Características comparativas entre métodos de transmisión.⁷³

⁷³Fuente: Autor.

3.2.2.3.2 Matriz de decisión

A continuación se construye un matriz de decisión evaluando cada criterio del 1 al 10 (se pondera cada dato con el mismo porcentaje sobre 100%). Se da el valor de 10 al más acertado y de 1 al menos acertado.

Criterios	Engranajes	Cadenas	Bandas
Costo	1	5	10
Disponibilidad	1	5	10
Mantenimiento	1	5	10
Pérdidas	10	5	5
total	13	20	35

TABLA 3.8: Matriz de decisión de los métodos de transmisión.⁷⁴

Para la construcción de la transmisión se escoge bandas y poleas. Por ser el método más fácil de encontrar en el mercado, el más económico y porque no se necesita una transmisión de velocidad exacta para la máquina tostadora.

Para obtener la velocidad de 50 rpm a la que debe girar el tambor, y así conseguir un adecuado tostado del maní, se debe hacer una reducción en la transmisión de velocidad. El motor que se utiliza entrega una velocidad de 1750 revoluciones por minuto. Para reducir la velocidad se utilizara dos juegos de bandas y poleas. El primer juego de poleas reducirá la velocidad de 1750 a 360 rpm y el segundo par de poleas reducirá la velocidad de 360 a 50 rpm aproximadamente.

⁷⁴Fuente: Autor.

3.2.2.4 Reducción de velocidad de 1750 a 360 rpm

Se reduce la velocidad de 1750 a 360 rpm utilizando juego de poleas y bandas que se seleccionan a continuación.

3.2.2.4.1 Selección de poleas: reducción 1750-360 rpm

Para reducir la velocidad primero de debe encontrar la relación de velocidad, determinada por el valor que se obtiene al dividir la velocidad del motor para la velocidad a la que se necesita reducir.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Ec. (3.43)}$$

Donde:

i = Relación de velocidad

n_1 = Velocidad de polea conductora, 1750 [rpm]

n_2 = Velocidad del eje de la máquina, 360[rpm]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se obtiene la relación de velocidad:

$$i = \frac{360}{50} = 4.8$$

3.2.2.4.1.1 Diámetro mínimo de la polea del motor

El catalogo de poleas indica que no importa el diámetro mínimo de polea que se utilice para transmitir una potencia de 0.3 hp y una velocidad de giro de 1750 rpm. El valor que se le da a la polea conductora es de $D_{\text{poleaconductora}} = 2.25 \text{ [in]} = 57.15 \text{ [mm]}$.

MOTOR HORSE- POWER	MOTOR RPM					
	575	695	870	1160	1750	3450
0.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
0.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50

TABLA 3.9: Diámetro mínimo recomendado para las poleas.⁷⁵

⁷⁵CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-47

3.2.2.4.1.2 Diámetro de la polea conducida

Con los valores de relación de transmisión y el diámetro de la polea conductora se calcula el diámetro de la polea conducida:

$$i = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{Ec. (3.44)}$$

Donde:

i = Relación de Transmisión, 4.8

d_1 = Diámetro de la polea conducida, [m]

d_2 = Diámetro de la polea conductora, 0.057[m]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se obtiene el diámetro de la polea conducida:

$$d_1 = d_2 * i = 0.063 * 7.2 = 0.273[\text{m}] = 10.74[\text{in}]$$

En el mercado se encuentra con facilidad poleas de este diámetro que son de hierro fundido gris ideales para transmitir velocidades menores a los 33 m/s. En la máquina tostadora de maní la velocidad es menor al valor indicado por lo que se selecciona este tipo de polea.

3.2.2.4.2 Selección de las bandas: reducción 1750-360 rpm

A continuación se seleccionan las bandas para la reducción de 1750-360 rpm.

3.2.2.4.2.1 Selección del tipo de banda

El tipo de banda que se escoge para la máquina se determina de acuerdo a la siguiente tabla de bandas:

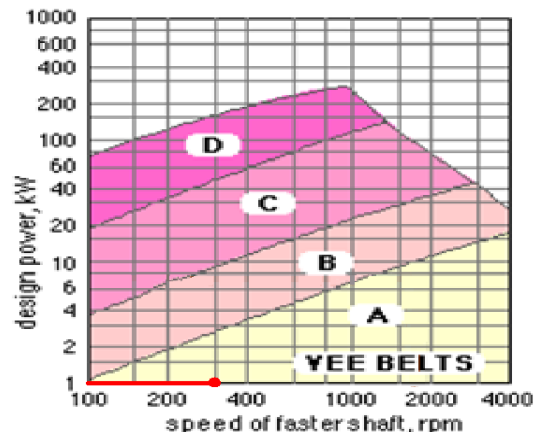


TABLA 3.10: Curva para la selección de bandas.⁷⁶

Para transmitir una potencia de 277.66W del motor y una velocidad de 1750 rpm se utiliza una banda trapecial tipo A como se determina en la figura.

3.2.2.4.2.2 Distancia mínima entre centros (c)

La distancia entre centros está determinada por las siguientes ecuaciones:

$$C_{\min} = d_1 \quad \text{Ec. (3.45)}$$

$$C_{\max} = 3(d_1 + d_2) \quad \text{Ec. (3.46)}$$

Donde:

C_{\min} = Distancia mínima entre centros, [m]

C_{\max} = Distancia máxima entre centros, [m]

d_1 = Diámetro de la polea conducida, 0.279 [m]

d_2 = Diámetro de la polea conductora, 0.057 [m]

⁷⁶CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-47

Se reemplaza estos valores en las ecuaciones se tiene:

$$C_{\min} = 0.4572[\text{m}] = 11[\text{in}]$$

$$C_{\max} = 1,560[\text{m}] = 39.75 [\text{in}]$$

La ubicación del motor y del eje de la cámara de tostado en la máquina permite elegir una distancia entre centros de $0.31 [\text{m}] = 12.02 [\text{in}]$.

3.2.2.4.2.3 Longitud de la banda (l_b)

La longitud de la banda se determina mediante la siguiente ecuación.

$$L_b = 2C + 1,57 * (d_1 + d_2) + \frac{(d_1+d_2)}{4C} \quad \text{Ec. (3.47)}$$

Donde:

L_b = Longitud de la banda, [m]

C = Distancia entre centros, 0.31 [m]

d_1 = Diámetro de la polea conducida, 0.279 [m]

d_2 = Diámetro de la polea conductora, 0.057 [m]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene que:

$$L_b = 1.23 [\text{m}]$$

En la máquina se usa una banda de tipo A, una relación de velocidad de 4.8 a una velocidad de giro del motor de 1750 rpm y una longitud de banda de $1.25 [\text{m}] = 49.21 [\text{in}]$ para la reducción de velocidad de 1750 a 360 rpm.

Estos valores permiten escoger el tipo de banda A con la que funciona la máquina y así determinar sus características.

3.2.2.4.2.4 Cálculo del número de bandas

Para el cálculo del número de bandas se calcula la potencia corregida y la potencia de diseño tomando en cuenta un factor de servicio K_s .

Driven Machinery	Source of Power	
	Normal Torque Characteristic	High or Nonuniform Torque
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.1 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.2 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.3 to 1.5	1.5 to 1.8

TABLA 3.13: Factores de servicio sugeridos para bandas trapeciales.⁷⁹

En la máquina con un funcionamiento de impacto bajo y un torque normal el k_s estimado es de 1,3

Con estos datos la potencia de diseño es:

$$P_{\text{diseño}} = P_{\text{motor}} * K_s \quad \text{Ec. (3.48)}$$

Donde:

$P_{\text{diseño}}$ = Potencia de diseño, [W]

P_{motor} = Potencia que requiere el motor para mover el maní, 277.66 [W]

K_s = Factor de servicio de la banda, 1,3

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene:

$$P_{\text{diseño}} = 360.96 \text{ [W]} = 0.48 \text{ [Hp]}$$

⁷⁹SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Pág. 882

La potencia corregida se obtiene sumándole al valor de potencia que soporta la banda una potencia adicional y multiplicándolo por un factor de corrección por arco y longitud.

$$P_{\text{corregida}} = (P_b + P_{\text{adicional}}) * f_{\theta-L} \quad \text{Ec. (3.49)}$$

Donde:

$P_{\text{corregida}}$ = Potencia corregida, [W]

P_b = Potencia que soporta la banda, 2,52 [Hp]

$P_{\text{adicional}}$ = Potencia adicional, 343.022 [W] = 0.46 [Hp]

$f_{\theta-L}$ = Factor de corrección por arco y longitud, 0.76

Diámetro de Paso de la Polea (en pulgadas)						"Añada" HP por Relación de Velocidad										RPM del Eje más Rápido
5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	7.0	1.02-1.04	1.05-1.08	1.09-1.12	1.13-1.18	1.19-1.24	1.25-1.34	1.35-1.51	1.52-1.99	2.00 o más		
4.75	4.99	5.22	5.45	5.68	6.13	0.03	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	1160	
6.51	6.83	7.14	7.45	7.76	8.36	0.04	0.10	0.16	0.21	0.27	0.32	0.37	0.41	0.46	1750	
9.54	9.92	10.29	10.63	10.95	11.53	0.09	0.20	0.33	0.43	0.55	0.63	0.73	0.83	0.92	3500	
0.32	0.33	0.34	0.36	0.37	0.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	50	
0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.74	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	100	

TABLA 3.14: Valores de potencia adicional en las bandas por relación de transmisión.⁸⁰

Con estos valores se calcula la potencia corregida:

$P_{\text{corregida}} = 2.26$ [Hp]

El número de bandas requerido para realizar esta operación se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_b = \frac{P_{\text{diseño}}}{P_{\text{corregida}}} \quad \text{Ec. (3.50)}$$

⁸⁰CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-163

Donde:

N_b = Número de bandas

$P_{\text{diseño}} = 360.963 \text{ [W]} = 0.484 \text{ [Hp]}$

$P_{\text{corregida}}$ = Potencia corregida, 2.747[Hp]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene:

$N_b = 0,214$

El valor obtenido indica que una banda es suficiente para realizar el trabajo de reducir la velocidad de 1750 rpm a 360 rpm en la tostadora de maní.

3.2.2.5 Reducción de velocidad de 360 a 50 rpm

Se reduce la velocidad de 360 a 50 rpm utilizando juego de poleas y bandas que se seleccionan a continuación.

3.2.2.5.1 Selección de poleas: reducción 360 a 50 rpm

Para reducir la velocidad de 360 a 50 rpm a las que finalmente gira el motor se repite todo el proceso de la sección 3.2.2.1 anterior. Utilizando la Ec. (3.36) con los siguientes datos:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

Donde:

i = Relación de velocidad

n_1 = Velocidad de polea conductora, 360 [rpm]

n_2 = Velocidad del eje de la máquina, 50[rpm]

Se reemplaza estos valores en la ecuación y se obtiene la relación de velocidad:

$$i = \frac{360}{50} = 7.2$$

3.2.2.5.1.1 Diámetro mínimo de la polea del motor

El catalogo de poleas indica que el diámetro mínimo de polea para transmitir una potencia de 0.3 hp y una velocidad de giro menor a 575 rpm es de 2.5 in por lo cual se elige este diámetro de polea.

$$D = 2.5 \text{ [in]} = 63,5 \text{ [mm]}$$

MOTOR HORSE- POWER	MOTOR RPM					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*
* 30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

TABLA 3.15: Diámetro mínimo recomendado para las poleas.⁸¹

3.2.2.5.1.2 Diámetro de la polea conducida

Con los valores de relación de transmisión y el diámetro de la polea conductora se calcula el diámetro de la polea conducida:

$$i = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{Ec. (3.51)}$$

⁸¹CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-47

Donde:

i = Relación de Transmisión, 7.2

d_1 = Diámetro de la polea conducida, [m]

d_2 = Diámetro de la polea conductora, 0.063 [m]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se obtiene el diámetro de la polea conducida:

$$d_1 = d_2 * i = 0.063 * 7.2 = 0.4572[m] = 18[in]$$

3.2.2.5.2 Selección de las bandas: reducción 360-50 rpm

A continuación se seleccionan las bandas para la reducción de 360 a 50 rpm.

3.2.2.5.2.1 Selección del tipo de banda

El tipo de banda que se escoge para la máquina se determina de acuerdo a la tabla 3.5 del mismo modo que para el primer juego de poleas. Para transmitir una potencia de 0.225 KW del motor y una velocidad de 360 rpm se utiliza también una banda trapecial tipo A.

3.2.2.5.2.2 Distancia mínima entre centros (c)

La distancia entre centros está determinada por las siguientes ecuaciones:

$$C_{\min} = d_1 \quad \text{Ec. (3.52)}$$

$$C_{\max} = 3(d_1 + d_2) \quad \text{Ec. (3.53)}$$

Donde:

C_{\min} = Distancia mínima entre centros, [m]

C_{\max} = Distancia máxima entre centros, [m]

d_1 = Diámetro de la polea conducida, 0.4572 [m]

d_2 = Diámetro de la polea conductora, 0.063 [m]

Se reemplaza estos valores en las ecuaciones tiene:

$$C_{\min} = 0.4572[m] = 18[in]$$

$$C_{\max} = 1,560[m] = 61.417 [in]$$

La ubicación del motor y del eje de la cámara de tostado en la máquina permite elegir una distancia entre centros de 0.46 [m].

3.2.2.5.2.3 Longitud de la banda (l_b)

La longitud de la banda se determina mediante la siguiente ecuación.

$$L_b = 2C + 1,57 * (d_1 + d_2) + \frac{(d_1+d_2)}{4C} \quad \text{Ec. (3.54)}$$

Donde:

L_b = Longitud de la banda, [m]

C = Distancia entre centros, 0.46 [m]

d_1 = Diámetro de la polea conducida, 0.457 [m]

d_2 = Diámetro de la polea conductora, 0,0635 [m]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene:

$$L_b = 1.79 [m]$$

Para el segundo juego de banda usamos una banda de tipo A, una relación de velocidad de 7.2, una velocidad de giro del motor de 360 rpm y una longitud de banda de 1.80 [m]= 70.86 [in].

Estos valores permiten escoger el tipo de banda A con la que funciona la máquina y así determinar sus características.

Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco												Combinación de Poleas		Relación de Velocidad
Designación de Largo de Banda AJAX												Matriz D.P.	Impulsos D.P.	
55	60	68	75	80	85	90	96	105	110	120	128			
—	—	—	—	—	18.0	21.0	24.4	29.2	33.1	37.1	41.3	3.4	24.6	7.24
—	—	—	—	—	—	—	—	23.2	27.3	31.7	36.0	4.0	29.6	7.40
—	—	—	—	—	18.2	21.1	24.5	29.4	33.1	37.3	41.4	5.0	37.6	7.52
—	—	—	—	—	—	—	—	23.4	27.4	31.8	36.1	3.8	29.6	7.69
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.82	0.88	0.93	0.99	1.02	1.05	1.08			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26.2	4.8	37.6	7.83
—	—	—	—	—	18.3	21.2	24.6	29.5	33.2	37.4	41.6	4.6	37.6	8.17
—	—	—	—	—	—	—	—	29.5	33.2	37.4	41.6	3.0	24.6	8.20
—	—	—	—	—	—	—	—	23.5	27.5	31.9	36.2	3.6	29.6	8.22
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26.5	4.4	37.6	8.55

TABLA 3.16: Tipos de bandas A.⁸²

Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda									Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco							
			3000 RPM Matriz			1750 RPM Matriz			1150 RPM Matriz										
	Matriz D.P.	Impuls. D.P.	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Designación de Largo de Banda AJAX							
												26	31	35	38	42	46	51	
7.24	3.4	24.6	484	4.44	5.32	242	2.89	3.28	160	2.13	2.38	—	—	—	—	—	—	—	
7.40	4.0	29.6	473	6.18	7.15	236	3.96	4.36	157	2.89	3.14	—	—	—	—	—	—	—	
7.52	5.0	37.6	465	8.76	9.92	233	5.68	6.10	154	4.12	4.38	—	—	—	—	—	—	—	
7.69	3.2	24.6	455	3.83	4.69	228	2.52	2.91	151	1.87	2.12	—	—	—	—	—	—	—	
7.79	3.8	29.6	449	5.62	6.55	225	3.61	4.00	149	2.64	2.89	—	—	—	—	—	—	—	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO																			
7.83	4.8	37.6	447	8.28	9.40	223	5.34	5.76	148	3.87	4.13	—	—	—	—	—	—	—	
8.17	4.6	37.6	428	7.78	8.85	214	5.00	5.42	142	3.63	3.89	—	—	—	—	—	—	—	
8.20	3.0	24.6	427	3.20	4.04	213	2.15	2.54	141	1.61	1.86	—	—	—	—	—	—	—	
8.22	3.6	29.6	426	5.04	5.94	213	3.25	3.64	141	2.38	2.63	—	—	—	—	—	—	—	
8.55	4.4	37.6	410	7.27	8.30	205	4.66	5.07	136	3.38	3.64	—	—	—	—	—	—	—	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO																			
8.71	3.4	29.6	402	4.44	5.32	201	2.89	3.28	133	2.13	2.38	—	—	—	—	—	—	—	
8.95	4.2	37.6	391	6.73	7.73	195	4.31	4.72	130	3.14	3.39	—	—	—	—	—	—	—	
9.87	3.0	29.6	355	3.20	4.05	177	2.15	2.54	118	1.61	1.86	—	—	—	—	—	—	—	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO																			

TABLA 3.17: Potencia transmitida por los diferentes tipos de banda.⁸³

⁸²CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-106

⁸³CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-107

Banda tipo A:

$$C = 18[\text{in}] = 0.457[\text{m}]$$

$$P_b = \text{Potencia transmitida por banda, } 2.89 [\text{Hp}]$$

$$f_{\theta-L} = \text{Factor de corrección por arco y longitud, } 0.82$$

3.2.2.5.2.4 Cálculo del número de bandas

Como se define con la tabla 3.12 para la máquina con un funcionamiento de impacto bajo y un torque normal el k_s estimado es de 1,3 por lo que la potencia de diseño tanto para la reducción de 1750 a 360 como para 360 a 50 rpm es igual a:

$$P_{\text{diseño}} = 293 [\text{W}] = 0.393 [\text{Hp}]$$

La potencia corregida se obtiene sumando al valor de potencia que soporta la banda una potencia adicional y multiplicándolo por un factor de corrección por arco y longitud.

$$P_{\text{corregida}} = (P_b + P_{\text{adicional}}) * f_{\theta-L} \quad \text{Ec. (3.55)}$$

Donde:

$$P_{\text{corregida}} = \text{Potencia corregida, } [\text{W}]$$

$$P_b = \text{Potencia que soporta la banda, } 2,89 [\text{Hp}]$$

$$P_{\text{adicional}} = \text{Potencia adicional, } 343.022 [\text{W}] = 0.13 [\text{Hp}]$$

$$f_{\theta-L} = \text{Factor de corrección por arco y longitud, } 0,82$$

Diámetro de Paso de la Polea (en pulgadas)							"Añada" HP por Relación de Velocidad									RPM del Eje más Rápido
5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	7.0	1.02-1.04	1.05-1.08	1.09-1.12	1.13-1.18	1.19-1.24	1.25-1.34	1.35-1.51	1.52-1.99	2.00 o más		
4.75	4.99	5.22	5.45	5.68	6.13	0.03	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	1160	
6.51	6.83	7.14	7.45	7.76	8.36	0.04	0.10	0.16	0.21	0.27	0.32	0.37	0.41	0.46	1750	
9.54	9.92	10.29	10.63	10.95	11.53	0.09	0.20	0.33	0.43	0.55	0.63	0.73	0.83	0.92	3500	
0.32	0.33	0.34	0.36	0.37	0.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	50	
0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.74	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	100	
2.37	2.48	2.59	2.71	2.82	3.04	0.01	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	500	
2.76	2.89	3.03	3.16	3.29	3.56	0.01	0.03	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	600	
3.14	3.29	3.45	3.60	3.75	4.05	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	700	
3.51	3.68	3.85	4.02	4.19	4.53	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	800	
3.87	4.06	4.25	4.44	4.62	5.00	0.02	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.19	0.21	0.24	900	

TABLA 3.18: Valores de potencia adicional en las bandas por relación de transmisión.⁸⁴

Con estos valores se calcula la potencia corregida:

$$P_{\text{corregida}} = 2.47[\text{Hp}]$$

El número de bandas requerido para realizar esta operación se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_b = \frac{P_{\text{diseño}}}{P_{\text{corregida}}} \quad \text{Ec. (3.56)}$$

Donde:

N_b = Número de bandas

$P_{\text{diseño}}$ = Potencia de diseño, 293 [W] = 0.393 [Hp]

$P_{\text{corregida}}$ = Potencia corregida, 2.47 [Hp]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene:

$$N_b = 0,19$$

⁸⁴CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2), pág. D-163

El valor obtenido indica que una banda es suficiente para realizar la reducción de 360 rpm a 50 rpm.

3.2.3 EJE

El eje es la parte del sistema motriz encargada de sujetar y mover al tambor tostador transmitiendo la potencia del motor. El eje debe ser capaz de soportar el par de torsión que se ejerce sobre él durante el tueste del maní, a menos que el par de torsión exceda los límites de operación.

La máquina tostadora durante su operación gira a velocidad constante por lo que el par de torsión generado es constante, siendo las zonas exteriores del eje las que se sometan a mayor esfuerzo cortante generado por la torsión.

3.2.3.1 Funciones del eje de la máquina

- Soportar el torque que genera el motor sobre tambor.
- Transmitir el movimiento de giro mediante los volantes de sujeción.

3.2.3.2 Parámetros de funcionamiento

- Horas de uso: 4 horas al día aproximadamente.
- Temperatura de trabajo: 160 °C

3.2.3.3 Diseño estático del eje

Como se explica anteriormente el eje está sometido a torsión y a flexión, en este análisis es necesario realizar diagramas de fuerza cortante y momento torsor.

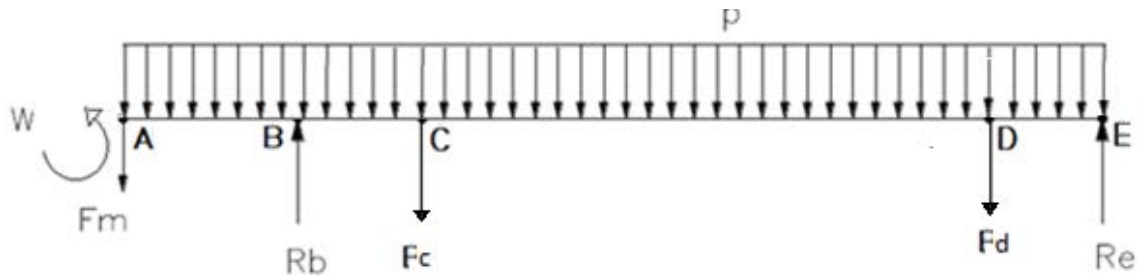


FIGURA 3.14: Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión.⁸⁵

Donde:

R_b = Reacción en el punto B,[N]

R_e = Reacción en el punto E,[N]

W = Momento producido por el motor,[N*m]

F_m = Tensión transmitida por la cadena,[N]

p = Carga distribuida sobre el eje generada el peso del eje, [N/m]

AB = Distancia entre la polea conducida y el rodamiento, 0.07 [m]

BC = Distancia entre el rodamiento y el cilindro pelador, 0.13[m]

CD = Longitud entre los volantes, 0.6 [m]

DE = distancia entre el cilindro y el rodamiento E, 0.17 [m]

F_c = Fuerza ejercida por el maní y el cilindro. [N]

F_d = Fuerza ejercida por el maní y el cilindro. [N]

El momento torsor W que produce el motor se calcula mediante la ecuación 3.41 con la que se calcula la potencia del motor.

$$W = \frac{P_{pot}}{n_2} = \frac{0.5HP}{5.235 \text{ rad/s}} = 71.237 [N * m] \quad \text{Ec. (3.57)}$$

⁸⁵Fuente: Autor.

Con este valor se puede determinar el valor de la fuerza motriz que se aplica a la catalina conducida que será perpendicular al eje de transmisión mediante la ecuación 3.58.

$$F_m = \frac{W}{\frac{D_{p,2}}{2}} \quad \text{Ec. (3.58)}$$

Donde:

F_m = Fuerza motriz aplicada a la catalina conducida, [N]

W = Momento torsor producido por el motor, 71.23[N * m]

$D_{p,2}$ = Diámetro de la polea conducida, 18[in] = 0.45[m]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se obtiene:

$$F_m = 311.759 \text{ [N]}$$

Las fuerzas F_c y F_d tienen igual magnitud al ser los puntos de contacto con el eje del peso del cilindro y de la masa del maní.

$$F_c = F_d = (m_{\text{mani}} * g + m_{\text{cil}} * g)/2 \quad \text{Ec. (3.59)}$$

$$F_c = F_d = 153.37 \text{ [N]}$$

Con estos valores se puede determinar las reacciones en los puntos de apoyo.

$$R_b = 606.09 \text{ [N]}$$

$$R_e = 69.48 \text{ [N]}$$

Con estos valores se realiza un diagrama de fuerza cortante en el eje, como se muestra en la siguiente figura:

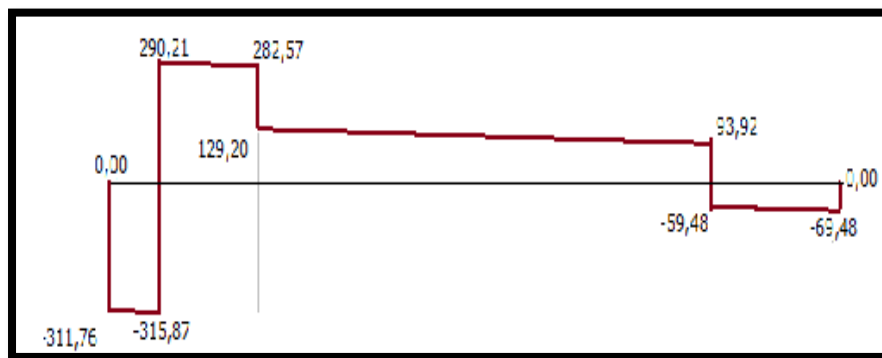


FIGURA 3.15: Diagrama de fuerza cortante en el eje.⁸⁶

Analizando el eje por tramos se determina el diagrama de momento flector tal como se ilustra en la figura.

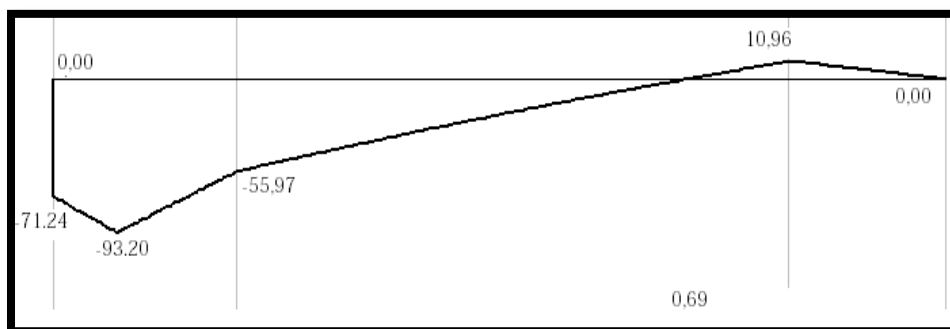


FIGURA 3.16: Diagrama de momento flector en el eje.⁸⁷

Con la finalidad de encontrar los puntos críticos en el eje se realiza los diagramas de FUERZA CORTANTE, MOMENTO TORSOR, MOMENTO FLECTOR, como se muestra en la figura a continuación.

^{86, 87}Fuente: Autor.

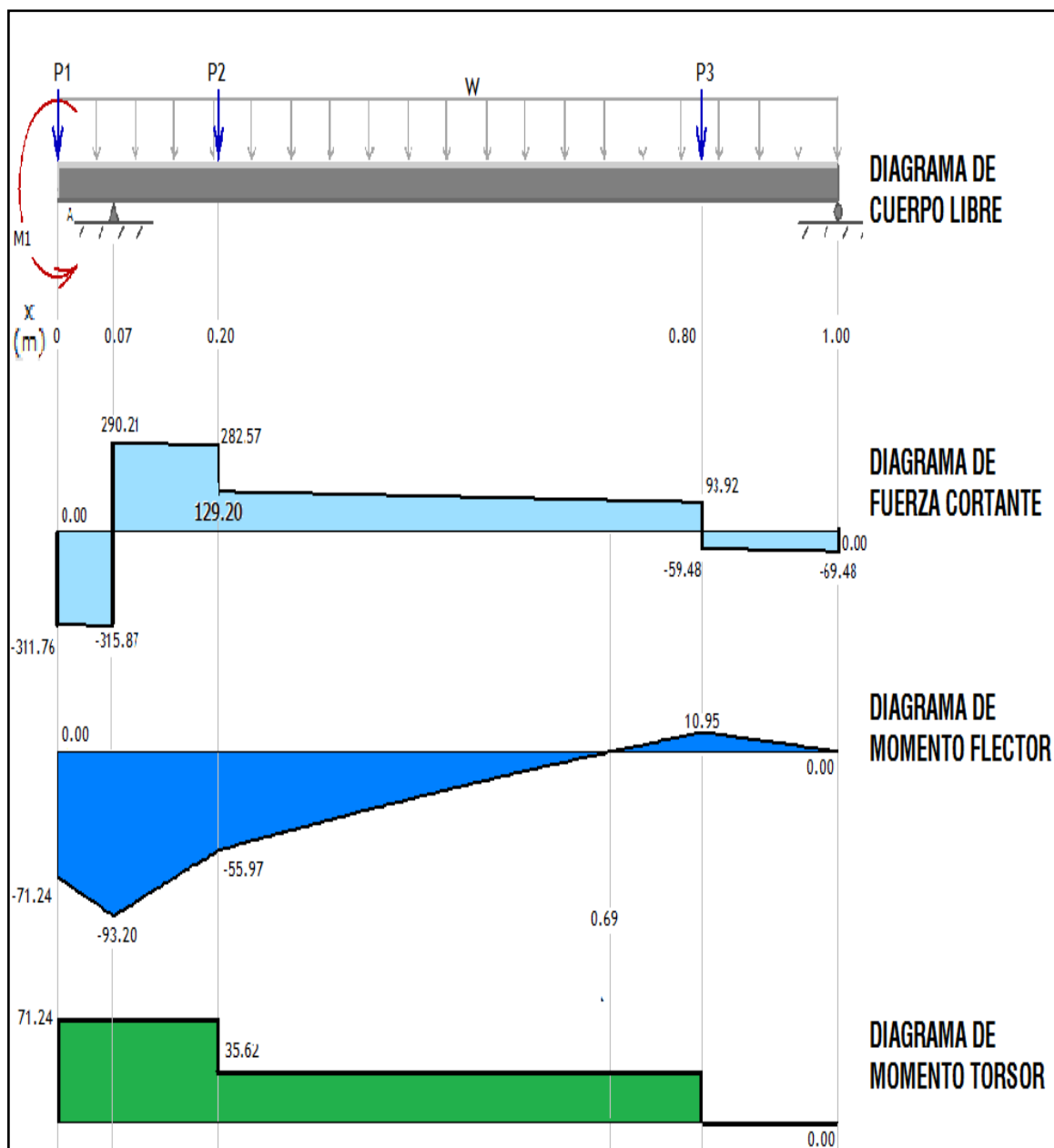


FIGURA 3.17: Diagrama de cuerpo libre, Fuerza cortante, momento flector, momento torsor.⁸⁸

Como se observa la zona B-B es la que está sometida a mayor fuerza cortante, siendo esta la parte crítica del eje, a partir de estos datos se diseña el eje con las características necesarias para este punto.

Es necesario graficar los esfuerzos a los que se somete esta sección para determinar el punto crítico en la sección B-B.

⁸⁸Fuente: Autor.

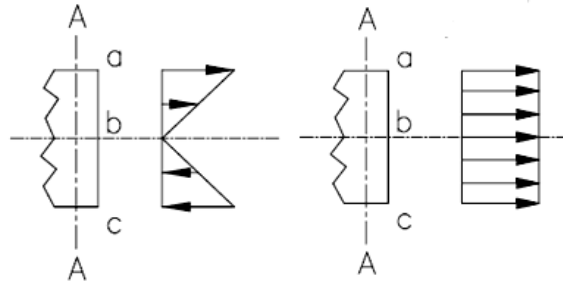


FIGURA 3.18 Esfuerzos aplicados en las secciones críticas.⁸⁹

Los elementos en los que se encuentra una sección crítica están formados de tres puntos a, b, c. Como se observa en la siguiente figura el punto "a" es la parte crítica debido a que los elementos soportan mayor compresión que tensión.

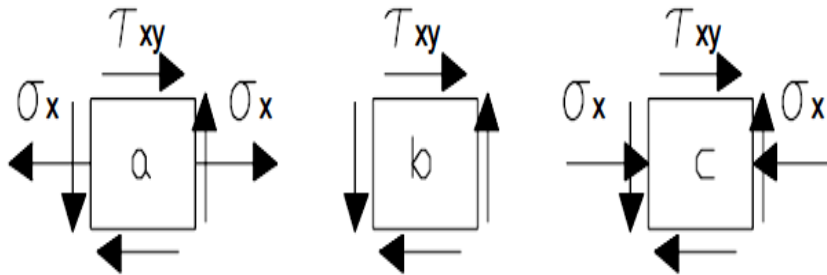


FIGURA 3.19 Esfuerzos a los que se somete una sección crítica.⁹⁰

Las ecuaciones que con las que se determina los esfuerzos de compresión, tensión y corte se las utiliza luego de determinar las secciones críticas y se usa en el diseño del eje.

$$\sigma_{(+)} = \frac{M}{I/c} \quad \text{Ec. (3.60)}$$

^{89, 90}Rodríguez, Luis. (2011). Diseño de una máquina tostadora de ajonjolí de 40 kg/h de capacidad. Tesis de Ingeniería mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

$$\sigma_{(-)} = -\frac{M}{I/c} \quad \text{Ec. (3.61)}$$

$$\tau = \frac{T*d}{2J} \quad \text{Ec. (3.62)}$$

En un eje de sección transversal circular se tiene:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \text{Ec. (3.63)}$$

$$c = \frac{d}{2} \quad \text{Ec. (3.64)}$$

Donde:

$\sigma_{(+)}$ = Esfuerzo de tensión debido a la flexión.

$\sigma_{(-)}$ = Esfuerzo de compresión debido a la flexión.

M = Momento flector máximo, 93.2 [N*m]

I = Inercia con respecto al eje horizontal de la sección crítica.

c = Distancia del eje neutro a la fibra externa del material.

T = Momento detorsión, 71.23 [N*m].

J = Momento polar de inercia del área transversal.

d = Diámetro del eje, [m]

Las fuerzas ejercidas sobre el eje son de flexión mono axial y de torsión, por lo que los esfuerzos principales se determinan a través de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (3.65)}$$

Donde:

$$\sigma_x = \frac{M}{I/C} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad \text{Ec. (3.66)}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{Ec. (3.67)}$$

Con estas dos ecuaciones se puede remplazarlas en la ecuación 3.65 para determinar los esfuerzos principales.

$$\sigma_{A,B} = \frac{474.66}{d^3} \pm \frac{597.43}{d^3}$$

$$\sigma_A = \frac{1072.1}{d^3} = \sigma_1 \quad \text{Ec. (3.68)}$$

$$\sigma_B = \frac{122.77}{d^3} = \sigma_3 \quad \text{Ec. (3.69)}$$

En la peladora a construir se utiliza materiales dúctiles por lo que la teoría de fallas que se utiliza para el análisis es la teoría de la energía de la distorsión. En la siguiente figura se muestra de donde se deducen las ecuaciones 3.61 y 3.62.

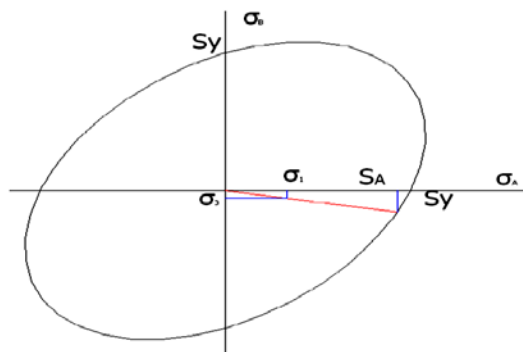


Figura 3.20 Teoría de la energía de la distorsión.

La figura anterior nos muestra la elipse de la cual se deduce la teoría de la energía de la distorsión mediante la ecuación de la elipse.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2} \quad \text{Ec. (3.70)}^{91}$$

Si se resuelve la ecuación 3.70 con los valores anteriores se obtiene:

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{1072.102}{d^3}\right)^2 - \left(\frac{1072.102}{d^3} * \frac{122.776}{d^3}\right) + \left(\frac{122.776}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma' = \frac{1016.291}{d^3}$$

Se utiliza acero inoxidable AISI304 cuyas propiedades son:

$$S_y = \text{resistencia a la fluencia, } 276 \text{ [MPa]}^{92}$$

$$S_{ut} = \text{resistencia a la rotura en tracción, } 568 \text{ [MPa]}^{93}$$

Con el valor encontrado de esfuerzo de Von Mises σ' y teniendo el dato de S_y se encuentra el espesor con la ecuación 3.71 a continuación:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (3.71)}$$

Donde:

$$\sigma' = \text{esfuerzo máximo, } \frac{1016.291}{d^3} \text{ [MPa]}$$

⁹⁰Carlos Armando De Castro P. Teorías de falla bajo cargas estáticas. Teoría de la Energía de Distorsión. Pág. 6. Recuperado de: <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf>

^{91, 92}Diseño en la ingeniería mecánica. Shigley J. (8va Edición). Tabla A-22, pág. 1023

S_y = resistencia a la fluencia, 276 [MPa]

n = factor de seguridad de diseño, 2

Se toma un valor de factor de seguridad de 2 sabiendo que una falla del eje de la máquina no involucraría mayores riesgos o pérdida de vidas humanas.

Reemplazando el valor de S_y y el esfuerzo de Von Mises encontrado σ' en la ecuación 3.53 se puede despejar y encontrar el espesor, de la siguiente manera:

$$\frac{1016.291}{d^3} = \frac{276\,000\,000}{2}$$

$$d = 0.01945 \text{ [m]} = 19.45 \text{ [mm]}$$

3.2.3.4 Análisis de fatiga del eje

En este caso es necesario analizar las variaciones que sufren las cargas en el transcurso del tiempo por lo que se realiza el diseño del eje de manera dinámica.

La siguiente figura muestra las variaciones que sufren las cargas durante el tiempo que se demora el proceso.

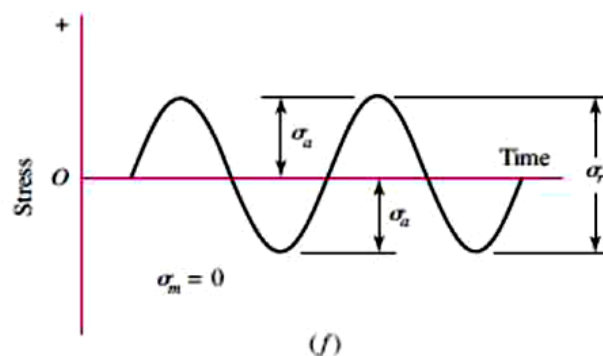


FIGURA 3.21 Diagrama de Variación de Esfuerzos en el tiempo.

En la sección anterior mediante el diseño estático del eje se determina un diámetro de 19.5 mm, pero en el diseño dinámico el factor de seguridad es muy pequeño, por este motivo se asume un diámetro de 31 mm para obtener resultados con márgenes de seguridad más altos.

Del diagrama de cortes y momentos se obtiene:

M= Momento flector máximo, 93.2 [N*m]

T= Momento de torsión, 71.237[N * m]

Las ecuaciones 3.66 y 3.67 permiten calcular los esfuerzos.

$$\sigma_{xa} = \frac{32M}{\pi d^3} ; \sigma_{xm} = 0$$

$$\tau_{xya} = 0 ; \tau_{xym} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

De la figura 3.21 se determina:

σ_{xa} = Esfuerzo de tensión alternante en la dirección x.

σ_{xm} = Esfuerzo medio en dirección x.

τ_{xya} = Esfuerzo cortante alternante en la dirección x.

τ_{xym} = Esfuerzo cortante medio en la dirección x.

Al existir varios esfuerzos cortantes se debe determinar el esfuerzo equivalente mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{equivalente}}' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (3.72)}^{93}$$

Aplicando la ecuación 3.72 para esfuerzos medios y alternantes se obtiene:

$$\sigma_a' = \sigma_{xa} \quad \text{Ec. (3.73)}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3 * \tau_{xym}^2} \quad \text{Ec. (3.74)}$$

$$M = 93.2[\text{N*m}]$$

Resolviendo las ecuaciones se obtiene los siguientes valores:

$$\sigma_{xa} = 29.8\text{MPa}$$

$$\tau_{xym} = 12.17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a' = 29.8\text{MPa}$$

$$\sigma_m' = 21.07\text{MPa}$$

En la tostadora se utiliza el acero AISI304 cuyas propiedades son:

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ MPa.}^{94}$$

Con estos valores se realiza el diseño del eje por resistencia a la fatiga, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e' \quad \text{Ec. (3.75)}^{95}$$

⁹³SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6.55, pág. 310

⁹⁴SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Tabla A-20, pág. 1020

⁹⁵SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6.18, pág. 279

Donde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga.

k_a = Factor de superficie.

k_b = Factor de tamaño.

k_c = Factor de confiabilidad.

k_d = Factor de temperatura.

k_e = Factor de modificación por concentración de esfuerzos.

k_f = Factor de efectos diversos.

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de la viga rotatoria.

El límite de resistencia a la fatiga de una probeta de acero AISI304 se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad \text{Ec. (3.76)}^{96}$$

$$S_e' = 284 \text{ [MPa]}$$

“Para determinar el valor del coeficiente de superficie, se ha puesto una superficie maquinada”.⁹⁷

$$k_a = aS_{ut}^b = 4.51 * 284^{-0.265} = 1.009 \quad \text{Ec. (3.77)}$$

La siguiente ecuación determina el coeficiente de efecto de tamaño:

$$k_b = 0.879d^{-0.107} = 0.879(0.031)^{-0.107} = 0.874 \quad \text{Ec. (3.78)}^{98}$$

⁹⁶SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6.8, pág. 274

⁹⁷SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Tabla 6-2, pág. 280

⁹⁸SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6-20, pág. 283

Para el problema se asume una confiabilidad del 99%:

$$k_c = 0.814^{99}$$

El factor de temperatura para una máquina que funciona a una temperatura máxima de 160°C es:

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} = 1.02 \quad \text{Ec. (3.79)}^{100}$$

Los efectos de concentración de esfuerzos se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$k_e = \frac{1}{K_f} \quad \text{Ec. (3.80)}^{101}$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \text{Ec. (3.81)}^{102}$$

Donde:

k_f = Factor para incrementar el esfuerzo.

q = Sensibilidad a la ranura, asumida e igual a 1.

k_t = Factor teórico de concentración de esfuerzo, 2.¹⁰³

Se reemplaza estos valores en las ecuaciones 3.75 y 3.76 se tiene:

$$k_e = 0.5$$

⁹⁹SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6-5, pág. 285

¹⁰⁰SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. pág. 286

¹⁰¹SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6-32, pág. 287

¹⁰²SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ecuación 6-32, pág. 287

¹⁰³SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Ápice figura A-15-10, pág. 1009

La corrosión de los materiales es un aspecto que se toma en cuenta para determinar el valor de los efectos diversos, pero al ver que la magnitud de los esfuerzos a los que están sometidos los elementos durante la vida útil de la máquina son muy pequeños se considera que:

$$k_f = 2$$

Con todos los valores obtenidos se resuelve la ecuación 3.64 para obtener el valor límite de resistencia por fatiga.

$$S_e = 1.009 * 1.27 * 0.814 * 1.02 * 0.5 * 2 * 284 \text{MPa}$$

$$S_e = 302.16 \text{ MPa}$$

Una vez determinado que $\sigma'_a < S_e$ se realiza un diagrama de fatiga para poder determinar el valor del factor de seguridad.

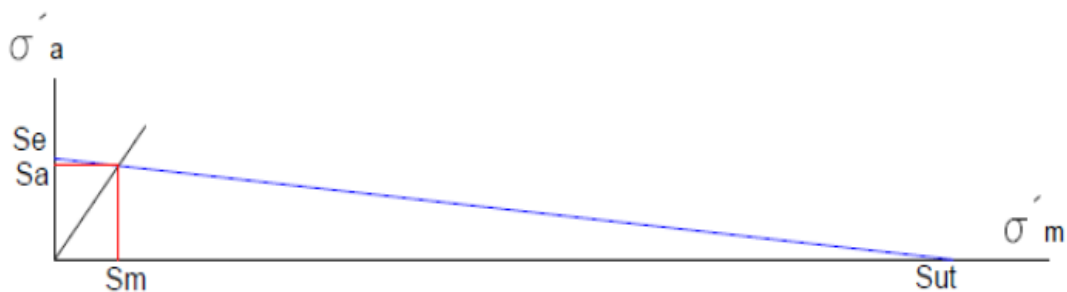


FIGURA 3.22 Diagrama de fatiga goodman.

El diagrama indica un punto de intersección de coordenadas S_a y S_m que determinan la resistencia del material.

El valor en el diagrama de la coordenada da S_a es menor que el de S_e lo que indica que el diseño es a vida infinita.

De la teoría de falla de GOODMAN se puede deducir la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{S_e + \sigma_a}{S_{ut}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_m}} \quad \text{Ec. (3.82)}^{104}$$

$$S_m = \frac{302.16}{\frac{302.16}{568} + \frac{29.8}{21.07}} = 155.16 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad está dado por la siguiente ecuación:

$$nf = \frac{S_m}{\sigma_m} \quad \text{Ec. (3.83)}^{105}$$

$$nf = \frac{155.16}{21.07} = 7.36$$

El valor de factor de seguridad indica que el diámetro del eje debe ser ligeramente mayor a 31 mm para evitar falla por fatiga.

El diámetro del eje determinado para todas estas condiciones es de 31 mm pero en el mercado local encontramos diámetros estandarizados por lo que se escoge el valor estándar más cercano mayor al diámetro calculado.

^{107, 105}Diagrama de fatiga y caso práctico. Recuperado de: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/diagramasfatiga/

3.2.3.5 Análisis del tipo de eje escogido

Todos los cálculos realizados para determinar el diámetro de eje de la máquina tostadora se hicieron tomando el eje de la máquina como un eje sólido. Después de haber analizado tanto el diseño dinámico como estático, se procede a justificar la selección de un eje sólido en lugar de un eje hueco. Para la selección se toma un eje sólido $1\frac{1}{4}$ in y un eje hueco de 2 in.

3.2.3.5.1 Criterios de evaluación

Se puede distinguir algunas diferencias importantes entre usar un eje sólido de acero o un tubo de acero inoxidable. Los que se toman en cuenta en el presente análisis son: cual puede soportar mayor deformación, disponibilidad en el mercado y el precio.

- **Deformación.-** la deformación es un factor muy importante al momento de elegir un eje sólido en lugar de un eje hueco. Utilizar un eje sólido garantiza mayor vida útil para la máquina.
- **Disponibilidad en el mercado.-** no existe mayor dificultad en encontrar ninguno de los dos tipos de ejes disponibles a la venta.
- **Precio.-** el precio por metro de tubo de acero inoxidable es menor que el de un eje sólido de acero. Sin embargo el tubo de acero se vende solo en tubos enteros de 6m mientras que el eje sólido sí se puede comprar por metros. Teniendo en cuenta que la longitud de eje que se necesita para la construcción de la máquina es menor a un metro, se puede abaratar costos comprando solo lo necesario. El metro de eje sólido cuesta 32.5\$ y un tubo de 6m de eje hueco cuesta 200\$.

3.2.3.5.2 Matriz de decisión

Con los criterios antes detallados se crea una matriz que ayudara a escoger el tipo de eje que finalmente se utilice. Se evalúan cada criterio del 1 al 10 (se pondera cada dato con el mismo porcentaje sobre 100%). Siendo 10 la opción más acertada y 1 la menos acertada.

CRITERIOS	Eje hueco	Eje solido
	Diámetro: 2 [in]	Diámetro: $1\frac{1}{4}$ [in]
COSTO	3	10
DISPONIBILIDAD	10	10
DEFORMACIÓN	8	10
total	21	30

TABLA 3.19: Matriz de decisión de la selección del tipo de eje.¹⁰⁶

Una vez analizada la matriz de decisión se observa que el eje con mayor puntuación es el eje solido de $1\frac{1}{4}$ [in] = 31.75 [mm] y es con el que se construye la máquina tostadora de maní.

3.3 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

Para construir la estructura de la tostadora se utiliza tubo cuadrado galvanizado puesto que esta no está en contacto con el alimento. Para calcular el espesor mínimo necesario del tubo se realiza un análisis de la viga AC mostrada en la siguiente figura:

¹⁰⁶Fuente: Autor.

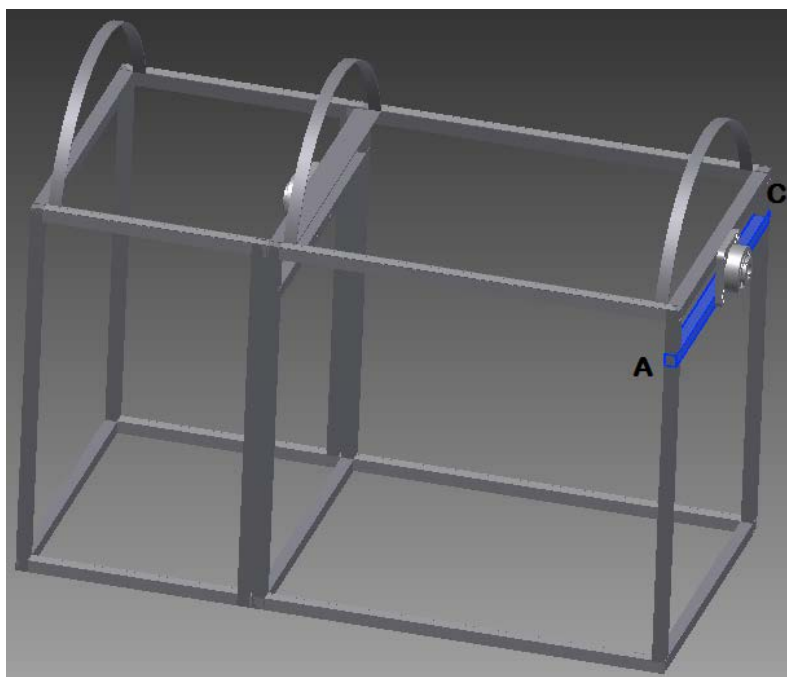


Figura 3.23: Estructura de la máquina, viga AC.¹⁰⁷

Se calcula la fuerza estática que recae en esta viga con la siguiente ecuación:

$$F_{\text{estática}} = m * g \quad \text{Ec. (3.84)}$$

Donde:

$F_{\text{estática}}$ = fuerza estática que recae sobre las vigas AC, [N]

m = masa de la estructura + el cilindro plena carga, 48 [kg]

g = gravedad, 9.8 [m/s²]

Se resuelve la ecuación y se tiene:

$$F_{\text{estática}} = 478.24 \text{ N}$$

¹⁰⁷Fuente: Autor

A pesar de que esta fuerza estática obtenida recae sobre las cuatro vigas similares, por motivo de análisis se toma el valor total como un caso crítico. Se coloca la fuerza estática sobre una viga perfectamente empotrada de la siguiente manera:

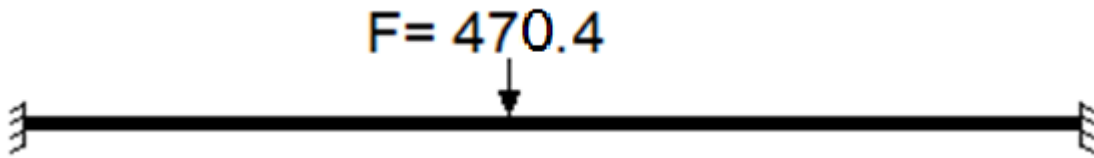


Figura 3.24: Diagrama de cuerpo libre de la viga con la carga puntual.¹⁰⁸

Se encuentra el momento flector máximo en la viga AC utilizando la siguiente tabla:

SOLICITACION	MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO	REACCIONES EN LOS APOYOS	DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES
	$M_A = \frac{FL}{8}$ $M_B = -\frac{FL}{8}$	$R_A = \frac{F}{2}$ $R_B = \frac{F}{2}$	

TABLA 3.20: Vigas perfectamente empotradas.¹⁰⁹

De donde se tiene que:

$$M = \frac{F \cdot L}{8} \quad \text{Ec. (3.85)}$$

¹⁰⁸Fuente: Autor

¹⁰⁹Formulario-de-vigas. <http://www.slideshare.net/marggot696/formulario-de-vigas>

Donde:

M = Momento flector máximo, $[N * m]$

F = Fuerza estática que cae sobre la viga, 478.24 $[N]$

L = Longitud de la viga AC, 0.65 $[m]$

Resolviendo se tiene:

$$M = \frac{478.24 [N] * 0.65 [m]}{8} = 38.85 [N * m]$$

Para encontrar el modulo de sección del tubo cuadrado se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = Z * R \quad \text{Ec. (3.86)}^{110}$$

Donde:

M = Momento de las fuerzas exteriores que producen la flexión, 38.85 $[N * m]$

Z = Módulo de la sección, $[m^3]$

R = Resistencia a la tracción del material (tubo estructural ASTM A500), 310 $[Mpa]$,

$$310\,000\,000 [N/m^2]^{111}$$

Se despeja el modulo de sección (Z) y se obtiene:

$$Z = \frac{M}{R} = \frac{38.85 [N * m]}{310\,000\,000 [N/m^2]} = 0.000\,000\,125 [m^3] = 0.125 [cm^3]$$

¹¹⁰Alma de herrero. Calculo de resistencia de vigas. 2009. Recuperado de: <http://almadeherrero.blogspot.com/2009/09/calculo-de-la-resistencia-de-una-viga.html>

¹¹¹ACEROS AREQUIPA SA. Tubo ASTM A500. Recuperado de: <http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/TUBO-LAC-A500.pdf>

Todos los tubos disponibles en el mercado local cumplen con la condición de la sección mínima. Se elige al tubo ASTM A500 de una pulgada para construir la estructura de la tostadora, con las siguientes características:

in	H Mm	E Mm	Peso Kg/6m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm	Sy Mpa	Su Mpa
1	25	1,5	6,72	1,35	1,21	0,97	0,95	269	310

TABLA 3.21: Características del tubo estructural ASTM A500.¹¹²

La máquina tiene un peso aproximado de 48,8 [kg] o 478,24 [N], soportados en cuatro puntos de apoyo repartiendo la carga para cada apoyo en un valor de 119,56 [N].

Cada tubo de apoyo está sometido a por esta fuerza a esfuerzos de compresión, y se puede calcular el esfuerzo al que se encuentra sometido mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{W_{pt}}{A} \quad \text{Ec. (3.87)}$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo de compresión, [N/m²].

W_{pt} = Peso, 478,24 [N].

A = Área transversal, 0.000 112 [m²].

¹¹²Fuente: http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1101

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene:

$$\sigma_c = \frac{478,24 \text{ N}}{0.000 112 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_c = 4 270 000 \text{ N/m}^2$$

Con el valor del esfuerzo de compresión de cada uno de los soportes de la máquina se calcula el factor de seguridad de la estructura.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{cTOTAL}} \quad \text{Ec. (3.88)}$$

Donde:

F_s = Factor de seguridad.

σ_{cTOTAL} = Esfuerzo de compresión de la máquina 4 270 000 N/m²

Se reemplaza estos valores en la ecuación:

$$F_s = \frac{350 000 000 \text{ N/m}^2}{4 270 000 \text{ N/m}^2}$$

$$F_s = 81.96$$

3.3.1. CALCULO DE ESFUERZO POR PANDEO

El cálculo de esfuerzo por pandeo se realiza en la sección A-B mostrado en la siguiente figura.

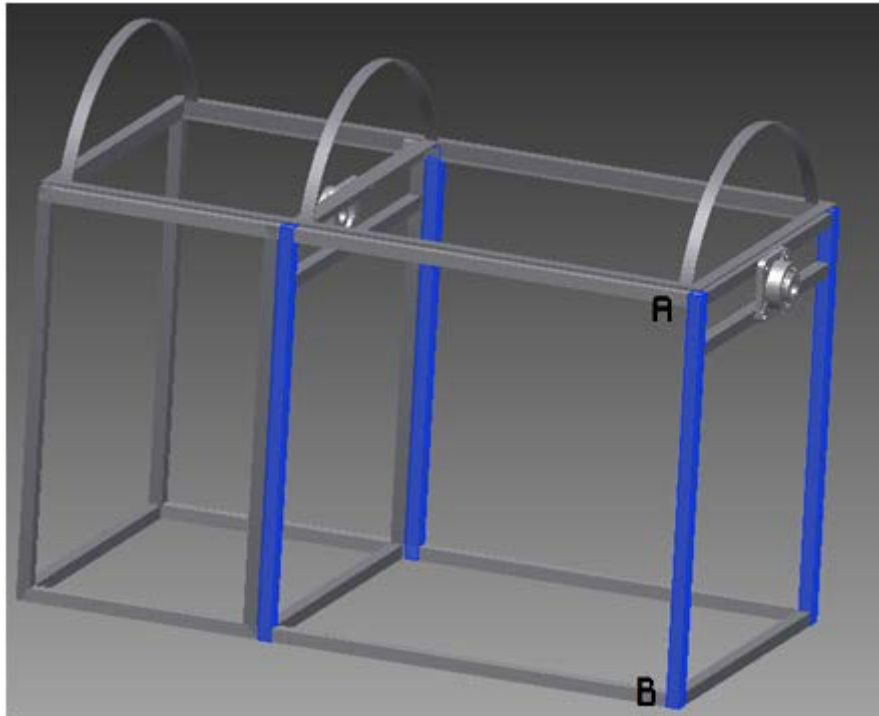


FIGURA 3.25: Esquema de la estructura de la tostadora, viga AB.¹¹³

En cada uno de los soportes de la máquina se realiza el cálculo de esfuerzos por pandeo para determinar el material que se utiliza.

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{kL}{r} \quad \text{Ec. (3.89)}$$

Donde:

K= Constante dependiente del extremo fijo.

L= Longitud de la columna, 0,78[m].

r= Radio de giro, 0,0095[m]

¹¹³Fuente: Autor.

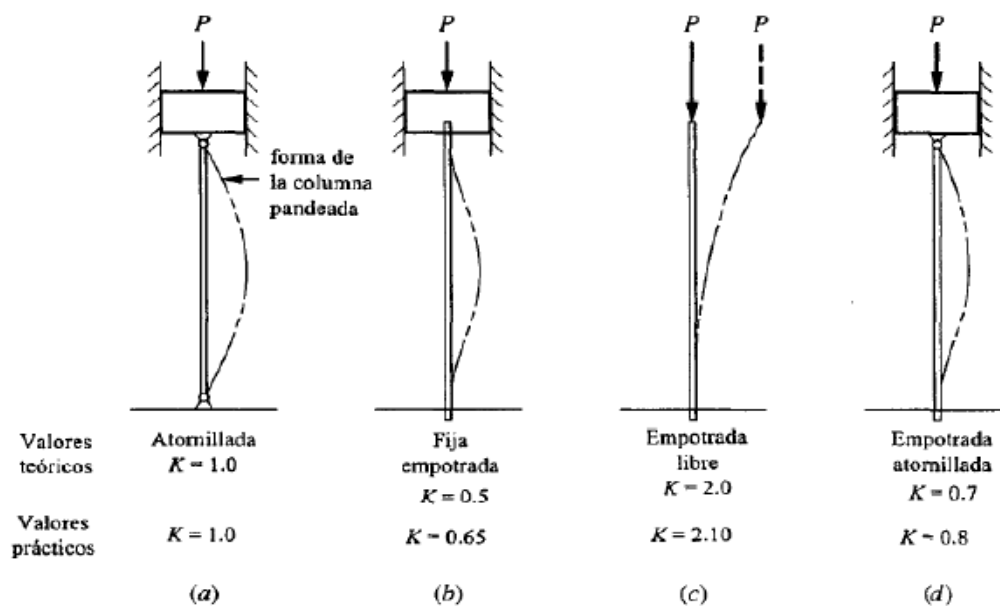


FIGURA 3.26: Valores k para longitud efectiva.¹¹⁴

La figura indica que los soportes de la máquina son del tipo empotrado libre por lo que se toma un valor de $k = 2,1$

Se reemplaza estos valores en la ecuación tenemos:

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{2,1 * 0,78}{0,0095}$$

$$\text{relación de esbeltez} = 172,42$$

Se procede a calcular la relación de esbeltez de transición mediante la siguiente ecuación:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad \text{Ec. (3.90)}$$

¹¹⁴MOTT, R. L. (2006) Diseño de elementos de máquinas. (4ta Edición). México: Pearson Education. Pág. 234

Donde:

C_c = Relación de esbeltez de transición.

E = Módulo de elasticidad, 200000 [MPa].¹¹⁵

S_y = Límite de cadencia, 269 [MPa]

Se reemplaza estos valores en la ecuación y se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{269}}$$

$$C_c = 121.1$$

Al comparar los valores obtenidos se observa que la relación de esbeltez es mayor que la relación de esbeltez de transición, por esta razón para calcular la carga crítica se utiliza la fórmula de EULER.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad \text{Ec. (3.91)}$$

Donde:

P_{cr} = Carga Crítica

A = Área transversal, 1,12 [cm²] = 0.000 112 [m²].

E = Módulo elástico 200 000 [MPa]

Relación de esbeltez = 172,42

K = Constante longitud efectiva, 2,1

¹¹⁵ Materiales estructurales. Recuperado de: <http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/jorgem/principal/guias/seiimatest.pdf>

$L =$ Longitud, 0,78 [m].

$r =$ Radio de giro, 0,0095 [m]

Se reemplaza estos valores en la ecuación:

$P_{cr} = 7436,47$ [N]

Con el valor de la carga crítica se procede a calcular el factor de seguridad mediante la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{P_{cr}}{P_r} \quad \text{Ec. (3.92)}$$

Donde:

$n_s =$ Factor de seguridad

$P_{cr} =$ Carga crítica, 7436,47 [N]

$P_r =$ Carga real, 478,24 [N]

Se reemplaza estos valores en la ecuación se tiene:

$$n_s = \frac{7436,47}{478,24}$$

$$n_s = 15.55$$

Este factor de seguridad nos indica que el material cumple con los requerimientos necesarios.

3.3.2. DISEÑO DE LOS PRISIONEROS

El tornillo prisionero es el elemento que nos permite sujetar los volantes sobre el eje del cilindro tostador, para transmitir el movimiento.

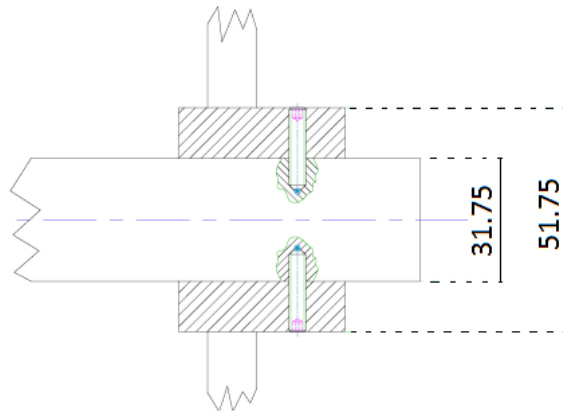


FIGURA 3.27 Prisionero de sujeción.

Se selecciona los siguientes criterios para diseño:

- Cantidad: 2
- Material: Acero bajo o medio
- Grado: SAE 2.¹¹⁶
- Esfuerzo de fluencia: 392,73 MPa

Se realiza un diagrama de cuerpo libre para ver la ubicación de las fuerzas a las que se encuentra sometido el prisionero.

¹¹⁶SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill. Capítulo 8, Tabla9-9, pág. 408

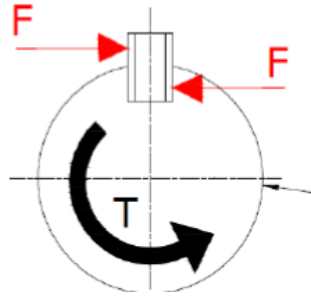


FIGURA 3.28: Prisionero sometido a un esfuerzo de corte y a un momento torsor.

Mediante la siguiente ecuación se puede calcular la fuerza de corte que se ejerce sobre el prisionero.

$$F_c = \frac{W_t}{r_{eje}} = \frac{89.2}{0.0158} = 5618,9 \text{ [N]} \quad \text{Ec. (3.93)}$$

La teoría de la energía de distorsión se emplea para determinar la resistencia al esfuerzo cortante.

$$\tau_c = \frac{S_{sy}}{n_c} \quad \text{Ec. (3.94)}$$

Donde:

n_c = Factor de seguridad

$$S_{sy} = 0.577 S_y$$

$$S_{sy} = 0.577 * (392.73) = 226,6 \text{ MPa}$$

La siguiente ecuación permite determinar el esfuerzo de corte debido a las fuerzas aplicadas sobre el prisionero.

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c} \quad \text{Ec. (3.95)}$$

Donde:

τ_c = Esfuerzo de corte, [MPa]

F_c = Fuerza cortante, 5618,9 [N]

A_c = Área de corte, [m²]

Asumiendo un factor de seguridad igual a 2 e igualando las ecuaciones 3.95 y 3.94 se determina el diámetro del prisionero, teniendo en cuenta que existen dos áreas de contacto.

$$\tau_c = \frac{0.577s_y}{n_c} = \frac{F_c}{A_c} \quad \text{Ec. (3.96)}$$

$$\tau_c = \frac{226.6 * 10^6}{2} = \frac{5618.9}{2 * \frac{\pi * d^2}{4}}$$

$$d = 0.00518 \text{ m}$$

3.3.3 SELECCIÓN DEL RODAMIENTO

El rodamiento utilizado se selecciona teniendo en cuenta las características de la máquina como son: El diámetro del eje, la temperatura de trabajo y la accesibilidad en el mercado.

En la máquina tostadora de maní se utiliza el rodamiento UC207-20 (SKF YAR 207-104-2F/AH) que cumple con todos los requerimientos.



FIGURA 3.29: Rodamiento UC207-20.¹¹⁷

El rodamiento UC207-20 tiene las siguientes características:

Características generales:

- Disponibilidad en el mercado
- Resistencia al polvo
- Bajo costo

Características Físicas:

d = Diámetro interior, 38 [mm]

D = Diámetro exterior, 72 [mm]

B= Ancho, 42,9 [mm]

C= Carga dinámica, 25,5 [KN]

Co= Carga estática, 15,3 [KN]

¹¹⁷<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/cast-housing-square-flange-grub-screw-locking-for-air-handling-systems/index.html?prodid=2125517104&imperial=false>

110

P_u = Límite de fatiga, 0,655 [KN]

V = Velocidad límite, 5300 [rpm]

K_r = Factor de cálculo, 0.025

La carga radial mínima que soporta el rodamiento se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_r = k_r \left(\frac{v \cdot n}{1000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2 \quad \text{Ec. (3.97)}$$

Donde:

F_r = Carga radial mínima

K_r = Factor de cálculo, 0.025

v = Viscosidad del aceite a temperatura de funcionamiento, 20 [°C]

n = velocidad de giro, 50 [rpm] = 0,833 [rev/s]

d_m = Diámetro medio del rodamiento

Para calcular el diámetro medio del rodamiento se suma el valor del diámetro interno y del diámetro externo y se divide para 2.

$$d_m = 0.5(d + D) \quad \text{Ec. (3.98)}$$

Donde:

d_m = Diámetro medio del rodamiento

d = Diámetro interior, 38 [mm]

D = Diámetro exterior, 72 [mm]

Se reemplaza estos valores en la ecuación tenemos

dm = 55 [mm]

Para el cálculo de la viscosidad se toma en cuenta que el rodamiento funciona a temperaturas menores a 20 °C.

The screenshot shows the SKF Viscosity Calculator interface for grease YAR 207-104-2F/AH. It displays the following results and input parameters:

Results	
v Lubricant viscosity at operating temperature	804 mm ² /s
v₁ Required viscosity at operating temperature for κ=1	222 mm ² /s
v_{ref} Required viscosity at 40 °C for κ=1	70.5 mm ² /s
κ Viscosity ratio	3.62

Input parameters	
n_i Rotational speed of inner ring	50 r/min
Bearing operating temperature Bearing outer ring	20 °C
Grease used in the bearing Select from list	VT307
Viscosity at 40 °C	190.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	15.0 mm ² /s

FIGURA 3.30: Calculadora interactiva Manual SKF.¹¹⁸

La viscosidad del lubricante que se utiliza en los rodamientos a temperatura de funcionamiento es 190 mm²/s.

Con estos datos se resuelve la ecuación 3.97 para obtener el valor de carga radial mínima del rodamiento.

$$F_r = 0.025 \left(\frac{190 * 0.833}{1000} \right)^{2/3} \left(\frac{55}{100} \right)^2$$

¹¹⁸Fuente: <http://webtools3.skf.com/BearingCalc/selectCalculation.action>

$$F_r = 0.0885 \text{ [KN]}$$

Para seleccionar el rodamiento se observa que el funcionamiento a bajas revoluciones de la máquina genera cargas radiales, existiendo cargas axiales mínimas por lo que el manual SKF nos indica que para determinar el rodamiento a usar se utiliza el método de diseño a carga estática.

$$P_o = 0,6F_r + 0,5F_a \quad \text{Ec. (3.99)}$$

Donde:

P_o = Carga estática equivalente.

F_r = Carga radial, 0,0885 [KN]

F_a = Carga axial, 0

Se reemplaza los valores en la ecuación y se obtiene como resultado la carga estática equivalente.

$$P_o = 0,6(0,0885)$$

$$P_o = 0,0531 \text{ [KN]}$$

Con los valores obtenidos se observa que $P_o \leq F_r$ por lo que se determina que

$$P_o = F_r$$

Con los valores de la carga estática y carga estática equivalente se determina el valor del factor de seguridad del rodamiento.

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \quad \text{Ec. (3.100)}$$

Donde:

So= Factor de seguridad estático.

Po= Carga estática equivalente, 0,0885 [KN]

Co= Carga estática, 15,3 [KN]

Se reemplaza los valores en la ecuación y se obtiene como resultado el factor de seguridad estático.

$$S_o = \frac{15.3}{0.0885}$$

$$S_o = 172,88$$

3.3.3.1 Vida del rodamiento

El tiempo de vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990, está dado según la fórmula:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec. (3.101)}^{120}$$

$$L_{10h} = \frac{1\,000\,000}{60\,n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec. (3.102)}^{121}$$

Donde:

L_{10} = vida nominal (fiabilidad 90%), en millones de revoluciones

L_{10h} = vida nominal (fiabilidad 90%), en horas de funcionamiento

C = capacidad de carga dinámica, 25.5 [KN]

P = carga dinámica equivalente del rodamiento, 0.0531 [KN]

p = exponente de la ecuación de la vida, 3

n = velocidad en rpm, 50

Reemplazando los valores en las ecuaciones 3.101 y 3.102 se obtiene:

L_{10} = 865 482 682 millones de revoluciones

L_{10h} = 36 916 092 310 horas de funcionamiento

3.4 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control de la tostadora permite o impide, de forma automática, el paso del gas hacia los quemadores piloto y principal, enciende el chispero, permite iniciar e interrumpir el funcionamiento de la máquina y controla el tiempo de tostado, es decir, controla todo el sistema mientras la máquina esté en funcionamiento.

3.4.1 CIRCUITO ELECTRÓNICO

El circuito de control está formado principalmente por un microcontrolador sincroniza cada uno de los elementos eléctricos de la máquina.

3.4.1.1 Parámetros de funcionamiento

- Horas de uso: 4 horas al día aproximadamente.
- Temperatura de trabajo: 18°C

3.4.1.2 Funciones del circuito electrónico

- Controlar el tiempo de tostado y sacado mediante la programación de dos diferentes temporizadores.
- Permitir o interrumpir el paso de gas en la electroválvula durante el tiempo de tostado.
- Controlar el encendido y apagado del motor.
- Prender/apagar el chispero.

Para la construcción del circuito electrónico se utiliza un microcontrolador que con la ayuda de tres botones cumplen las funciones principales de: tostar el maní (modo tostar), sacar el maní (modo sacar) y detener el proceso (paro de emergencia). En la siguiente figura se muestra un diagrama de conexión del circuito de control.

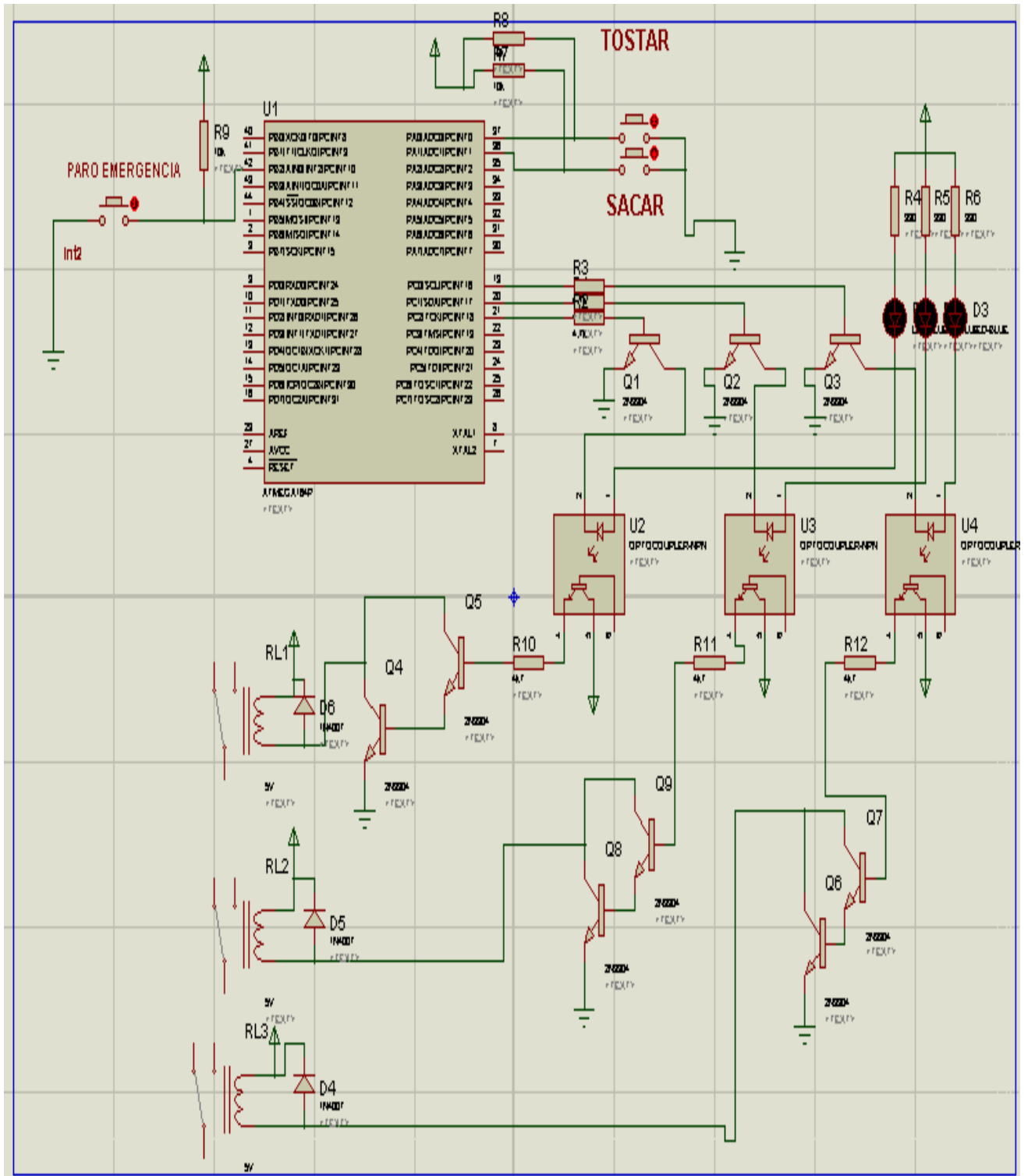


FIGURA 3.31: Diagrama del circuito electrónico de control.¹²²

¹²²Fuente: Autor.

La función de cada botón del circuito electrónico se detalla a continuación:

3.4.1.2.1 Modo tostar

Mediante la programación de un temporizador en el código del autómatas se controla el tiempo total de tostado, estimado en menos de una hora. Al presionar este botón se da inicio al proceso de tostado.

En este modo el microcontrolador envía un pulso que abre la electroválvula permitiendo el paso del gas, inmediatamente el chispero se enciende momentáneamente prendiendo automáticamente el quemador piloto, el motor empieza a girar e internamente en el microcontrolador se inicia el temporizador, el mismo que después de un tiempo promedio de tostado apaga el motor y cierra el paso del gas en la electroválvula permitiendo finalizar el proceso de tostado.

3.4.1.2.2 Modo sacar

Después del proceso de tostado la opción de “sacar” sirve para vaciar el cilindro del maní ya tostado. Al presionar este botón el microcontrolador inicia un segundo temporizador máximo de 10 minutos y durante este tiempo hace girar el motor permitiendo que el maní salga del tambor gracias al giro, siempre y cuando la compuerta de salida este abierta.

3.4.1.2.3 Paro de emergencia

El paro de emergencia permite detener el proceso de sacado o tostado en el momento que el usuario necesite, independientemente de que todavía no haya cumplido el ciclo programado en el temporizador.

3.4.1.3 Materiales

Para construir el circuito de control se utilizan los siguientes materiales:

- Microcontrolador ATMEGA 324P
- 3 Pulsadores
- 2 Relés
- 1 electroválvula
- 6 diodos LED
- 3 diodos 1N4007
- 1 regulador de voltaje LM 317
- 6 transistores 3904
- Resistencias varias
- Condensadores varios
- 1 baquelita
- 1 potenciómetro de 10K ohmios.
- 3 optoacopladores 4N25
- 1 oscilador tipo cristal (Xtal) de 8 MHz
- Borneras.

3.4.1.4 Microcontrolador

Para realizar el circuito electrónico se utiliza el microcontrolador AVR ATMEGA 324P que cumple con el proceso mostrado en el flujo-grama de la siguiente figura.

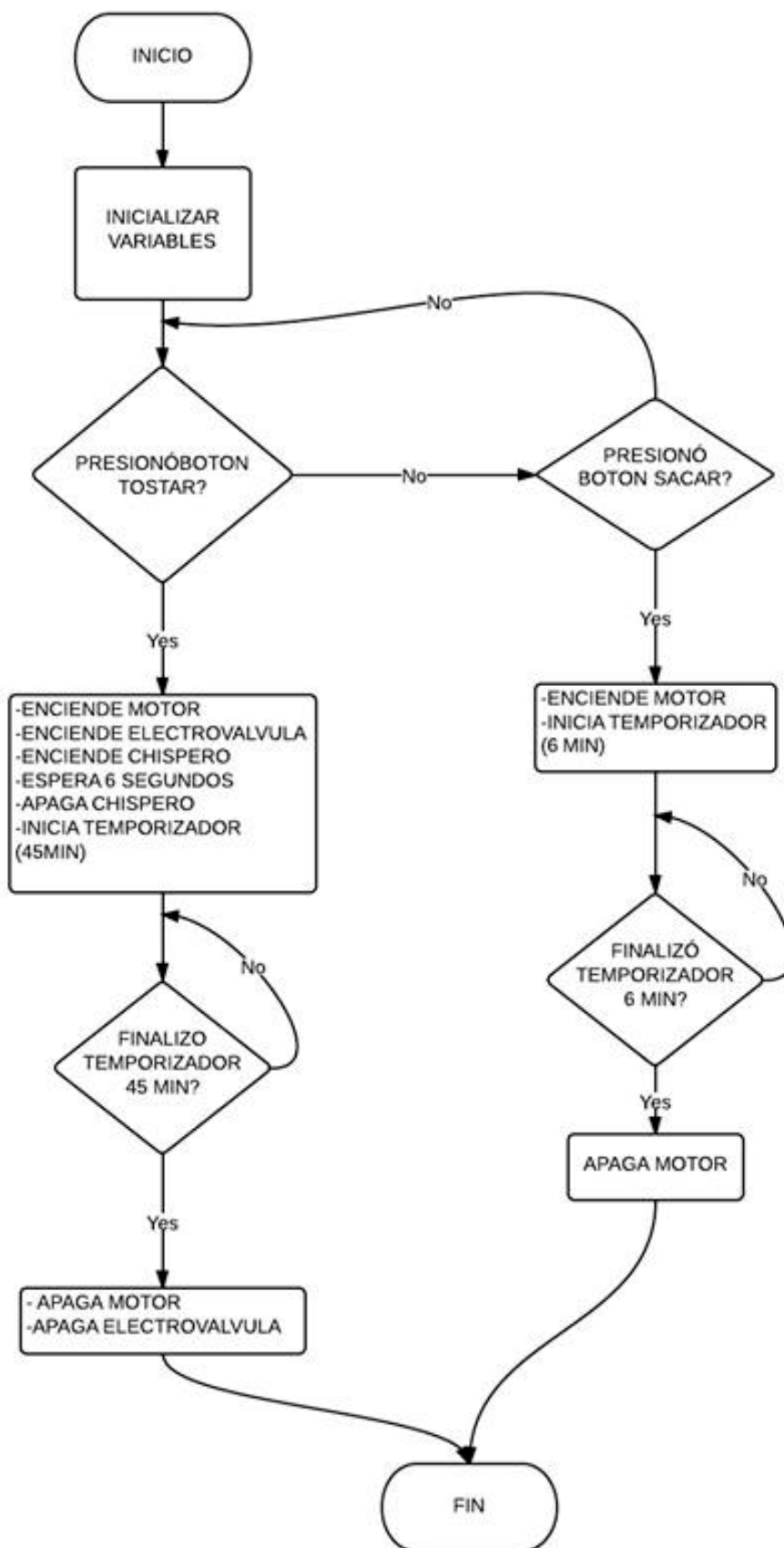


FIGURA 3.32: Diagrama de flujo del microcontrolador.¹²³

¹²³Fuente: Autor.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

4.1. MONTAJE FÍSICO DE LA MÁQUINA

Después de haber construido todas las partes que constituyen la máquina tostadora, se procede a montar físicamente todos sus mecanismos.

A continuación se detallan las actividades de montaje que se realizaron:

Código	Actividades de montaje físico de las partes tostadora de maní.
M1	Construcción y montaje de tambor de la máquina
M2	Construcción y montaje de las tapas del tambor
M3	Construcción y montaje del volante de sujeción del eje con el cilindro
M4	Construcción y montaje de la tolva de entrada
M5	Construcción y montaje de la estructura de tubo galvanizado
M6	Colocación de la lana de vidrio en el blindaje térmico

TABLA 4.1: Actividades del montaje físico de la máquina.¹²⁴

En la tabla anterior se detallan las actividades del montaje físico de la máquina. Como se puede observar en la tabla 4.1 cada actividad tiene un código, con la ayuda de este código se procede a realizar el diagrama de flujo que muestre las actividades del montaje físico junto con el tiempo que tomo llevar a cabo cada actividad.

¹²⁴Fuente: Autor.

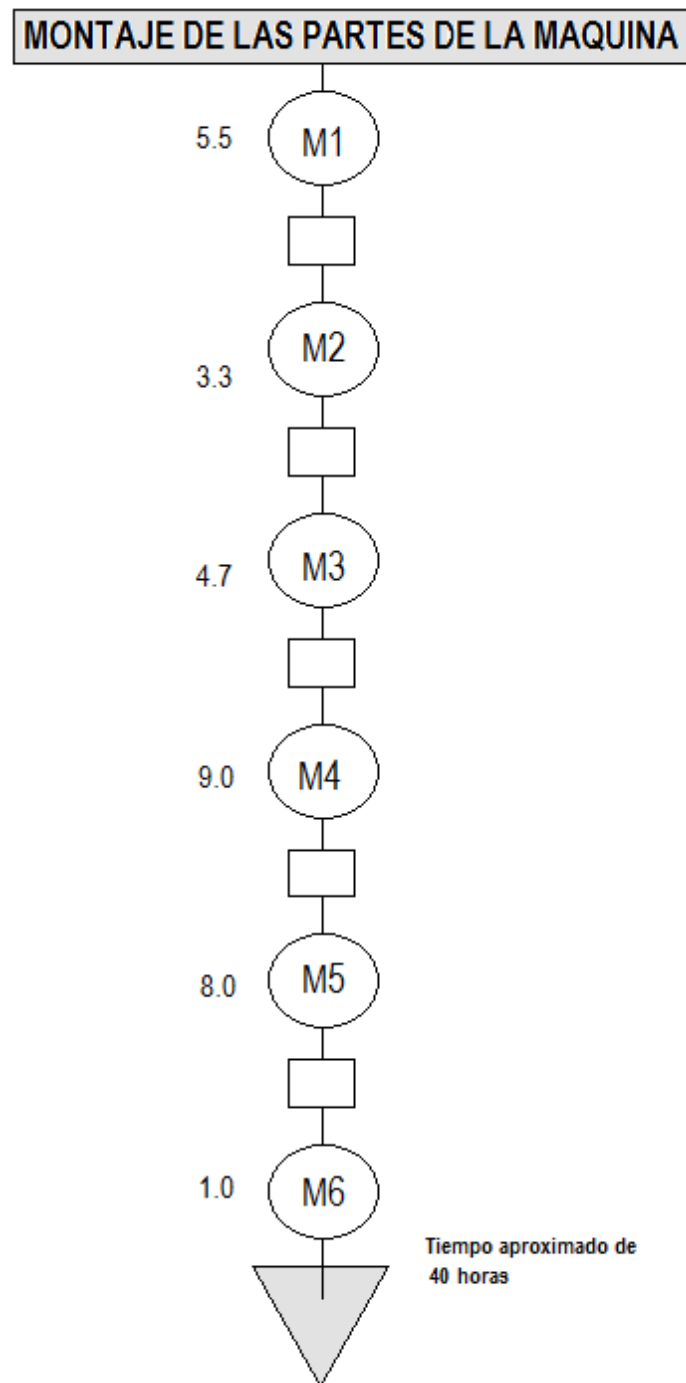


FIGURA 4.1: Diagrama de flujo del montaje físico de la máquina.¹²⁵

¹²⁵Fuente: Autor.

4.1.1 TAMBOR

El cilindro fue construido en inoxidable AISI 304 con las siguientes características:

CARACTERISTICAS DEL CILINDRO	Dimensión
Espesor de la lámina de acero	7 mm.
Radio	22.5 cm.
Largo	65 cm.

TABLA 4.2: Características del cilindro de tostado.¹²⁶

Para poder mezclar de mejor manera el maní dentro del tambor durante el proceso de tostado el tambor tiene unas paletas fijamente soldadas a la pared interna del tambor como se muestra en la figura 4.2.



FIGURA 4.2: Tambor de tostado.¹²⁷

^{126, 127} Fuente: Autor.



FIGURA 4.3: Vista lateral del tambor y sus paletas.¹²⁸

4.1.2 TAPAS DEL TAMBOR

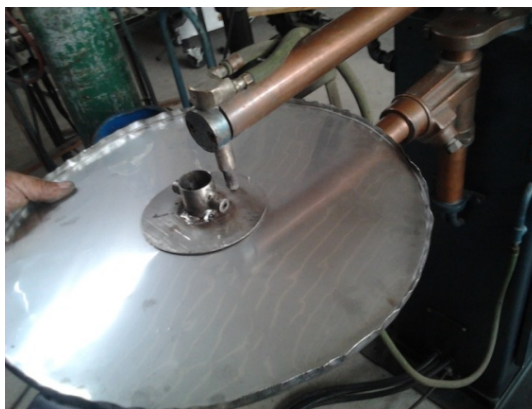


FIGURA 4.4: Tapa lateral del tambor.¹²⁹

Las tapas laterales del tambor están hechas con la misma lamina de acero inoxidable que el tambor. La tapa que va hacia el lado del motor está sujeta al eje de giro y ambas (la tapa y el eje) se mueven gracias a la tracción del motor. La otra tapa está fijada contra la estructura que recubre la máquina. Ambas tapas sirven para que el maní permanezca dentro de la cavidad de tostado durante el proceso.

^{128, 129}Fuente: Autor.

4.1.3 VOLANTE DE SUJECIÓN DEL EJE CON EL TAMBOR

El volante va sujeto al cilindro para transmitir el movimiento de giro desde el motor. Esta es construido con tubos colocados en forma de cruz. El volante va fijado con prisioneros y tornillos al eje como se muestra a continuación:



FIGURA 4.5: Volante de sujeción del eje contra el tambor.¹³⁰

4.1.4 TOLVA DE ENTRADA

Es un recipiente de forma cónica ubicado en forma invertida en la parte frontal de la máquina y está conectado a un canal que permite el ingreso del producto de manera regulable. La tolva está construida de acero inoxidable al igual que el cilindro. Es una especie de embudo que conecta el exterior con la cavidad de tostado y permite el paso del maní hacia el interior del tambor.

¹³⁰Fuente: Autor.



FIGURA 4.6: vista de la tolva de entrada.¹³¹

4.1.5 CUBIERTA DE LA MÁQUINA

La máquina está recubierta por una estructura construida con una lámina de tol galvanizado. La lámina de tol fue soldada con electrodo 6011 al armazón de tubo estructural cuadrado. Para formar el armazón de tubo cuadrado se utilizó suelda de punto. A continuación en la figura 4.8 se muestra la estructura de tubo galvanizado y en la figura 4.9 se aprecia la estructura cubierta con tol.

¹³¹Fuente: Autor.



FIGURA 4.7: Estructura de tubo antes de recubrir.¹³²



FIGURA 4.8: Cubierta de la máquina.¹³³

^{132, 133}Fuente: Autor.

4.1.6 BLINDAJE TÉRMICO

En el capítulo anterior se determinó que la cámara de tostado debe contener y conservar el calor para dar paso al tostado. Para la construcción de la tostadora se colocó lana de vidrio en la parte de la cubierta de la máquina que forma la cámara de tueste. El blindaje hecho con lana de vidrio recubre toda la cámara de tostado, es decir, la cavidad que contiene el cilindro y el quemador.



FIGURA 4.9: Colocación de la lana de vidrio para el blindaje.¹³⁴

4.2 MONTAJE Y SINCRONIZACIÓN DE ACTUADORES

En esta sección se detallan las actividades que hicieron posible el montaje e instalación de los actuadores que tiene la tostadora.

¹³⁴Fuente: Autor.

Código	Actividades de montaje los actuadores de la tostadora de maní.
N1	Instalación del motor
N2	Instalación de la polea 2.25 [in] en el motor.
N3	Instalación de la polea 11 [in].
N4	Instalación de la banda de 50 [in].
N5	Instalación de la polea 2.5 [in].
N6	Instalación de la polea 18 [in].
N7	Instalación de la banda de 71 [in].
N8	Instalación del quemador
N9	Instalación del chispero
N10	Instalación de la electroválvula

TABLA 4.3: Actividades de montaje y sincronización los actuadores de la tostadora de maní.¹³⁵

A continuación se muestra un diagrama de flujo que detalla el montaje de los actuadores de la máquina y el tiempo que llevo a cabo cada actividad de instalación de los actuadores.

¹³⁵Fuente: Autor.

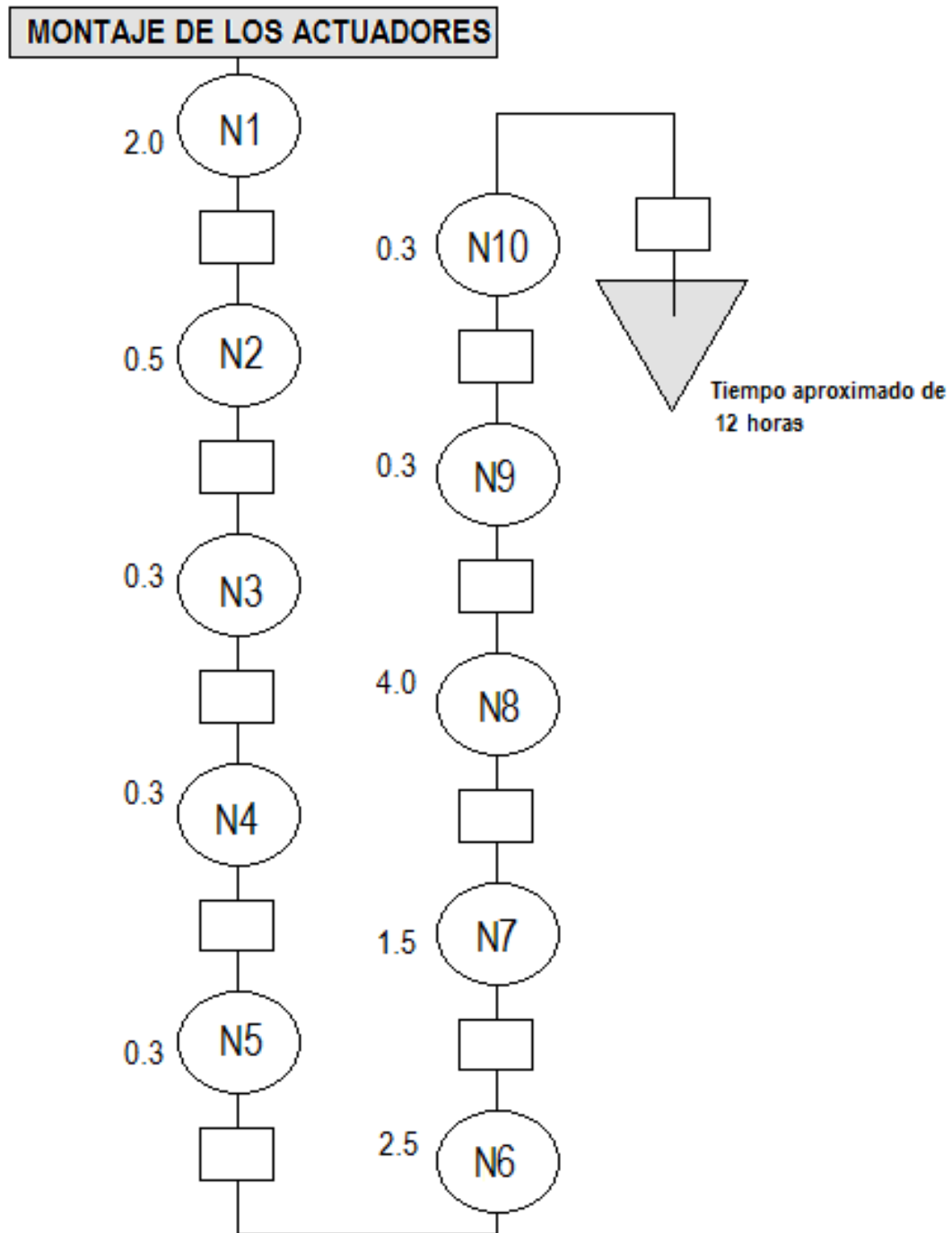


FIGURA 4.10: Diagrama de flujo del montaje de los actuadores de la tostadora de maní.¹³⁶

¹³⁶Fuente: Autor.

4.2.1 MOTOR

En el capítulo anterior se determinó una potencia requerida del motor de 0.5 HP, sin embargo por cuestiones de disponibilidad en la empresa auspiciadora finalmente se utilizó un motor WEG I21-1HP04PD56 de 1 HP de potencia para el sistema motriz de la máquina. El motor tiene las siguientes especificaciones:

HP(Kw)	1(Kw)
V	110/220
A	15.5/7.5
Hz	60
RPM	1730

TABLA 4.4: Características del motor marca WEG 1HP 110V-220V.¹³⁷



FIGURA 4.11: Motor marca WEG 1HP 110V-220V.¹³⁸

^{137, 138}Fuente: Autor.

4.2.1.1 Colocación del motor

Se colocó el motor en la parte trasera donde esta todo el sistema motriz de la máquina. La cavidad que contiene al motor no necesita blindaje térmico a excepción de la pared que separa la cavidad de tostado con la parte donde está ubicado el motor.

4.2.2 BANDAS Y POLEAS

Como se determinó en el capítulo anterior se debe reducir la velocidad de 1750 rpm que entrega el motor hasta obtener una de 50 rpm aproximadamente. Para lograr esta velocidad en el sistema de transmisión se utilizó 4 poleas y 2 bandas.

- Diámetro de la poleas: 2.25 [in], 2.5 [in], 11[in], 18[in].
- Longitud de las bandas: 50 [in], 71 [in].



FIGURA 4.12: Juego de poleas y bandas para la reducción de velocidad.¹³⁹

¹³⁹Fuente: Autor.

4.2.3 QUEMADOR Y CHISPERO

El quemador y el chispero van ubicados dentro de la cavidad de tostado, justo debajo del cilindro. El chispero funciona eléctricamente y es activado con un pulso que envía el sistema de control. Para encender el quemador se utiliza un sistema de encendido piloto antes de encender finalmente el quemador de la máquina.



FIGURA 4.13: Chispero eléctrico de la tostadora.¹⁴⁰



FIGURA 4.14: Quemador de la tostadora.¹⁴¹

^{140, 141}Fuente: Autor.

4.2.4 ELECTROVÁLVULA

Para controlar el paso de gas durante el tiempo de tueste del maní se utilizó una electroválvula. Este dispositivo de control cierra o abre el paso de gas licuado de petróleo hacia el quemador principal y el piloto. La electroválvula que se utilizó para la construcción del sistema de tostado es una válvula especial que soporta la presión del cilindro de gas GLP. La electroválvula está ubicada fuera del blindaje térmico en la misma cavidad donde está ubicado el motor y el sistema de transmisión.



FIGURA 4.15: Electroválvula.¹⁴²

¹⁴²Fuente: Autor.

4.3 PRUEBAS

Para realizar las pruebas se tomo 5 diferentes muestras de maní sin tostar y con cascara. Las pruebas se hicieron para verificar el tiempo adecuado de tueste por lo que no se utilizó el temporizador del sistema de control. En estas pruebas el operador verificó el estado del tueste con la ayuda de la toma muestras hasta obtener un tueste adecuado. En la tabla mostrada a continuación se detallan las pruebas realizadas:

Nro. de prueba	Cantidad de maní en cada carga [lb]	Tiempo que se demoró el maní en tostarse [min]	Cantidad de gas controlado por la perilla del quemador	Cantidad de maní pasado de tueste [%]
1	50	48.5	media	0
2	50	48	media	0
3	50	47	media	0
4	50	46	media	0
5	50	30	alta	0.1
6	50	32	alta	0.5
7	50	30	alta	0.1
8	50	30.5	alta	0.1

TABLA 4.5: Pruebas de funcionamiento.¹⁴³

¹⁴³Fuente: Autor.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Al permitir el paso de gas en cantidad media el tiempo de tueste es más prolongado que al tostar con el gas en cantidad alta, es decir, el tiempo de tueste varía en función a la temperatura generada por el fuego gracias a la cantidad de gas en el quemador.
- En todas las pruebas realizadas se observa que el tiempo es menor a una hora, cumpliendo las expectativas que se plantearon para el funcionamiento de la tostadora.
- Se observa que en las pruebas 1, 2, 3 y 4 con el quemador funcionando a medio gas el tiempo varía entre 45 y 47 minutos y no presenta maníes que estén pasados de tueste o quemados al final del proceso.
- Con el paso de gas en cantidad alta, mostrado en la tabla 4.5 en las pruebas Nro. 5, 6, 7 y 8 el tiempo de tueste varían entre 30 y 32 minutos.
- En las pruebas realizadas con una cantidad de gas alta en el quemador, se observa que, existen unos pocos maníes ligeramente pasados de tueste, sin embargo se considera esta cantidad como despreciable puesto que la cantidad es menor al 1% del total del maní introducido.
- Para escoger el tiempo que se programa en el sistema de control se tiene en cuenta el promedio de los tiempos en las pruebas Nro. 1, 2, 3 y 4 siendo los más satisfactorios puestos que no presentan maníes pasados de tueste. El tiempo promedio observado en estas pruebas es de 45 minutos y es el tiempo con que finalmente trabaje el temporizador automático de la tostadora.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La máquina tuesta de manera uniforme 50 libras de maní con tegumento (cascara fina rojiza) en un periodo de tiempo de 40 a 50 minutos, obteniendo el 99% de maníes en un estado de tueste correcto y evitando tener granos quemados después del proceso.
- Al obtener un tueste de manera uniforme y garantizar que los granos no salgan quemados se cumple con el objetivo de optimizar el proceso y mejorar la calidad de tueste.
- La cavidad de tostado de la máquina está construida con un blindaje térmico de lana de vidrio tanto como para aprovechar la temperatura dentro del tostador como también para evitar accidentes al contacto con la máquina.
- La velocidad de giro del motor es a velocidad baja de 50 rpm para garantizar un tueste uniforme en todos los granos de maní introducidos en el tambor.
- La tostadora puede ser fácilmente manipulada por el operador, si se desea tostar las 50 libras la máquina no requiere de vigilancia rigurosa después de iniciado el proceso, puesto que el temporizador detiene automáticamente el paso del gas y el giro del motor al terminar el tiempo de tostado.

- Al utilizar la tostadora con un temporizador programado con el tiempo adecuado ya no es necesario que el operador revise el estado de tueste de los granos de maní varias veces cada cierto tiempo, de esta forma se logró cumplir con el objetivo de prevenir accidentes tales como quemaduras en la piel que antes podían producirse durante el proceso de tostado.
- La tostadora puede ser utilizada para tostar menor cantidad de maní en un tiempo más corto si es necesario, en ese caso con vigilancia del operador manipulando directamente el inicio y final del proceso (modo manual-sin temporizador), haciendo más versátil el funcionamiento de la misma.
- A pesar de que está establecido el tiempo que tardará y la cantidad de granos a tostar en cada proceso, a fin de facilitar las pruebas realizadas y la posterior utilización de la máquina en modo manual (con cantidad diferente de maní o en tiempo diferente), la tostadora tiene un tomador de muestras adecuado que permite constatar de forma segura el estado del maní durante el proceso.
- La tostadora se puede usar también para tostar granos de café en la misma cantidad y siguiendo el mismo procedimiento que con el maní.
- Se logró cumplir con el objetivo principal que fue construir una “MÁQUINA TOSTADORA ROTATORIA DE MANÍ PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL CON SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO”, la misma que cumple con los parámetros y requerimientos necesarios para presentar un buen resultado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar materiales resistentes a la corrosión al momento de construir un máquina que trabaje con alimentos, en el caso de la construcción de la tostadora se utilizó acero inoxidable AISI 304 en todas las superficies de contacto con el maní y sellador anticorrosivo en el resto de las piezas
- Es importante tener en cuenta la implementación de un buen filtro de interferencias electromagnéticas en el circuito de control para evitar los efectos del ruido producidos por las cargas inductivas como motores o bobinas.
- Se recomienda proteger el circuito de control de las descargas eléctricas y el ruido producido que pueden generar los componentes electrónicos, construyendo un chasis metálico que recubra todo el circuito. En el caso de la tostadora se utilizó este blindaje para minimizar el ruido producido por el chispero electrónico utilizado para encender la llama.
- Al momento de realizar el sistema de control es importante aislar el circuito de control del circuito de potencia implementando un circuito de protección con que contenga opto-acopladores y relés para evitar descargas de corriente alterna en el circuito de corriente directa.

- Antes de poner en marcha la tostadora de maní se recomienda leer el manual de usuario que se adjunta en el presente escrito en la parte de anexos, ubicados al final del documento específicamente en el Anexo 1.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cacahuete. Recuperado de: <http://cocinatelotu.es/ingrediente/cacahuete//s>
2. BERDANIER, CAROLYN D.; DWYER, JOHANNA; FELDMAN, ELAINE B. (2010) Nutrición y alimentos. (2da Edición). México: McGraw-Hill
3. LESUR, LUIS. (2010) Manual de nutrición. (1ra Edición). México: Trillas.
4. Beneficio de los frutos secos en la ensalada. Tipos de frutos secos: Cahuete. Recuperado de: <https://www.ropa-ciclismo.com/blog/beneficios-de-los-frutos-secos-en-la-ensalada/>
5. Maní arachis hypogaea. Recuperado de: <http://lasumayresta212.wordpress.com/2013/03/22/mani-arachis-hypogaea/>
6. Usos del maní: Receta mantequilla de maní. Recuperado de: <http://debuenamesa.wordpress.com/tag/mani/>
7. Naturista de corazón: cacahuete. Recuperado de: <http://naturistadecorazon.blogspot.com/2011/11/turron-de-mani-y-copos.html>
8. Máquinas para el procesamiento de maní: tostadora modelo SB. Recuperado de: <http://www.inmegar.com/mani.html>
9. GARCÍA FAJARDO, ISABEL. (2008) Alimentos seguros: guía básica sobre seguridad alimentaria. (1ra Edición). España: Díaz de Santos.

10. Control de calidad de alimentos. Recuperado de:
<http://nanyastridcoral.blogspot.com/2011/01/control-de-calidad-de-alimentos.html>
11. CUÉLLAR, NIDIA ALBA. (2008) Ciencia, tecnología e industria de alimentos. (1ra Edición). Colombia: Grupo Latino.
12. BOSQUEZ MOLINA, ELSA. (2012) Procesamiento térmico de frutas y hortalizas. (2da Edición). México: Trillas.
13. Equivalencia de diversas unidades mundiales. Densidad de algunos productos. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041s09.htm>
14. CATALOGO DIPAC PRODUCTOS DE ACERO. (2013) Planchas de acero inoxidable [AISI 304]. Ecuador.
15. Calorías y nutrientes en 100 gramos de frutos secos. Recuperado de:
<http://www.nutricion.pro/20-12-2007/alimentos/calorias-y-nutrientes-en-100-gramos-de-frutos-secos>
16. Provincia de Imbabura. Temperatura ambiente. Recuperado de:
<http://www.ecuadorextremo.com/provincias/imbabura.htm>
17. RODRÍGUEZ, LUIS. (2011). Diseño de una máquina tostadora de ajonjolí de 40 kg/h de capacidad. Tesis de Ingeniería mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

18. MERIAM, J. L. (1980) Estática. (2da Edición). Caracas: Editorial Reverté.
19. INCROPERA, F y DEWITT, D. (1999) Fundamentos de transferencia de calor. (4ta Edición). México: Prentice hall.
20. BOSQUEZ MOLINA, ELSA. (2012) Procesamiento térmico de frutas y hortalizas. (2da Edición). México: Trillas
21. JÜTZ, H y SCHARKUS, E. (1984) Tablas de la industria metalúrgica. (2da Edición). España: Reverte Editorial S.A.
22. MOTT, R. L. (2006) Diseño de elementos de máquinas. (4ta Edición). México: Pearson Education.
23. GERE, J. (2006) Mecánica de materiales. (6ta Edición). México D.F: Thomson.
24. MARTIN SPROCKET & GEAR INC. Catálogo de bandas Martin. Recuperado el 17 de Enero del 2013 de [http://www.martinsprocket.com/docs/default-source/catalog-heaves/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf?sfvrsn=9](http://www.martinsprocket.com/docs/default-source/catalog-heaves/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf?sfvrsn=9)
25. SMITH, W. (2006). Fundamentos de Ingeniería y Ciencia de los Materiales (4ta Edición). México: McGraw-Gill.
26. SHIGLEY J. (2008) Diseño en ingeniería Mecánica. (8va Edición). México: McGraw-Hill.

27. Diagrama de fatiga y caso práctico. Recuperado de:
http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/diagramasfatiga/

28. DIPAC^a. (2013) Tubo estructural negro cuadrado. Recuperado de:
http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1101

29. Materiales estructurales. Recuperado de:
<http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/jorgem/principal/guias/seiimatest.pdf>

30. Selección de rodamientos. Recuperado de: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/cast-housing-square-flange-grub-screw-locking-for-air-handling-systems/index.html?prodid=2125517104&imperial=false>

31. Manual interactivo SKF

ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL DE USUARIO DE LA MÁQUINA TOSTADORA

Instrucciones de uso antes de utilizar la máquina:

Conecte la máquina a una toma de electricidad de 110v.

Verifique que la perilla del piloto este en posición de encendido y la perilla del quemador en apagado.

Presione el botón de encendido/apagado de la máquina

Presione el botón de tostado de la máquina

Meta el maní en la máquina a través de la tolva de entrada. Mientras introduce el maní la compuerta de salida debe estar cerrada.

Ponga la perilla del quemador en la posición de encendido.

Cuando el maní esté tostado el cilindro se detendrá. El tiempo de tueste aproximado es de 45 minutos

Abra la compuerta de salida y presione el botón de sacado.

Espere alrededor de 5 minutos mientras el maní sale.

Ponga la perilla del quemador en la posición de apagado.

Apague la máquina con el botón de encendido/apagado.

Una vez apagada la máquina, espere a que la tostadora se haya enfriado y luego retire el maní que no haya salido del cilindro.

Si es necesario detener el tostado durante el proceso presione el encendido/apagado para detener la máquina totalmente.

PRECAUCIONES

Verifique siempre que el piloto este encendido antes de abrir el gas con la perilla tostado.

No tocar ningún componente de la transmisión (bandas y poleas) mientras la máquina esté en funcionamiento.

No introducir la mano por las compuertas delanteras o traseras de la máquina mientras la máquina esté funcionando.

No meter la mano dentro del cilindro mientras se está tostando o sacando el maní.

No introducir objetos dentro de la cavidad de combustión y transmisión.

En caso de que el cilindro se detenga antes de los 45 minutos de tostado, apague la máquina, cierre las dos perillas del gas y llame inmediatamente al técnico de mantenimiento.

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para un buen funcionamiento se debe realizar un mantenimiento periódico de la tostadora.

PLAN DE MANTENIMIENTO

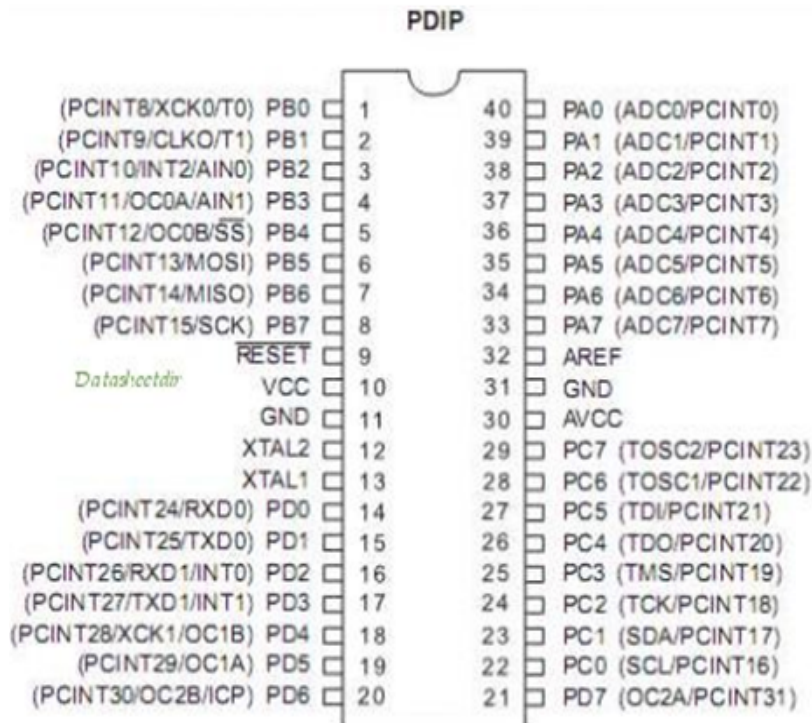
DESCRIPCIÓN	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	ANUAL
Poleas y bandas			x		
Motor					x
Cables eléctricos	x				
Sistema de control	x				
Reajuste de pernos			x		
Rodamientos					x
Limpieza general		x			
Quemador			x		
Electroválvula			x		
Chispero			x		

LUBRICACIÓN

DESCRIPCION	ANUAL	LUBRICANTE
Rodamientos	x	Grasa LGHP 2
Motor- rodamientos	x	Grasa LGHP 2

ANEXO 2. DATASHEET DEL ATMEGA324P (Configuración de pines)

Pin Configurations



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16/32/64K
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega164P
ATmega324P
ATmega644P

Automotive



ANEXO 3. PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

```

#include <mega164.h>
#include <delay.h>
unsigned int i;
float j;
unsigned int m;
unsigned int s;
interrupt [EXT_INT1]
void ext_int1_isr(void)
{
PORTC.1=0;
j=1;
}
void main(void)
{
DDRA|=0b11111100; //a0 a1 entrada
PORTA&=0b11111100;
  DDRB|=0b11111011;//b2 entrada
  PORTB&=0b11111011;
  DDRC|=0b11111111;//salidas
  PORTC&=0b11111000;
  DDRD|=0b11111111;//salidas
  PORTD&=0b11111111;
  //inicializacion de interrupciones externas
  //INT0: cambio de estado
  //INT1: flanco descendente
  //INT2: flanco ascendente
  //PCINT0-7: encendida
  EICRA=0x39;
  EIMSK=0x07;
  EIFR=0x07;
  PCMSK0=0x0F;
  //PCICR=0x01;
  //PCIFR=0x01;
  #asm("sei") //permiso global de interrupciones activado
  while(1)
  {
float k;
k=0;
s=0;
m=0;
i=0;
j=0;
//delay_ms(5);
PORTA=0x0f;
if(PINA.0==0)

```

```
{
  delay_ms(50);
  if(PINA.0==1)
  {
    PORTC.0=1;
    PORTC.1=1;
    PORTC.2=1;
    delay_ms(6000);
    delay_ms(6000);
    PORTC.2=0;
    for(i=1;i<=5400;i++)
    {
      delay_ms(1000);
      s=s+1;
      k=j;
      if(s==60)
      {
        m=m+1;
        s=0;
        if(m==50)
        {
          i=5401;
        }
        if(k==1)
        {
          i=5401;
        }
      }
    }
    PORTC.0=0;
    PORTC.1=0;
    i=0;
    j=0;
  }
}
if(PINA.1==0)
{
  delay_ms(50);
  if(PINA.1==1)
  {
    PORTC.0=1;

    for(i=1;i<=5400;i++)
    {
      delay_ms(1000);
      s=s+1;
      k=j;
```

```
    if(s==60)
    {
        m=m+1;
        s=0;
        if(m==7)
        {
            i=5401;
        }

        if(k==1)
        {
            i=5401;
        }
    }

    PORTC.0=0;
    i=0;
    j=0;
}
};
}
```

ANEXO 4. PLANOS MECÁNICOS