



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS  
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA

TÍTULO

**DISEÑO, SIMULACIÓN, Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
MÁQUINA DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 25LB, PARA TOSTADO-  
ENFRIADO, DIRIGIDA A LA PRODUCCIÓN CAFETALERA**

**AUTOR**

JUAN JOSÉ ARCINIEGA CUENCA

**DIRECTOR**

ING. JULIO CÉSAR CUENCA TINITANA, Mg. Sc

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

LOJA-ECUADOR

2016

## CERTIFICACIÓN

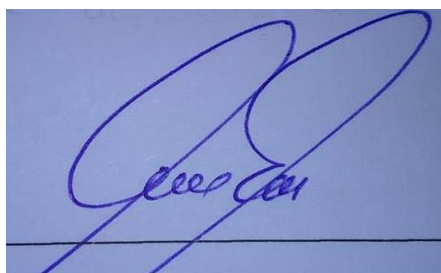
Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc

**DIRECTOR DE TESIS**

### CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“DISEÑO, SIMULACIÓN, Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 25LB, PARA TOSTADO-ENFRIADO, DIRIGIDA A LA PRODUCCIÓN CAFETALERA”**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, realizado por el señor egresado: **JUAN JOSÉ ARCINIEGA CUENCA**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 29 de agosto de 2016



Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo **JUAN JOSE ARCINIEGA CUENCA** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma

Adicionalmente acepto y autoriza a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Reposito Institucional-Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cedula:** 1104203672

**Fecha:** 12/12/2016

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARETE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, **JUAN JOSÉ ARCINIEGA CUENCA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“DISEÑO, SIMULACIÓN, Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 25LB, PARA TOSTADO-ENFRIADO DIRIGIDA A LA PRODUCCIÓN CAFETALERA”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de diciembre del dos mil dieciséis.



**Firma:**

**Autor:** Juan José Arciniega Cuenca

**Cédula:** 1104203672

**Dirección:** Loja (Balcón Universitario)

**Correo electrónico:** juan1104203672@hotmail.com

**Teléfono:** (07)2545692

**Celular:** 0994727758

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc

**Tribunal de Grado:** Ing. Manuel Augusto Pesántez Gonzáles, Mg. Sc.

Ing. José Leonardo Benavides Maldonado, Mg. Sc.

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

## **PENSAMIENTO**

"TRES SON LOS PILARES FUNDAMENTALES DE CUALQUIER ACTIVIDAD RELACIONADA CON EL ESTUDIO: LA MEMORIA, LA INTELIGENCIA Y LA VOLUNTAD. DE SU EQUILIBRIO DEPENDE EL ÉXITO O EL FRACASO."

Enseñanza jesuítica

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis padres Galo Arciniega y Carmen Cuenca por ser uno de los pilares fundamentales e importantes en mi vida y siempre brindarme el apoyo incondicional. A mi esposa Mariuxi que siempre ha estado constante con su apoyo y consejos para poder seguir adelante, a mis hermanos: Rodrigo, Gabriela y Luis que durante toda la vida han participado activamente en mi educación, brindándome el cariño y apoyo, y de manera general a mi familia que estuvo pendiente de mi avance y me supieron brindar su apoyo.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero darle gracias a Dios por siempre cuidarme y guiarme en el transcurso de mi vida y permitirme haber llegado a cumplir un objetivo importante como es el de obtener mi título de ingeniero, y permitiendo que personas tan significativas como es mi familia estén junto a mí para poder compartir este objetivo alcanzado.

Agradecerle a la Universidad Nacional de Loja, al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales No Renovables, y en especial al Ing. Julio Cuenca, director de mi tesis al Ing. Byron Solórzano y al Ing. José Benavides quienes supieron guiarme con sus conocimientos para el desarrollo del presente trabajo de tesis, a docentes en general y autoridades de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, quienes a través de sus enseñanzas supieron infundir las bases intelectuales para finalizar con éxito mi carrera profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

<i>CERTIFICACIÓN</i> .....	<i>I</i>
<i>AUTORÍA</i> .....	<i>II</i>
<i>PENSAMIENTO</i> .....	<i>IV</i>
<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>V</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>VI</i>
<i>TABLA DE CONTENIDO</i> .....	<i>VII</i>
<i>Índice de Figuras</i> .....	<i>IX</i>
<i>Índice de Tablas</i> .....	<i>XII</i>
<i>SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURA</i> .....	<i>XIII</i>
<i>1.- TÍTULO</i> .....	<i>1</i>
<i>2.- RESUMEN</i> .....	<i>2</i>
<i>3.- INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>4</i>
<i>4.- REVISIÓN DE LITERATURA</i> .....	<i>5</i>
4.1 MÁQUINAS PARA PROCESAR CAFÉ HISTORIA DEL CAFÉ. ....	5
4.1.1 Proceso de tostado-enfriado del café.....	5
4.1.2 Características y propiedades del café .....	5
4.1.2.1 Características deseables del café.....	5
4.1.2.2 Propiedades del café. ....	6
4.1.3 Tipos de café. ....	6
4.1.4 Tipos de máquinas tostadoras-enfriadoras de café.....	8
4.1.5 Sistemas de tueste .....	12
4.1.5.1 Tostadoras por cargas o tandas .....	12
4.1.5.2 Tostadoras continuas .....	15
4.1.5.3 Tostadoras para torrefacto .....	16
4.1.5.4 Tostadoras para un tueste mixto .....	17
4.1.5.5 Tostadoras para un tueste rápido .....	18
4.1.6 Temperatura y tiempo de tostado .....	18
4.1.6.1 Métodos para medir la humedad en el café.....	19
4.2 DISEÑO DE LA MÁQUINA.....	22
4.2.2 Diseño teórico de la tostadora-enfriadora de café.....	22
4.2.2.1 Cámaras de tueste .....	22
4.2.2.2 Quemadores .....	30
4.2.2.3 Aislamiento térmico .....	33
4.2.2.4 Tolvas de alimentación y salida.....	40
4.2.2.5 Sistema eléctrico de mando .....	40
4.2.2.6 Estructura de sustentación .....	41



4.2.2.7 Enfriadores de café.....	43
4.3 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....	45
4.3.1 Autómatas Programables .....	45
4.3.2 ¿Qué es un siemens logo!?	47
4.3.3 Elementos necesarios para la Automatización.....	51
4.4 <i>SOLDWORKS ANÁLISIS ESTÁTICO</i> .....	55
4.4.1 Introducción al SolidWorks® .....	55
4.4.1.1 Análisis estático en modelos.....	55
5.- <i>MATERIALES Y MÉTODOS</i> .....	58
5.1 Materiales .....	58
5.2 Métodos .....	58
6.- <i>RESULTADOS</i> .....	66
6.1 Análisis de producción de café.....	66
6.2 Selección de la tostadora de café.....	67
6.3 División de la máquina.....	70
6.3.1 Sistema de carga.....	72
6.3.2 Sistema de tostado.....	77
6.3.3 Sistema de tostado.....	82
6.3.4 Sistema motriz.....	89
6.3.5 Sistema de enfriado de café.....	114
6.3.6 Diseño de la Estructura.....	124
6.3.7 Sistema de control.....	128
6.3.8 Análisis estático de las partes más importantes.....	147
6.3.9 Análisis de costos que intervienen en el diseño y propuesta de automatización.....	154
7.- <i>DISCUSIÓN</i> .....	159
8.- <i>CONCLUSIONES</i> .....	161
9.- <i>RECOMENDACIONES</i> .....	162
10.- <i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	163
11. <i>ANEXOS</i> .....	172

## Índice de Figuras.

<b>Figura 1.</b> Clasificación del café en Ecuador.....	7
<b>Figura 2.</b> Tostadora de tambor.....	8
<b>Figura 3.</b> Tostadora continua.....	9
<b>Figura 4.</b> Tostadora de lecho fluido.....	10
<b>Figura 5.</b> Tostadora turbo o convección.....	11
<b>Figura 6.</b> Tostadora centrífuga.....	11
<b>Figura 7.</b> Tostadora tangencial.....	12
<b>Figura 8.</b> Tostadora para café torrefacto.....	12
<b>Figura 9.</b> Tostadora por carga o tandas.....	14
<b>Figura 10.</b> Tostadora continúa.....	16
<b>Figura 11.</b> Tostadora de café torrefacto.....	16
<b>Figura 12.</b> Máquina tostadora de café.....	17
<b>Figura 13.</b> Secado de café mediante horno.....	20
<b>Figura 14.</b> Método de Karl-Fischer.....	20
<b>Figura 15.</b> Medidor de humedad.....	21
<b>Figura 16.</b> Diagrama esquemático de la máquina tostadora de café.....	22
<b>Figura 17.</b> Cilindros transferencia de calor.....	27
<b>Figura 18.</b> Flujos de calor en el proceso.....	28
<b>Figura 19.</b> Capas externas del cilindro tostador.....	28
<b>Figura 20.</b> Circuito térmico del calor perdido.....	29
<b>Figura 21.</b> Capas internas de la cámara de combustión.....	29
<b>Figura 22.</b> Capas internas desde la cámara de combustión.....	29
<b>Figura 23.</b> Esquema de un quemador atmosférico.....	31
<b>Figura 24.</b> Diagrama de transmisión.....	36
<b>Figura 25.</b> Sistema de transmisión lineal, palanca.....	37
<b>Figura 26.</b> Reductor de velocidad.....	38
<b>Figura 27.</b> Multiplicador de velocidad.....	38
<b>Figura 28.</b> Transmisión por cadenas.....	40
<b>Figura 29.</b> Tipos de tolvas.....	40
<b>Figura 30.</b> Estructura de bastidor de máquina tostadora de café.....	42
<b>Figura 31.</b> Enfriador de café.....	44
<b>Figura 32.</b> Estructura del controlador lógico programable.....	47

<b>Figura 33.</b> Interfaz de usuario completa de LOGO! Soft Comfort.....	48
<b>Figura 34.</b> Análisis Estático.....	56
<b>Figura 35.</b> Diagrama de flujo de metodología.....	59
<b>Figura 36.</b> Esquema de la estructura y eje para la simulación.....	65
<b>Figura 37.</b> Esquema del calentamiento y enfriado por convección de aire caliente y frío. 69	
<b>Figura 38.</b> Esquema del proceso de tostado de una máquina tostadora de café con sistema de tambor .....	70
<b>Figura 39.</b> Diagrama de los sistemas de la máquina tostadora-enfriadora de café.....	72
<b>Figura 40.</b> Dimensiones del cilindro de tostado .....	75
<b>Figura 41.</b> Dimensiones de la tolva. ....	76
<b>Figura 42.</b> Dimensiones de brazo de la tolva. ....	77
<b>Figura 43.</b> Esquema del cilindro tostador con el área de café. ....	79
<b>Figura 44.</b> Cilindro vista frontal para cálculo del área. ....	79
<b>Figura 45.</b> Esquema para calcular el área del triángulo.....	80
<b>Figura 46.</b> Flujo de calor en el sistema de tostado. ....	83
<b>Figura 47.</b> Capas externas al cilindro tostador. ....	84
<b>Figura 48.</b> Circuito térmico del calor perdido. ....	84
<b>Figura 49.</b> Dimensiones de la máquina, viste frontal. ....	85
<b>Figura 50.</b> Capas internas desde la cámara de combustión. ....	86
<b>Figura 51.</b> Circuito térmico del calor aprovechado. ....	87
<b>Figura 52.</b> Distribución del café en las aletas.....	91
<b>Figura 53.</b> Transmisión de movimiento por poleas .....	95
<b>Figura 54.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje. ....	104
<b>Figura 55.</b> Diagrama de fuerza cortante, momento flector.....	108
<b>Figura 56.</b> Dimensiones de la chaveta rectangular. ....	111
<b>Figura 57.</b> Estructura de la chaveta. ....	112
<b>Figura 58.</b> Esquema del enfriador de café. ....	114
<b>Figura 59.</b> Dimensiones del enfriador de café.....	116
<b>Figura 60.</b> Dimensiones de la boca de salida del café.....	117
<b>Figura 61.</b> Diámetros de los orificios de la lámina.....	118
<b>Figura 62.</b> Reacciones en el eje del enfriador.....	120
<b>Figura 63.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector.....	122
<b>Figura 64.</b> Dimensiones del perfil para el tambor de tostado.....	125
<b>Figura 65.</b> Dimensiones de la altura de estructura. ....	125

<b>Figura 66.</b> Dimensiones de la estructura del enfriador.....	126
<b>Figura 67.</b> Dimensiones de alturas para el enfriador.....	127
<b>Figura 68.</b> Esquema de la ubicación de controladores automáticos.....	129
<b>Figura 69.</b> Diagrama de flujo del proceso de tostado-enfriado de café.....	131
<b>Figura 70.</b> Gráfica de cómo actúa la resistencia con la temperatura.....	133
<b>Figura 71.</b> Transmisor con display digital.....	134
<b>Figura 72.</b> Finales de carrera.....	135
<b>Figura 73.</b> Pulsador de inicio y de emergencia.....	135
<b>Figura 74.</b> Válvula solenoide UNI-D.....	136
<b>Figura 75.</b> Relé de control.....	137
<b>Figura 76.</b> Actuador lineal.....	137
<b>Figura 77.</b> Logo! 230RC.....	138
<b>Figura 78.</b> Modulo Logo! AM 2 PT100.....	139
<b>Figura 79.</b> Diagrama de conexión del arranque del proceso del sistema.....	140
<b>Figura 80.</b> Diagrama de conexión del PT100.....	141
<b>Figura 81.</b> Diagrama de conexión del encendido de compuerta y motor 2.....	141
<b>Figura 82.</b> Diagrama de conexión del Final de carrera 1.....	142
<b>Figura 83.</b> Diagrama de conexión del Final de carrera 2.....	143
<b>Figura 84.</b> Diagrama de conexión del pulsador de parada de emergencia.....	144
<b>Figura 85.</b> Diagrama de conexión de los elementos para la automatización.....	146
<b>Figura 86.</b> Estructura.....	147
<b>Figura 87.</b> Ventana de complementos de SolidWorks.....	148
<b>Figura 88.</b> Botón de simulación.....	148
<b>Figura 89.</b> Datos de sujeción.....	149
<b>Figura 90.</b> Análisis de esfuerzos.....	149
<b>Figura 91.</b> Análisis de desplazamiento.....	150
<b>Figura 92.</b> Eje de transmisión.....	151
<b>Figura 93.</b> Análisis de esfuerzo del eje.....	151
<b>Figura 94.</b> Deformación del eje aplicando el torque.....	152
<b>Figura 95.</b> Análisis de desplazamiento del eje.....	153
<b>Figura 96.</b> Deformaciones unitarias.....	153

## Índice de Tablas.

<b>Tabla 1.</b> Características de los sistemas de tostado por tandas.....	13
<b>Tabla 2.</b> Características del tipo de tostadoras de café continuas.....	15
<b>Tabla 3.</b> Características de las máquinas tostadoras de café con tueste rápido. ....	18
<b>Tabla 4.</b> Propiedades de algunos metales .....	24
<b>Tabla 5.</b> Espesores a escoger de la plancha, para el cilindro tostador de café.....	25
<b>Tabla 6.</b> Densidades aparentes de productos agrícolas solidos .....	25
<b>Tabla 7.</b> Factores de seguridad que involucran aspectos de control y calidad .....	26
<b>Tabla 8.</b> Cantidad de productores por hectareas. ....	66
<b>Tabla 9.</b> Producción del café tomando en cuenta el área.....	66
<b>Tabla 10.</b> Beneficios que ganan los pequeños productores. ....	67
<b>Tabla 11.</b> Matriz de valoración de criterios con respecto a las máquinas. ....	68
<b>Tabla 12.</b> Características de diferentes maquinas tostadoras de grano.....	74
<b>Tabla 13.</b> Espesores usados en diferentes tostadoras.....	82
<b>Tabla 14.</b> Características de coeficientes de convección, radiación y conducción. ....	84
<b>Tabla 15.</b> Características de sistemas de transmisión. ....	93
<b>Tabla 16.</b> Matriz de selección de transmisión. ....	94
<b>Tabla 17.</b> Características del sistema de transmisión por correas. ....	120
<b>Tabla 18.</b> Características técnicas del sensor PT100.....	134
<b>Tabla 19.</b> Datos técnicos de la válvula solenoide para control de la salida del gas.....	136
<b>Tabla 20.</b> Características del Logo! 230RC.....	138
<b>Tabla 21.</b> Características del módulo AM2 PT100 .....	139
<b>Tabla 22.</b> Costo de materiales a mecanizar. ....	154
<b>Tabla 23.</b> Costos de los materiales normalizados.....	155
<b>Tabla 24.</b> Costos de hombre-máquina .....	156
<b>Tabla 25.</b> Costo total del diseño de la máquina tostadora-enfriadora de café.....	157
<b>Tabla 26.</b> Cálculo del VAN Y EL TIR Y EL B/C.....	157

## **SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURA.**

$p$ : Presión que ejerce el café sobre las paredes del cilindro tostador,  $[\frac{N}{m^2}]$

$F$ : Peso del café,  $[Kg]$

$A$ : Área que abarca el café dentro del cilindro,  $[m^2]$

$S_{tra}$ : Esfuerzo Circunferencial,  $[\frac{N}{m^2}]$

$S_{long}$ : Esfuerzo longitudinal,  $[\frac{N}{m^2}]$

$P_{dis}$ : Presión de diseño,  $\frac{N}{m^2}$

$t$ : Espesor de la plancha de la cámara de tostado,  $[mm]$

$\rho$ : Densidad,  $[\frac{Kg}{m^3}]$

$m$ : Masa requerida,  $[Kg]$

$V$ : Volumen a ocupar,  $[m^3]$

$h = l$ : Altura del cilindro o longitud del tambor,  $[m]$

$v$ : Volumen mínimo del cilindro,  $[m^3]$

$r$ : Radio del cilindro,  $[m]$

$f$ : Fuerza que ejerce el café,  $[lb]$

$L$ : Longitud del tambor,  $[m]$

$D$ : Diámetro del cilindro,  $[m]$

### **Cámara de tostado. Transferencia de calor.**

$Q$ : Flujo de calor,  $[W]$

$R_{t,conv}$ : Resistencia térmica por convección,  $[^{\circ}C/W]$

$h$ : Coeficiente de convección,  $[W/m^2^{\circ}C]$

$A$ : Área transversal al flujo de calor,  $[m^2]$

$R_{t,cond}$ : Resistencia térmica por conducción,  $[^{\circ}C/W]$

$r_{ext}$ : Radio externo del cilindro,  $[m]$

$r_{int}$ : Radio interno del cilindro,  $[m]$

- $L$ : Longitud del cilindro,  $[m]$
- $k$ : Conductividad térmica del material,  $[W/m^{\circ}C]$
- $A_1$ : Área transversal al flujo de calor a la entrada del aislante,  $[m^2]$
- $A_2$ : Área transversal al flujo de calor del exterior de la chapa metálica,  $[m^2]$
- $h_1$ : Coeficiente de convección en la cámara de combustión,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $h_{\infty}$ : Coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $h_r$ : Coeficiente de radiación a la temperatura ambiente,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $k_a$ : Conductividad térmica para acero inoxidable,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $k_l$ : Conductividad térmica de la lana de vidrio,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $k_m$ : Conductividad térmica para la chapa metálica,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $r_3$ : Radio interior lámina de acero inoxidable,  $[m]$
- $r_4$ : Radio exterior lámina de acero inoxidable,  $[m]$
- $r_5$ : Radio interior de la chapa metálica,  $[m]$
- $r_6$ : Radio exterior de la chapa metálica,  $[m]$
- $L_{cc}$ : Longitud de la cámara de combustión,  $[m]$
- $A_3$ : Área transversal al flujo de calor a la pared interna de la cámara de tostado,  $[m^2]$
- $A_4$ : Área transversal al flujo de calor a la pared externa de la cámara de tostado,  $[m^2]$
- $h_i$ : Coeficiente de la convección en la cámara de tostado,  $[W/m^2^{\circ}C]$
- $r_1$ : Radio interior lámina de acero inoxidable,  $[m]$
- $r_2$ : Radio exterior lámina de acero inoxidable,  $[m]$
- $q$ : Flujo de calor,  $[W]$
- $\Delta T$ : Variación de temperaturas,  $[^{\circ}C]$
- $R_{ter}$ : Resistencia térmica,  $[^{\circ}C/W]$
- $\dot{m}$ : Flujo másico de café,  $[kg/s]$
- $\Delta t$ : Variación de tiempo que tarda el café en tostarse,  $[min] = [s]$
- $Q$ : Calorías que contiene el café,  $[Calorías]$
- $m$ : Masa de café,  $[Kg]$

$C_p$ : Calor específico del café, [ $\frac{kJ}{kg \times ^\circ C}$ ]

$\Delta T$ : Variación de temperatura, [ $^\circ C$ ]

$q_{aprov}$ : Calor necesario para tostar, [ $W$ ]

$T_i$ : Temperatura de tostado, dentro de la cámara de tostado, [ $^\circ C$ ]

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente de la provincia de Imbabura, [ $^\circ C$ ]

$T_1$ : Temperatura de la cámara de combustión [ $^\circ C$ ]

$q_{perd}$ : Calor perdido en los alrededores, [ $W$ ]

### **Sistema motriz**

$M$ : Momento, [ $N \times m$ ]

$a$ : Aceleración angular, [ $rad/s^2$ ]

$d_{eje}$ : Diámetro asumido para el eje, [ $m$ ]

$L_{eje}$ : Longitud del eje, [ $mm$ ], [ $m$ ]

$\rho$ : Densidad del acero, [ $Kg/m^3$ ]

$L$ : Longitud del cilindro tostador, [ $m$ ]

$\rho_{ai}$ : Densidad acero inoxidable, [ $Kg/m^3$ ]

$D_{ext}$ : Diámetro exterior del cilindro tostador, [ $m$ ]

$D_{int}$ : Diámetro interior del cilindro de tostado, [ $m$ ]

$L$ : Longitud de la horquilla, [ $m$ ]

$\rho_{ai}$ : Densidad acero, [ $Kg/m^3$ ]

$D_{ext}$ : Diámetro exterior de la horquilla, [ $m$ ]

$D_{int}$ : Diámetro interior de la horquilla, [ $m$ ]

$\rho_{at}$ : Densidad del acero de transmisión, [ $Kg/m^3$ ]

$L_{bar}$ : Longitud de la barra, [ $m$ ]

$d_{bar}$ : Diámetro de la barra, [ $m$ ]

$P_{per}$ : Perímetro ocupado por el café, [ $m$ ]

$D_{int}$ : Diámetro interno del tambor, [ $m$ ]



$\rho_{cafe}$ : Densidad del café,  $[Kg/m^3]$

$m$ : Masa de café,  $[Kg]$

$g$ : Aceleración de la gravedad,  $[m/s^2]$

$r_{int}$ : Radio interno del cilindro de tostado,  $[m]$

$M_T$ : Momento de torsión que realiza el motor al eje,  $[N \times m]$

$P_{pot}$ : Potencia del motor,  $[W]$

### **Selección de sistema de transmisión por correas**

#### **Unidades para el cálculo de dimensiones de la chaveta.**

$a$ : Altura,  $[mm]$

$b$ : Ancho,  $[mm]$

$l$ : Longitud,  $[mm]$

$F_C$ : Fuerza Cortante,  $[N]$

$r_{eje}$ : Radio del eje,  $[mm]$

#### **Rodamientos y chumaceras.**

$P_0$ : Carga estática equivalente,  $[N]$

$F_r$ : Carga radial,  $[N]$

$F_a$ : Carga axial,  $[N]$

$C_0$ : Capacidad de Carga estática,  $[N]$

$P_0$ : Carga estática equivalente,  $[N]$

## **1.- TÍTULO**

“DISEÑO, SIMULACIÓN, Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 25LB, PARA TOSTADO-ENFRIADO, DIRIGIDA A LA PRODUCCIÓN CAFETALERA”

## **2.- RESUMEN**

En el trabajo se realizó una investigación bibliográfica sobre las características generales del café, así como la selección de la máquina más adecuada con las necesidades requeridas, mediante una matriz de ponderación o de selección, ésta selección se hace a partir de una comparación entre varios tipos de máquinas existentes en el mercado de donde se elige la opción más favorable para el cantón Puyango, que es el sector elegido.

Conociendo las características generales del café y habiendo seleccionado el tipo de máquina para el diseño, se procedió a realizar el diseño mecánico para una tostadora-enfriadora de café tipo tambor calculando las dimensiones de la cámara para el tostado y enfriado de café así como también la cámara de combustión, adicionalmente se realiza el cálculo para encontrar la potencia del motor que se usa para el tostado y para el enfriado de café, así como para el sistema de transmisión de potencia y finalmente se realiza un análisis de los elementos mecánicos que intervienen en la operación.

Una vez realizado el diseño mecánico se procedió a hacer la propuesta de automatización seleccionando los equipos más adecuados para automatizar el proceso de la máquina tostadora-enfriadora de café, tales como: sensor para el control de temperatura, sensor para conocer si la compuerta se encuentra abierta o cerrada y válvula para el control del flujo del gas. Para el control del proceso el sistema utiliza un PLC Logo! RC230 marca SIEMENS el cual controla la activación y desactivación secuencial del sistema en general.

Teniendo ya el diseño mecánico y la propuesta de automatización se utilizó un software, el cual sirvió para realizar una simulación, con el que se hace una comparación de los valores que arroja después de hacer un análisis estático con las propiedades de los materiales que se están usando en las piezas de la máquina.

Y por último se realizó un presupuesto para la inversión del proyecto y análisis económico que permita conocer si el proyecto es viable o no, y así poder realizar las conclusiones orientadas a cada objetivo específico planteado, y las recomendaciones correspondientes para el trabajo investigativo.

## **ABSTRACT**

In the work was made a bibliographical research about of the general characteristics of coffee, as well as the selection of the adequate machine to the required needs, by means of a weighting or selection matrix, this selection is made from a comparison between several types of machines in the market from which the most favorable option for the Puyango canton is chosen.

Knowing the general characteristics of coffee and having selected the type of machine for the design, It proceeded to perform the mechanical design for one toaster-chiller of coffee drum type calculating the dimensions of the chamber for the roasting and cooling of coffee and also of the combustion chamber, additionally the calculation is made to find the power of the motor that is used for the roasting and chiller of coffee, as well as for the power transmission system and finally performed an analysis of the mechanical elements that intervene in the operation.

Once the mechanical design is done they proceeded to make the proposal of automation selecting the most suitable equipment to automate the process of the machine toaster-chiller of coffee, such as: sensor for temperature control, sensor to know if the gate is open or closed and valve for the control of gas flow, for control of the process the system uses a PLC Logo! RC230 brand SIEMENS which controls the sequential activation and deactivation of the system in general.

Having already the mechanical design and the proposal of automation was used a software, which served to make a simulation, with which it makes a comparison of the values it throws after doing a static analysis with the properties of the materials being used in the machine parts.

And finally a budget was made for the project investment and economic analysis that allows to know if the project is feasible or not, and make the conclusions oriented to each objective specific raised, and the corresponding recommendations for the investigative work.

### 3.- INTRODUCCIÓN

La tesis titulada: Diseño, simulación, y propuesta de automatización de una máquina de café con capacidad de 25lb=11.33Kg, para tostado-enfriado, dirigida a la producción cafetalera, tiene como propósito cubrir una necesidad particular de los productores cafetaleros del cantón Puyango (Alamor), la cual es mejorar la productividad del café, mediante mejoras en el proceso de tostado.

La ineficiencia en la explotación del grano de café es grande en este sector, para esto se ha realizado una máquina la cual servirá para el tostado de café eficiente y de fácil control para que los pequeños productores de café empiecen a crear nuevas alternativas con el mismo y así poderlo vender en los diferentes puntos del país, ya que este sector tiene muy buenas propiedades para la producción del café.

Los conocimientos adquiridos en las aulas de la carrera de ingeniería electromecánica fueron de gran ayuda para la resolución de esta tesis, ya que se pudo obtener conocimientos de diseño de máquinas, transferencia de calor, diseño en software SolidWorks, y automatización, gracias al conocimiento de estas materias se pudo desarrollar con éxito esta tesis.

Para el desarrollo del presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Diseñar, simular y realizar la propuesta de automatización para la máquina de café de tostado-enfriado, que se implementará en la producción cafetalera del pequeño productor en el cantón Puyango

Objetivos específicos:

- Determinar una propuesta de diseño, basada en el análisis de máquinas tostadoras existentes y parámetros de funcionamiento.
- Realizar el diseño de la máquina tostadora-enfriadora de café basado en parámetros funcionales y requerimientos.
- Proponer el sistema de automatización apropiado que permita el correcto funcionamiento de la máquina.
- Validar el diseño mecánico de las principales partes de la máquina mediante simulación estática.

## **4.- REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1 MÁQUINAS PARA PROCESAR CAFÉ HISTORIA DEL CAFÉ.**

La historia del café se remonta hacia la antigüedad. Fue llevado por los árabes y los turcos en el siglo XV, pero fue hasta el siguiente siglo que comenzó a crecer su consumo. Barrios (1991) comenta que el café deriva de su nombre árabe “kahawh”, “kawa”, o “gawah”, que se ha traducido como “algo que sabe amargo”. De estas raíces se origina la palabra “café” en español.

La zona cafetalera en el mundo se extiende en un anillo intertropical de veinte grados latitud norte veinte grados latitud sur, es decir entre los trópicos de Cáncer y Capricornio y en alturas comprendidas entre los doscientos y los mil seiscientos metros sobre el nivel del mar de acuerdo con las variedades, pues hay unas que prosperan mejor en partes bajas y otras por el contrario prefieren las zonas altas. (AMERICARUM UNIVERSITAS, 1991)

#### **4.1.1 Proceso de tostado-enfriado del café.**

El tueste del café es una fase vital dentro de su cadena de elaboración. El proceso de tostar los granos del café verde consiste en someterlos durante un tiempo limitado a una alta temperatura, intervalo durante el cual, pierde peso alrededor del 15 al 20%, debido en gran parte a la evaporación de su humedad y en menor parte a la pirolisis de algunos componentes. El grano aumenta de volumen, entre un 100 y un 130% en el caso del café natural en función del tiempo de tueste y entre el 70 y el 80% para el torrefacto. Su color amarillo verdoso se transforma en un marrón, más o menos oscuro en función del grado de tueste escogido. La composición química del grano sufre una importante transformación, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. Azúcares, grasas, proteínas, sustancias nitrogenadas no proteicas, ácidos, todo sufre una transformación debido a las altas temperaturas a que es sometido el grano. (Solà, s.f.)

Para obtener las máximas cualidades de cada tipo de café, el tueste debe ser específico para cada uno de ellos. Hay en todo caso cuatro tipos de café muy diferenciados que exigen tuestes específicos: arábicas naturales y lavados, robustas naturales y lavados.

#### **4.1.2 Características y propiedades del café**

##### **4.1.2.1 Características deseables del café.**

Las cualidades de la bebida de café son evaluadas por expertos llamados catadores que califican la bebida a través de los sentidos del gusto y del olfato. La evaluación sensorial del café se

realiza empleando café tostado y molido. La calidad del café está determinada por sus características organolépticas (son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene el grano de café en general, según las pueden percibir los sentidos) deseables como son: aroma, sabor y cuerpo. (Luis Duicela, 1988)

**Aroma:** Es una propiedad organoléptica que describe la impresión olfativa general de las sustancias volátiles de un café. Esta cualidad se relaciona con la fragancia que desprende la bebida. Un aroma delicadamente fino, fragante y penetrante es la manifestación de un buen café.

**Sabor:** Es una propiedad organoléptica de la bebida, que describe la combinación compleja de los atributos gustativos y olfativos percibidos en la bebida. Es la sensación, impresión global y equilibrada, propia del café que se percibe en la boca.

**Cuerpo:** Es una propiedad organoléptica que está determinada por la naturaleza y el contenido de sólidos solubles de la infusión. Esta cualidad se estima por la densidad que le deja la bebida en el paladar.

#### **4.1.2.2 Propiedades del café.**

Entre los minerales que contiene, el café, es rico en potasio uno de los elementos que favorece las contracciones musculares, incluyendo la cardíaca. Contiene también calcio, indispensable para los huesos y dientes; magnesio, que juega un papel importante en el equilibrio nervioso, cromo y manganeso que actúa sobre el mecanismo de los carbohidratos y actividad enzimático celular. (Infocafés, 2012). Contiene vitamina E (antioxidante) y la PP (vitamina B3, niacina, o ácido nicotínico) que actúa sobre la conformación de los tejidos, la piel y el sistema nervioso.

#### **4.1.3 Tipos de café.**

La figura 1 muestra la clasificación del café en el Ecuador, y sus características después de haber sido cosechadas.



**Figura 1.** Clasificación del café en Ecuador.

**Fuente.** COFENAC 2012

### **Café Arábigo**

El café arábigo al ser un cultivo estacional requiere de 180 – 200 días de lluvia (6 meses) para un óptimo desarrollo, aunque el cafeto presenta cierta tolerancia a la sequía su producción declina considerablemente cuando las precipitaciones disminuyen. La especie arábigo requiere un periodo seco de alrededor de tres meses, tiene una amplia adaptabilidad a los distintos ecosistemas de las cuatro regiones del Ecuador (Costa, Sierra, Amazonía e Islas Galápagos). Se cultiva desde altitudes cercanas al nivel del mar hasta los 2.000 metros. Las principales variedades arábigo cultivadas en el Ecuador son: **Típica, Caturra, Bourbon, Pacas, Catuai, Catimor y Sarchimor**. En el país se produce café verde, tostado y soluble. (Inteligencia Comercial e inversiones, 2013)

### **El café Robusta**

A diferencia del café arábigo, requiere un clima tropical con altas precipitaciones o en su defecto riego. Tradicionalmente la región Amazónica ecuatoriana, especialmente las provincias del Norte Amazónico han cultivado café robusta y en períodos de bonanza fue un cultivo que permitió dinamizar la economía. Por la caída de los precios a inicios de la década el cultivo se vio mermado y gran parte de estos están abandonados. (Especialista sectorial de café y elaborados, 2013) En el Ecuador se produce las siguientes presentaciones de café: (Inteligencia Comercial e inversiones, 2013)

- Café verde,



- Café tostado, en grano y/o molido
- Café soluble o instantáneo (spray, aglomerado y liofilizado)

#### 4.1.4 Tipos de máquinas tostadoras-enfriadoras de café.

**1. Tostadoras de tambor:** Son las más establecidas en el mercado gran parte del proceso de tostado se realiza por aire (convectivo) pero también por contacto con la superficie caliente (conductivo). (Alberte Solá, s.f)



**Figura 2.** Tostadora de tambor.

**Fuente.** (Alibaba, 1999-2016)

**2. Tostadoras continuas:** Se utilizan para producciones rápidas, elevadas y continuadas, de un mismo tipo de producto. Para trabajar requieren elevadas temperaturas y grandes caudales de aire, pues no existe una acción de mezcla de los granos en proceso de tueste tan elevada como en los sistemas más tradicionales por bombo o tandas. Esta menor mezcla es compensada por una mayor acción del aire caliente soplado desde las toberas a través del café situado en las celdas. En la primera fase de tueste, en el momento de deshidratación del grano, la velocidad del aire es más reducida y la temperatura es menor, incrementándose hasta valores del orden de los 300 a 400 °C. Este sistema, por ser continuo, no tiene fase de regeneración de oxígeno y humedad durante la descarga, debiendo ajustar unos valores óptimos que se mantendrán después de forma constante. (Alberte Solá, s.f)



**Figura 3.** Tostadora continua.

**Fuente.** (DiScaf, s.f.)

**3. Tostadoras de lecho fluido:** El funcionamiento de estos equipos se basa en una combinación de los principios de los sistemas tambor y convección. Con ellas se puede efectuar un proceso en 5 o 6 minutos y permite una gran variedad de tipos de tueste. El café está en una cámara estática, que tiene perforada únicamente la base, por donde se inyecta el aire caliente a presión, que provoca que los granos de café se muevan en suspensión. El café es impulsado por una fuerte corriente de aire caliente que fluye del fondo perforado, obligando al café a elevarse por un lateral describiendo una curva o bóveda en la parte superior de la cámara y descendiendo por el lateral opuesto. Durante el proceso, los humos son aspirados y se elimina la cascarilla, que es depositada en un ciclón colector. El quemador calienta los humos hasta una temperatura de 600 a 700 °C para proceder a una óptima combustión de las impurezas. (Alberte Solá, s.f)



**Figura 4.** Tostadora de lecho fluido.

**Fuente.** (BUHLER, s.f.)

**4. Tostadoras turbo o convección:** Son una variante del sistema convencional a tambor. La diferencia estriba en que la aportación de calor se realiza totalmente por convección y prácticamente sin conducción, permitiendo unos tuestes más rápidos del orden de 5 a 6 minutos. La temperatura del aire de tueste es de aproximadamente 550°C, escalonándose durante el proceso y regulando su cantidad en determinados momentos. Existen máquinas de este tipo que pueden tostar café hasta en 14 minutos haciendo unas adaptaciones en su funcionamiento original. El café en estas máquinas está en flotación y por lo tanto los granos no se pueden quemar con el contacto de las partes metálicas con temperaturas más altas que las del aire caliente. (Alberte Solá, s.f)



**Figura 5.** Tostadora turbo o convección

**Fuente.** (Solà, s.f.)

**5. Tostadoras centrífugas:** Ideales para café de filtro y para cápsulas. (Alberte Solá, s.f)



**Figura 6.** Tostadora centrífuga.

**Fuente.** (SGAlimentos, s.f.)

**6. Tostadoras tangenciales:** Son las idóneas para café instantáneo. (Alberte Solá, s.f)



**Figura 7.** Tostadora tangencial.

**Fuente.** (Maquinaria y Accesorios, s.f.)

**7. Tostadoras para café torrefacto:** Son del tipo tambor pero cuentan con un sistema de aportación de aire caliente. La principal diferencia del tostado del torrefacto es que se ha de añadir azúcar durante el proceso de tueste. (Alberte Solá, s.f)



**Figura 8.** Tostadora para café torrefacto.

**Fuente.** (INNOENVAS, s.f.)

#### **4.1.5 Sistemas de tueste**

##### **4.1.5.1 Tostadoras por cargas o tandas**

En la tabla 1 se observan algunas de las características que tienen los sistemas de tostado por tandas para tener idea más clara de cuál es el funcionamiento dentro de cada sistema, y poder realizar una selección de la máquina adecuada y así poder desarrollar el diseño de una máquina tostadora de café.

**Tabla 1.** Características de los sistemas de tostado por tandas

<i>Características. Tostadoras por tandas: sistema tambor</i>					
<b>Capacidad de máquina tostadora de café (kg)</b>	<b>Tiempo de tostado (minutos)</b>	<b>Temperatura de tostado (°C)</b>	<b>Color del grano (tipo de tueste)</b>	<b>Aportación de calor</b>	<b>Enfriado</b>
5 hasta 600	12-18	200	Ligero, medio o medio oscuro	Conducción y convección	El enfriado se realizará en un tambor circular
<i>Características. Tostadoras por tandas: sistema turbo o convección</i>					
<b>Capacidad de máquina tostadora de café (kg)</b>	<b>Tiempo de tostado (minutos)</b>	<b>Temperatura de tostado (°C)</b>	<b>Color del grano (tipo de tueste)</b>	<b>Aportación de calor</b>	<b>Enfriado</b>
5 hasta 600	5-6	550	Medio oscuro y oscuro	Convección	El enfriado se realizará en un tambor circular
<i>Características. Tostadoras por tandas: sistema lecho fluido</i>					
<b>Capacidad de máquina tostadora de café (kg)</b>	<b>Tiempo de tostado (minutos)</b>	<b>Temperatura de tostado (°C)</b>	<b>Color del grano (tipo de tueste)</b>	<b>Aportación de calor</b>	<b>Enfriado</b>
5 hasta 600	5.5	200-550	Medio oscuro y oscuro	Convección	El enfriado se realizará en un tambor circular

Fuente. Autor

Dentro de este apartado, se puede contemplar varios sistemas más: (Solà, s.f.)

### **Sistema Tambor.**

En la figura 9, se muestra una máquina tostadora de café que sirve para el tueste de café utilizando el sistema de tambor rotativo.



**Figura 9.** Tostadora por carga o tandas

**Fuente.** (BENDIG, 2016)

El sistema de tambor se da entre 12 y 18 minutos donde el café es tostado por aire caliente a una temperatura de aproximadamente de 200°C. En sistema de tambor el aire es relativamente seco, y tiene un contenido de agua de los gases de escape de 18 gr/m<sup>3</sup>. Con este sistema de tueste se puede conseguir una gran uniformidad en el grano que va entre un color ligero o medio (Infocafés, 2012)

El enfriado se realiza en un tambor circular, removiendo el café con unas palas, a temperatura ambiente. La base es de chapa perforada, y con moto ventilador en la base que aspira el aire a través de los granos. (Infocafés, 2012)

### **Sistema turbo o convección.**

El sistema turbo o convección es una variable del sistema convencional a tambor, el tiempo de tostado es de 5 a 6 minutos, esta variación de tiempo se da porque en este tipo de sistema la aportación de calor se lo realiza totalmente por convección y prácticamente con conducción despreciable, para que el café sea tostado se debe aportar aire a una temperatura aproximada de 550°C

### **Sistema lecho fluido.**

En el sistema de lecho fluido, se combinan los sistemas de tambor y convección. En este sistema el tiempo que debe de transcurrir para el tostado es de 5 a 6 minutos, la temperatura que debe alcanzar este sistema está relacionada con las temperaturas del sistema de tambor y convección que varía de 200 a 550°C. (Infocafés, 2012)

El café en este sistema se ubica en una cámara estática perforada únicamente la base, ya que por las perforaciones se puede inyectar aire caliente a presión, esto provoca que los granos de café se muevan en suspensión. El café es impulsado por una corriente fuerte de aire caliente que fluye del fondo perforado, obligando así a elevarse el café por un lateral describiendo una curva o bóveda en la parte superior de la cámara y descendiendo por el lateral opuesto.

#### 4.1.5.2 Tostadoras continuas

En la figura 10 se puede apreciar un esquema de la máquina tostadora continua. En la tabla 2 se observan las características del tostado de café con tostadoras continuas, con una capacidad que varía de los 5 kg hasta los 600 Kg que son usadas para producciones grandes en plantas industriales y para pequeñas empresas que se dedican al proceso de tostado con este tipo de máquinas. El tiempo para el tostado varia de 5 a 6 minutos con una temperatura de 300 a 400°C. (FórumCafé, s.f.)

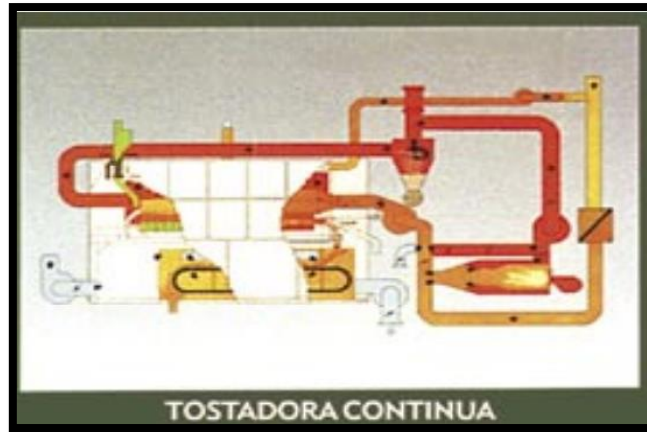
**Tabla 2.** Características del tipo de tostadoras de café continuas

Características. Tostadoras continuas				
Capacidad de máquina tostadora de café (kg)	Tiempo de tostado (minutos)	Temperatura de tostado (°C)	Color del grano (tipo de tueste)	Aportación de calor
5 hasta 600	5-6	300-400	Medio oscuro y oscuro	Convección

Fuente. Autor

Este tipo de máquinas tostadoras de café son usadas para producciones rápidas, y así tener una producción grande en cortos tiempos. Para esto requiere grandes caudales de aire a elevada temperatura, ya que no existe una acción de mezcla de los granos en proceso de tueste tan elevada como en los sistemas más tradicionales por cargas o tandas, por eso esa menor mezcla es compensada por una mayor acción del aire caliente soplado desde toberas a través del café situado en celdas. En este sistema no existe transferencia de calor por conducción, solo se transfiere por convección.





**Figura 10.** Tostadora continúa.

**Fuente.** (Solà, s.f.)

#### 4.1.5.3 Tostadoras para torrefacto

En la figura 11, se puede apreciar una planta industrial de tostado por torrefacto que sirve para el proceso de tostado del café. (INNOENVAS, s.f.)



**Figura 11.** Tostadora de café torrefacto.

**Fuente.** (INNOENVAS, s.f.)

El torrefacto utiliza un sistema de tueste esencialmente igual al tostado del café natural, pero con algunas variantes obligadas por la necesidad del añadido del azúcar o producto equivalente en la mitad del proceso. Estas tostadoras son una combinación de las del tipo tambor, pero con un sistema de aportación de aire caliente. Ello permite que en la primera fase de tueste del café verde se comporte como una turbo y en la fase de torrefacto como una tostadora de tambor. Existen en el proceso tres pasos diferenciados: (Solà, s.f.)

- a. Entra el café en el bombo y es llevado hasta una temperatura 20/30 grados por debajo de la de tueste.
- b. Se introduce el azúcar, sacarosa o jarabe de glucosa para ser mezclado y fundido alrededor de los granos de café. Este paso dura unos 4 minutos, durante el cual el aire circula por el exterior del bombo.
- c. Ultimo paso que se inicia con la caramelización del azúcar alrededor de cada grano. Aquí el aire caliente circula mayoritariamente por el interior del bombo y en menor cantidad por exterior, por contacto. En este paso puede introducirse agua para enfriar el producto.

Finalizado el proceso, de la misma características de los usados en el tueste natural, si se trata de un equipo de cargas pequeñas, o en un bombo cilíndrico para todo tipo de cargas. (Solà, s.f.)

#### 4.1.5.4 Tostadoras para un tueste mixto

En la figura 12 se muestra una máquina de tueste rápido para el proceso de café, se puede apreciar todas las partes que intervienen dentro de este tipo de máquina y su sistema de control. (Discaf, 2014)



**Figura 12** Máquina tostadora de café

**Fuente.** (Discaf, 2014)

Los tostadores grandes o medianos disponen normalmente de una instalación para el tostado del café natural y otra para el torrefacto, pero existen instalaciones mixtas para producciones más modestas.

Se trata de una variante de los equipos para tueste torrefacto, a los que se les ha incorporado un enfriador y ciertos elementos complementarios, que permiten además el tueste natural, siendo posible en un solo conjunto tostar café torrefacto y natural.

Esta versión permite, cuando se procesa café natural, eliminar la fase de incorporación del azúcar y finalizar el tueste como los equipos para el natural. (Discaf, 2014)

#### 4.1.5.5 Tostadoras para un tueste rápido

El tueste rápido abarca un tiempo sumamente corto, tiempo durante el cual los granos de café están expuestos al calor. En la figura 8 se puede observar las características de este tipo de máquina tostadora de café.

Un café tostado con un proceso rápido tiene un grano de mayor volumen, aumenta el contenido de grasa, de ácido, de extracto y humedad, perdiendo aproximadamente un 2% de peso. En este sistema la temperatura del aire alcanza los 600°C y el tiempo de tostado varía de 1 a 3 minutos.

**Tabla 3.** Características de las máquinas tostadoras de café con tueste rápido.

Características. Tostadoras rápidas				
Capacidad de máquina tostadora de café (kg)	Tiempo de tostado (minutos)	Temperatura de tostado (°C)	Color del grano (tipo de tueste)	Aportación de calor
5 hasta 600	1 a 3	600	oscuro	Convección

Fuente. (Infocafés, 2012)

#### 4.1.6 Temperatura y tiempo de tostado

La temperatura de tueste depende del tipo de máquina de tostar, del tiempo de tueste y de la intensidad del color final requerido. En una primera fase se seca la humedad del café y es la fase que influye menos en el gusto final. En una segunda fase se origina la expansión de las celdillas del grano de café y empieza la creación de los gases. La tercera fase debe ser más lenta pues es la que confiere básicamente el gusto final al producto. (Solà, s.f.)

Una vez que se alcanza el grado de tostado deseado, este proceso debe detenerse; ya sea con aire frío o con agua. La cantidad de agua utilizada para ello es crítica, ya que el café tiende a ganar peso porque absorbe agua. El proceso de tostado puede llevar de 7 a 30 minutos dependiendo del tipo de tostador.

Durante el proceso de tostado, las temperaturas que alcanzan los granos de café se encuentran por los 193 °C para un tueste claro, cerca de los 200 °C para un tueste medio, y cerca de los 218 °C para un tostado oscuro. Ya terminado el proceso de tostado, los granos pasan a bandejas de acoplamiento para enfriarse rápidamente y así detener el proceso cuando se desee. (Café punta del cielo, 2016)

#### **4.1.6.1 Métodos para medir la humedad en el café.**

Es esencial medir el café en sus diferentes etapas como son: (Café para siempre, 2013)

**Cosecha:** Evita el desarrollo de hongos y otros microorganismos que lo deterioren.

**Secado:** Al ser una operación que consume grandes cantidades de energía, es importante realizar mediciones periódicas para reducir los gastos.

**Almacenaje:** El café es higroscópico, es decir, absorbe y pierde humedad al estar expuesto al ambiente. En esta etapa se requiere medir periódicamente el contenido de humedad para prolongar su almacenaje seguro.

**Transportación:** Si el café tiene un alto contenido de humedad, su peso incrementara el costo de transportación.

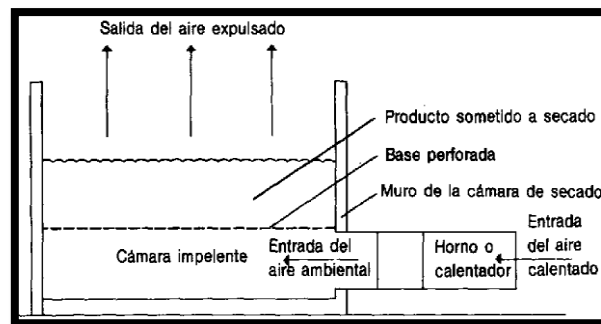
**Comercialización:** Si esta se realiza con base en su contenido de humedad, es importante una medición adecuada para un comercio equitativo.

Existen varios procesos para la medición de la humedad del grano de café, los más conocidos son: (Café para siempre, 2013)

**Secado de secado en horno.** Las muestras se pesan antes y después de secarlas en un horno. Este proceso requiere horas o días para su aplicación. El secado de granos se puede definir, según el enfoque se desee adoptar. En los estudios más teóricos se pone el énfasis en los mecanismos de transferencia de energía y de materia. Así, el secado se puede definir como un proceso en que hay intercambio simultaneo de calor y masa, entre el aire del ambiente de secado y los granos. En cambio, en los casos generales, se define el secado como la operación unitaria responsable de la reducción de contenido de humedad de cierto producto, hasta un nivel que se considera seguro para el almacenamiento de este.

Se entiende que es seguro un nivel de humedad por debajo del cual se reduce la actividad respiratoria de los granos y se dificulta el ataque de insectos y hongos dicho nivel varia con los

distintos tipos de granos, sin embargo, el nivel abarca una gama entre 10 y 14% de humedad expresada sobre base húmeda.



**Figura 13.** Secado de café mediante horno.

**Fuente.** (Deposito de documentos de la FAO, 2016)

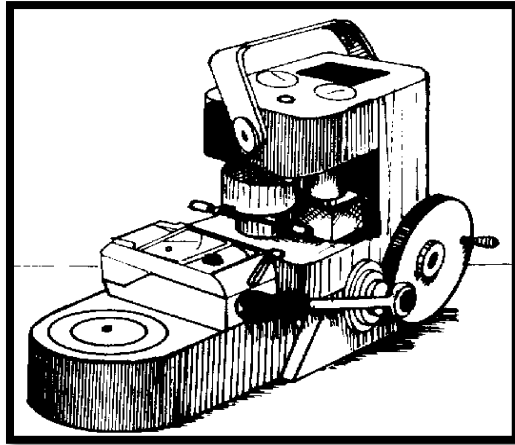
**Método Karl Fisher.** Se trata de una reacción química selectiva, a partir de la cual se determina la cantidad de agua presente en la muestra. Esta técnica es costosa y requiere personal técnico especializado para una correcta medición.



**Figura 14.** Método de Karl-Fischer

**Fuente.** (Rangel, 2010)

**Métodos eléctricos.** Relacionan una propiedad higrométrica (resistencia eléctrica) con el contenido de humedad. La relación entre la propiedad eléctrica y el contenido de humedad sólo es particular para cada tipo de grano. Los aparatos eléctricos son de gran utilidad durante el almacenamiento de los granos porque, periódicamente y con gran facilidad, se puede determinar su contenido de humedad



**Figura 15.** Medidor de humedad.

**Fuente.** (Deposito de documentos de la FAO, 2016)

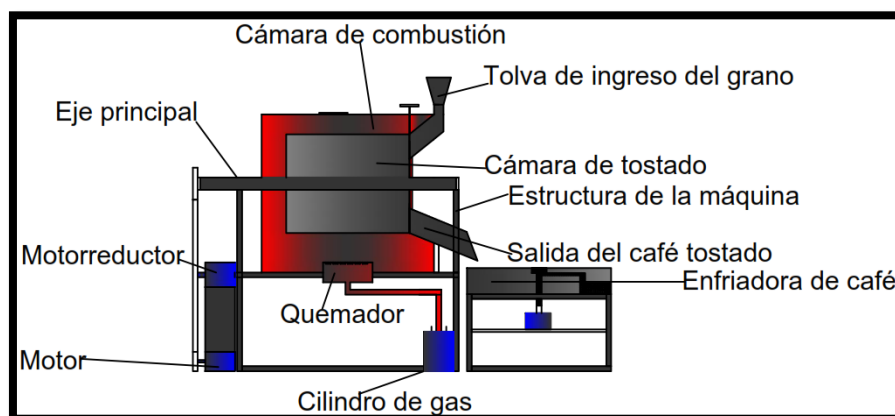
## 4.2 DISEÑO DE LA MÁQUINA

### 4.2.2 Diseño teórico de la tostadora-enfriadora de café

El diseño de la máquina tostadora básicamente debe de cumplir con las siguientes funciones: (Luis Lozada, 2009)

1. Calentar la cámara de tueste hasta la temperatura adecuada
2. Mantener una temperatura de tueste durante un tiempo establecido.
3. La máquina tostadora debe ser ergonómica.
4. La estructura debe proporcionar estabilidad a la tostadora.
5. La máquina debe tener un sistema eléctrico de mando

En la figura 16 se especifica un diagrama esquemático y las partes principales de la máquina tostadora para tener una idea más clara de la tostadora de café.



**Figura 16.** Diagrama esquemático de la máquina tostadora de café.

**Fuente.** Autor.

#### 4.2.2.1 Cámaras de tueste

El sistema se basa en un tambor giratorio montado sobre un eje que le transmite su movimiento, este tambor se sitúa dentro de una cámara de combustión donde se realiza la transferencia de calor por la circulación de aire caliente proveniente de los quemadores. (Lucas, 2011). Esta cámara de combustión se encuentra cubierta por medio de una capa de lana de vidrio, que impide la pérdida de calor a los alrededores.

## **Tambor rotatorio**

El tambor rotatorio está dentro de la cámara de tostado. Puede ser un cilindro de acero inoxidable AISI 304 que proporciona un volumen, un tiempo, una temperatura establecida y adecuada para el tipo de maquina a diseñar. (Luis Lozada, 2009). Son las más establecidas en el mercado. Gran parte del proceso de tostado se realiza por aire (convectivo) pero también por contacto con la superficie caliente (conductivo). (Solà, s.f.)

El cilindro tostador es construido a partir de una plancha de acero AISI 304, debido a que este material es un acero inoxidable austenítico el cual facilita la transferencia de calor y es ideal para la cocción de alimentos ver (Anexo A). Las dimensiones de la cámara de tostado son determinadas por la cantidad de producto a tostar.

## **Funciones del tambor de la tostadora**

A través de la tolva de llenado, el café es introducido por cargas. Para el calentamiento del producto, el aire de tueste circula tanto a través del tambor de tueste como también en torno al mismo. Así la energía calorífica se transfiere 1° por conducción por el contacto del grano con el tambor de tueste (aproximadamente 30%), y 2° por convección mediante corriente de aire dentro del tambor (aproximadamente 70%). (PROBAT, 2015)

- Contener el café.
- Tostar el café uniformemente mediante la rotación a una velocidad constante.
- Mantener la temperatura estable mediante un tiempo requerido
- Obtener las propiedades adecuadas del café.

## **Selección del espesor del cilindro.**

Como ya se mencionó anteriormente el acero para el cilindro de tueste es el AISI 304 el cual tiene las siguientes propiedades mecánicas como se puede observar en la tabla 4.



**Tabla 4.** Propiedades de algunos metales

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente $m$	Resistencia a la fractura $\epsilon_f$
			Fluencia $S_y$ MPa (kpsi)	Última $S_u$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_b$ MPa (kpsi)	Coefficiente $\sigma_b$ MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>f</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>f</sup>	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>f</sup>	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) <sup>f</sup>	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) <sup>f</sup>	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) <sup>f</sup>	1 410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) <sup>f</sup>	1 270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>f</sup>	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>f</sup>	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>f</sup>	882 (128)	0.13	0.18	

Fuente. (Nisbett, s.f.)

Con estas propiedades del acero se puede realizar la selección de la plancha para el diseño de la máquina tostadora de café. En la tabla 4 se puede obtener la resistencia a la fluencia y la resistencia última a la fractura del acero AISI 304.

Considerando a la cámara de tostado como un cilindro de pared delgada los esfuerzos que provoca el café en el cilindro son el esfuerzo circunferencial y el esfuerzo longitudinal.

Para comprobar que los datos del diseño no sobrepasen los esfuerzos del acero AISI 304 según la tabla 4. Se puede realizar un análisis con los diámetros de la tabla 5 mostrada a continuación para poder seleccionar el espesor más factible o realizar un análisis sobre los espesores más usados en los diseños de máquinas tostadoras de grano.

**Tabla 5.** Espesores a escoger de la plancha, para el cilindro tostador de café.

<b>ESPESOR</b>	<b>RAZÓN</b>
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.

Fuente. (Rocha, 2014)

Para la selección del espesor de la plancha del cilindro que se va a usar en un diseño del tambor de tostado de café, se tiene en cuenta las características del café de granos secos como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** Densidades aparentes de productos agrícolas solidos

<b>DENSIDADES APARENTES.</b>	
<b>Productos Agrícolas sólidos</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cacao (granos secos)	635
Café (granos secos)	450
Cebada	550-690
Maíz, granos	700-820
Soja, granos	720-800
Trigo	740-840
Harina	500-800

Fuente. (Departamento De Agricultura, s.f.)

Con los datos que obtenga se calcula el volumen que ocupara el café en el cilindro.

Teniendo en cuenta que se conoce la densidad y la masa requerida se puede reemplazar los valores y obtener el resultado del volumen a ocupar.

Ahora conociendo el volumen que ocupara el café en el tambor, el siguiente paso es calcular el volumen que debe tener el tambor para contener el producto, teniendo en cuenta que para

que el tostado de café sea garantizado, el tambor no debe sobrepasar la capacidad del 50% de su volumen total. (Rocha, 2014)

El valor del volumen total servirá para poder dimensionar el cilindro de la máquina tostadora de café.

Se debe considerar también que el cilindro es de pared delgada y se puede calcular la presión interna que soporta a causa del café.

Se obtiene el valor de la presión con la que opera la máquina, y por motivos de diseño, ese valor se multiplica por un factor de seguridad (mailxmail, 1995) para conseguir el valor de la presión de diseño obteniendo el valor del diseño  $\frac{N}{m^2}$ .

**Tabla 7.** Factores de seguridad que involucran aspectos de control y calidad

Calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección	Exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o experiencias en diseños similares	Control sobre la carga aplicada			
		MB	B	R	M
MB	MB	1,1	1,3	1,5	1,7
	B	1,2	1,45	1,7	1,95
	R	1,3	1,6	1,9	2,2
	M	1,4	1,75	2,1	2,45
B	MB	1,3	1,55	1,8	2,05
	B	1,45	1,75	2,05	2,35
	R	1,6	1,95	2,3	2,65
	M	1,75	2,15	2,55	2,95
R	MB	1,5	1,8	2,1	2,4
	B	1,7	2,15	2,4	2,75
	R	1,9	2,3	2,7	3,1
	M	2,1	2,55	3,0	3,45
M	MB	1,7	2,15	2,4	2,75
	B	1,95	2,35	2,75	3,15
	R	2,2	2,65	3,1	3,55
	M	2,45	2,95	3,45	3,95

Fuente. (mailxmail, 1995)

## Cámara de tostado.

### Transferencia de calor en cilindros.

#### Conducción a través de un cilindro hueco

Considere el cilindro hueco de la figura 17, cuyas superficies externa e interna se exponen a fluidos de diferente temperatura. Hace más de un siglo Fourier propuso que la relación entre el flujo de calor y el gradiente de temperaturas es de carácter lineal. (Conducción, s.f.)

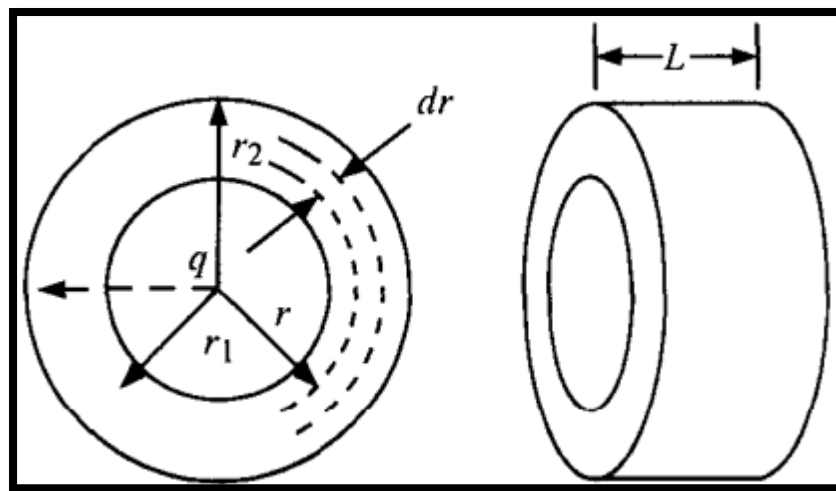


Figura 17. Cilindros transferencia de calor.

Fuente. (Lucas, 2011)

La cámara de tostado mantiene el calor permitiendo que el café se tueste.

#### 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 café se tueste.

#### Cálculo de temperaturas, espesores y energías de la cámara de tostado.

El análisis de transferencia de calor por conducción unidireccional en estado estable sirve para encontrar las temperaturas superficiales y los espesores adecuados de cada cilindro. (Rocha, 2014)

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.

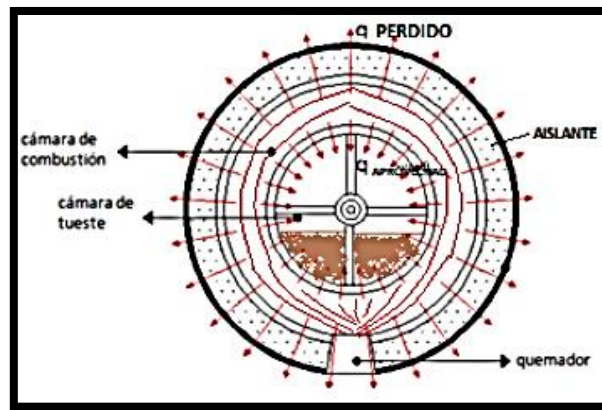


Figura 18. Flujos de calor en el proceso.

Fuente. (Rocha, 2014)

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

En la figura 19 están representados los distintos elementos que intervienen en el flujo de calor perdido a los alrededores.

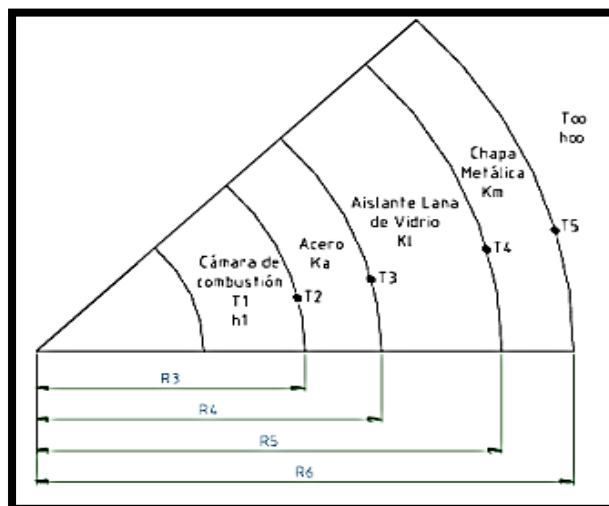
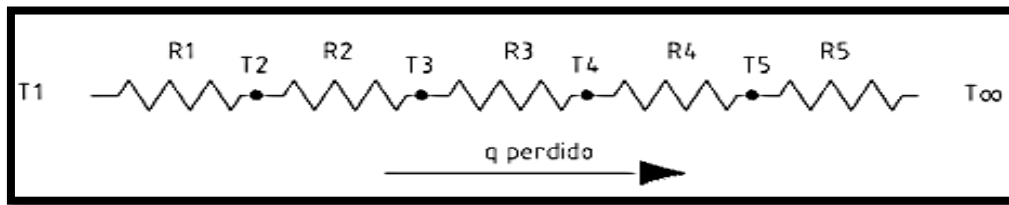


Figura 19. Capas externas del cilindro tostador.

Fuente. (Rocha, 2014)

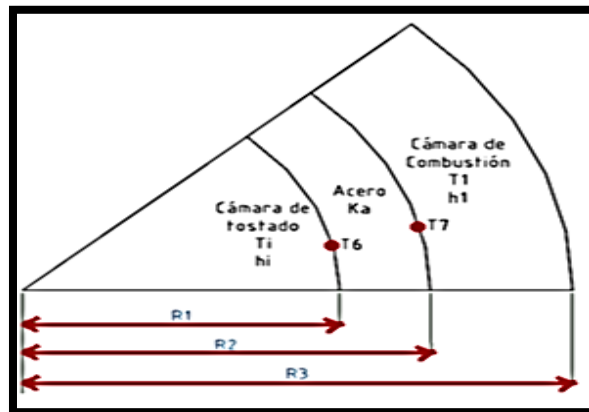
Para entender cómo se transfiere el flujo de calor hacia el exterior del cilindro tostador se esquematiza un circuito térmico, igual a la representación de la figura 20.



**Figura 20.** Circuito térmico del calor perdido.

**Fuente.** (Rocha, 2014)

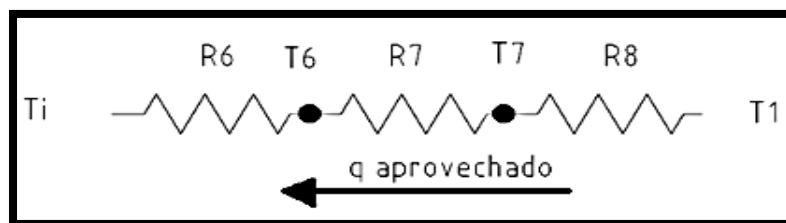
La figura 21 muestra el flujo de calor aprovechado y los elementos de la máquina que interactúan.



**Figura 21.** Capas internas de la cámara de combustión.

**Fuente.** (Rocha, 2014)

Para entender cómo se transfiere el flujo de calor en la cámara de tostado se esquematiza un circuito térmico, tal como se representa a continuación en la figura 22.



**Figura 22.** Capas internas desde la cámara de combustión.

**Fuente.** (Rocha, 2014)

Para calcular el calor aprovechado y perdido es necesario calcular las diferentes temperaturas, para esto es necesario calcular el flujo másico del café en la tostadora.

Al obtener el valor del flujo másico del café y con el calor específico a presión constante, se encuentra la energía que se utiliza para tostar el café desde la temperatura ambiente de la provincia de Loja, que fluctúa entre 16°C y 22°C, con una temperatura diaria aproximadamente de 17°C (Halberstadt, 1997-2015). Hasta la temperatura necesaria para el tostado.

#### **4.2.2.2 Quemadores**

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión, es decir que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.

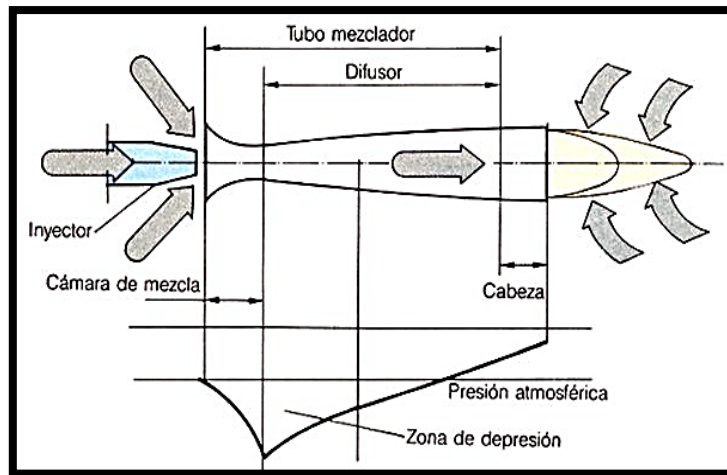
A continuación se describen los quemadores para combustibles líquidos y gaseosos, ya que los combustibles sólidos se queman sobre parrilla, o requieren un tratamiento previo del combustible, unido a quemadores de diseños especiales. (Luis Lozada, 2009, pág. 184)

Por la forma en que toman el aire de combustión se distinguen dos tipos de quemadores:

- Quemadores atmosféricos.
- Quemadores mecánicos.

#### **Quemadores atmosféricos.**

Los quemadores atmosféricos únicamente se emplean para combustibles gaseosos. Una parte del aire necesario para la combustión (Aire Primario) se induce en el propio quemador por el chorro de gas salido de un inyector (efecto Venturi); el aire restante (Aire Secundario) se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama. En este tipo de quemadores se tienen combustiones con altos índices de exceso de aire, en la figura 23 se puede observar el esquema del quemador atmosférico. (Luis Lozada, 2009)



**Figura 23.** Esquema de un quemador atmosférico.

**Fuente.** (Luis Lozada, 2009)

La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo coste. Aunque se pueden fabricar para potencias unitarias altas (unos 1200kW), los empleados habitualmente en climatización no superan los 300kW.

La energía de activación se logra mediante llama piloto, que debe estar permanentemente encendida, o con encendidos automáticos (electrónicos, tren de chispas, etc.) la regulación del gas se obtiene por variación de la presión en el inyector (abriendo y cerrando progresivamente la válvula de gas); esto permite que el quemador pueda ser modulante con relativa facilidad.

La regulación del aire (con gas a presión constante) se puede conseguir:

- Variando la sección de entrada de aire, por obturación de los orificios por donde entra, mediante discos roscados, anillo móvil o capuchón deslizante.
- Por deslizamiento de la boquilla del inyector respecto del Venturi.

### **Funcionamiento del quemador atmosférico.**

El funcionamiento es como se explica a continuación:

El gas sale por el inyector con una velocidad determinada y se introduce por la sección A del cono de admisión del quemador. La velocidad que lleva el fluido hace que se produzca una disminución de la presión estática (un pequeño vacío) y dado que el aire que rodea la zona está a presión atmosférica se va a ver obligado a pasar por el cono de admisión del quemador. Este fenómeno se ve incrementado por la forma del quemador ya existe una disminución de sección



(Venturi) que hace que aumente la velocidad del fluido admitido y con ello disminuye aún más la presión estática intensificando la admisión de aire por la sección A del cono de admisión. (Ruiz C. A., s.f)

La cantidad de aire primario que se introduce con el gas debe ser el adecuado para que la combustión sea correcta y no se produzcan problemas como el desprendimiento o retorno de llama. El diseño del quemador e inyector es fundamental para conseguir la pre mezcla adecuada.

Una vez que el aire primario y el gas pasan el Venturi deben mezclarse íntimamente, esto se produce gracias al diseño de la trompetilla, que también facilita que esta mezcla se reparta de forma adecuada por cada ranura de la corona, formándose así las llamas de pequeño tamaño. Los quemadores de pre mezcla permiten obtener:

- Una llama de color azul y pequeño tamaño, haciendo posible cámaras de combustión más pequeñas y calderas más compactas.
- Temperatura de gases de combustión muy alta lo que permite un elevado rendimiento.
- Combustión muy limpia: con baja producción de hollín (inquemados) y casi nula formación de monóxido de carbono.

### **Encendido del quemador.**

Según (Ruiz C. A., s.f) El quemador está formado por subunidades denominadas becks o trompetillas. En la corona de cada uno de estos elementos se forman varias llamas de pequeño tamaño y todas juntas forman la llama total. El encendido adecuado del quemador requiere que todas estas llamas de pequeño tamaño se formen y que no se produzca salida y acumulaciones de gas sin quemar, que pudieran producir una deflagración.

Para encender la mezcla se utiliza una fuente de energía que permite superar el punto de ignición. En calderas los sistemas más utilizados son la llama piloto y el tren de chispas. Estos elementos de encendido se sitúan generalmente en la zona central del quemador y por lo tanto en primer lugar se encenderá el beck situado en esa posición. Encendido el Beck central sus llamas entran en contacto con el gas de los becks que están a su lado de forma que estos se encenderán también; estos a su vez encenderán a los contiguos y así sucesivamente. Este tipo de encendido se denomina por simpatía. (Ruiz C. A., s.f)

Obviamente es preciso que el tiempo que transcurre entre el encendido del beck central y los últimos debe ser el más corto posible. Si el encendido completo no se produce en unos cuatro segundos el sistema de seguridad de la caldera suele bloquear el paso de gas al quemador para evitar acumulación de los mismos y posibles riesgos de deflagración.

Beck: los quemadores atmosféricos de gas se dividen en múltiples unidades que llamamos becks o trompetillas, que unidas forman la parrilla. La razón para dividir el quemador en subunidades es que este, para funcionar, requiere la formación de diversas llamas de pequeño tamaño y esto sucede en las ranuras que poseen en la parte superior cada uno de los becks. (Ruiz C. A., s.f)

#### **4.2.2.3 Aislamiento térmico**

El aislamiento térmico se utiliza en la industria desde la iniciación de la era industrial, aunque el desarrollo se produjo a partir de la segunda década del siglo XX. Las razones para la utilización del aislamiento térmico son, fundamentalmente: (Salvador Escoda S.A, 2010)

- a) Necesidades del proceso, ya que deben evitarse transferencias térmicas que disfuncionen el proceso por diferencias de temperaturas no admisibles.
- b) Seguridad de las personas y bienes. Si no existe aislamiento térmico suficiente, las temperaturas superficiales externas pueden ser elevadas y provocar lesiones y accidentes en las personas. En el límite, producir efectos de combustión e incendio en materiales combustibles próximos a estas superficies.
- c) El aislamiento térmico reduce las pérdidas energéticas, de tal modo que estas pueden llegar a ser un 2 al 3% de las pérdidas energéticas sin aislamiento. Es con mucho el mejor método de ahorro de energía conocido, permitiendo la amortización del material aislante instalado en periodos de tiempo muy bajos, por ejemplo, algunas semanas.
- d) La reducción de la contaminación ambiental. La mayor parte de la energía que se utiliza en los procesos térmicos procede de la transformación de un combustible por reacción exotérmica del mismo con el oxígeno ambiental.
- e)  $CO_2$  y el efecto invernadero. El dióxido de carbono es un gas incoloro e incombustible, representando el más alto porcentaje de e fluyentes atmosféricos en los procesos de combustión.

- f)  $SO_2$  y la lluvia acida. El dióxido de azufre emitido a la atmosfera por las combustiones de algunas fuentes energéticas primarias, es mucho menor en cantidad que el  $CO_2$ , pero sus valores anuales globales son importantes y sus consecuencias también muy graves.
- g) Aislamiento térmico para reducir la contaminación ambiental. Dado que consumo de energía y contaminación ambiental están unidos, se podría reducir la contaminación si se aplicara la conocida máxima: la energía que menos contamina es la que no se consume.

### **Composición del vidrio.**

Se elabora partiendo de tres elementos principales: (Salvador Escoda S.A, 2010)

- Un vitrificante, sílice en forma de arena.
- Un fundente, para conseguir que la temperatura de fusión sea más baja (carbonato de sodio y sulfato de sodio y potasio).
- Estabilizantes, principalmente carbonato de calcio y magnesio (dolomía), cuya misión es conferir al vidrio una elevada resistencia a la humedad, ya que presenta una gran superficie de ataque para los agentes exteriores.

Por otra parte, los límites de temperatura impuestos por la estabilidad de las aleaciones que componen los aparatos de fibra obligan a trabajar el vidrio a temperaturas sensiblemente más bajas que los vidrios clásicos.

### **Propiedades térmicas.**

Un material aislante se caracteriza por el valor de su conductividad térmica; su poder aislante es tanto más elevado cuanto más pequeña es su conductividad.

La lana de vidrio es un material compuesto. El fieltro, que se forma en la cadena, está constituido por fibras entrecruzadas desordenadamente, que impiden las corrientes de convección del aire. Es evidente que la conductividad térmica del fieltro será no una conductividad solida real, sino una conductividad aparente y que será el balance de los efectos conjugados de varios procesos de cambios de calor, que vamos a tratar de analizar a continuación: (Salvador Escoda S.A, 2010)

- a) El aire inmovilizado por la red de fibras, es un volumen proporcionalmente importante; por tanto, una parte de la transmisión de calor se hará por convección.

- b) Las fibras, en contacto unas con otras, permiten la transmisión de calor por conducción.
- c) Finalmente, las fibras intercambian energía entre sí, por radiación.

La relativa importancia de estas formas distintas de cambio de calor dependen, a igualdad de temperatura en el ambiente, de:

- El diámetro de las fibras.
- La densidad aparente del producto.

La conductividad térmica resulta, en la práctica, de la combinación de la transmisión gaseosa y de la radiación; siendo despreciables las otras dos.

#### **4.2.2.5 Pasos del sistema motriz para la máquina**

Es el encargado de dar movimiento de rotación a la cámara de tueste. Constituido principalmente por (Luis Lozada, 2009)

- Moto reductor
- Eje
- Rodamientos

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

#### **Motor**

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

#### **Funciones del motor**

Mover el eje

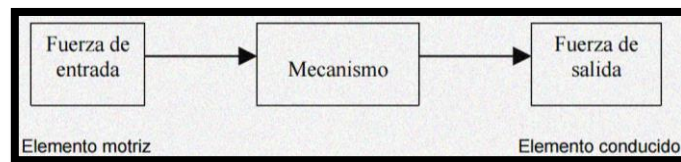
suministrar la potencia de giro para mezclar el producto

## Selección del motor

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

## Transmisión de movimiento

Un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento producido por un elemento motriz (fuerza de entrada) en un movimiento deseado de salida (fuerza de salida) llamado elemento conducido. (Iesvillal bahervas tecnología, 2008). En la figura 24 se observa de mejor manera con un diagrama cómo funciona el sistema de transmisión.



**Figura 24.** Diagrama de transmisión

**Fuente.** (Iesvillal bahervas tecnología, 2008)

## Mecanismos de transmisión de movimiento.

Como su nombre lo indica, transmite el movimiento desde un punto hasta otro distinto, siendo en ambos casos el mismo tipo de movimiento. Se observa a su vez, dos tipos: (Iesvillal bahervas tecnología, 2008)

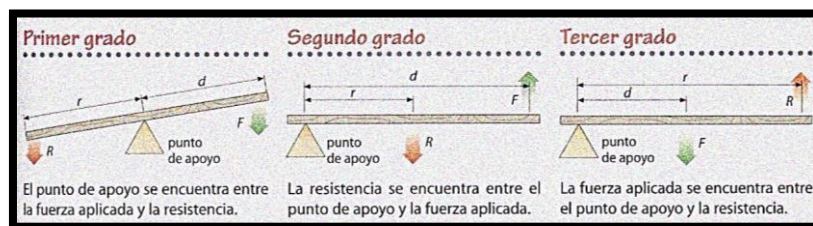
1. Mecanismos de transmisión lineal: en este caso, el elemento de entrada y el de salida tienen movimiento lineal.
2. Mecanismos de transmisión circular: en este caso, el elemento de entrada y salida tienen movimiento circular.

## Tipos de mecanismos de transmisión de movimiento lineal y circular.

- a. Palanca: Mecanismo de transmisión lineal.
- b. Sistema de poleas: Mecanismo de transmisión lineal.
- c. Sistema de poleas con correa: Mecanismo de transmisión circular.
- d. Sistema de ruedas de fricción: Mecanismo de transmisión circular.
- e. Sistema de engranajes: Mecanismo de transmisión circular.

## Palanca

Es un sistema de transmisión lineal. La palanca es una barra rígida en torno a un punto de apoyo o articulación. En un punto de la barra se aplica una fuerza  $F$  con el fin de vencer una resistencia  $R$ . La ley de la palanca se expresa como: Una palanca está en equilibrio cuando el producto de la fuerza  $F$ , por su distancia  $d$ , al punto de apoyo es igual al producto de la resistencia  $R$  por su distancia  $r$ , al punto de apoyo tal como se muestra a continuación. En la figura 25 se observa de manera gráfica los grados que existen en el sistema de transmisión lineal, palanca.



**Figura 25.** Sistema de transmisión lineal, palanca.

**Fuente.** (Iesvillal bahervas tecnologia, 2008)

## Sistema de poleas

Una polea es una rueda con una ranura que gira alrededor de un eje por la que se hace pasar una cuerda que permite vencer una resistencia  $R$  de forma cómoda aplicando una fuerza  $F$ . De este modo podemos elevar pesos hasta cierta altura. Es un sistema de transmisión lineal, pues el movimiento de entrada y salida es lineal.

Se tiene tres casos:

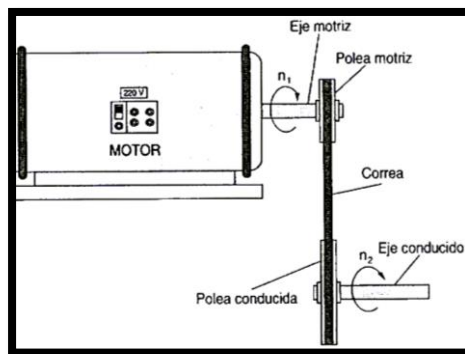
- Polea fija:** La polea fija, como su nombre indica consta de una sola polea fija a algún lugar.
- Polea móvil:** Es un conjunto de dos poleas, una de las cuales es fija y la otra es móvil. En una polea móvil la fuerza  $F$  que debo hacer para vencer una resistencia  $R$  se reduce a la mitad.
- Polipasto:** Es un tipo de polea móvil con un número par de poleas, la mitad son fijas y la otra mitad son móviles.

## Sistema de poleas con correa.

Se trata de dos ruedas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto de una correa. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. En la figura 26, 27 se aprecia de mejor manera tanto el sistema reductor de velocidad como el sistema multiplicador de velocidad respectivamente.

Según el tamaño de las poleas se tiene dos tipos:

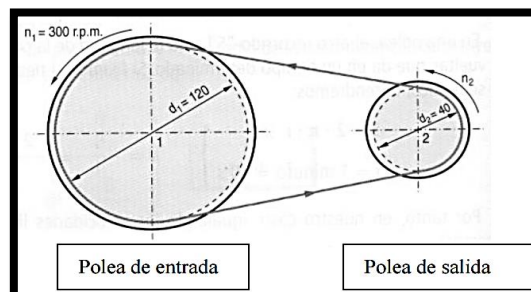
1. Sistema reductor de velocidad: en este caso, la velocidad de la polea conducida es menor que la velocidad de la polea motriz. Esto se debe a que la polea conducida es mayor que la polea motriz.



**Figura 26.** Reductor de velocidad.

**Fuente.** (Iesvillal bahervas tecnologia, 2008)

2. Sistema multiplicador de velocidad: en este caso, la velocidad de la polea conducida es mayor que la velocidad de la polea motriz. Esto se debe a que la polea conducida es menor que la polea motriz.



**Figura 27.** Multiplicador de velocidad.

**Fuente.** (Iesvillal bahervas tecnologia, 2008)

La velocidad de las ruedas se mide normalmente en revoluciones por minuto rpm o vueltas por minuto. Se define como la relación de transmisión ( $i$ ) con la relación que existe entre la velocidad de la polea de salida ( $n_2$ ) y la velocidad de la polea de entrada ( $n_1$ ).

### **Transmisión por engranajes.**

Los engranajes son ruedas dentadas que encajan entre sí, de modo que, unas ruedas transmiten el movimiento circular a la siguiente. El tamaño de los dientes de todos los engranajes debe ser igual.

Los engranajes giran de modo que, los más pequeños giran a mayor velocidad, de modo similar al caso del sistema de poleas con correa. En este caso, en lugar de tener en cuenta el diámetro de la polea, se tiene en cuenta el número de dientes de cada rueda.

Los engranajes tienen la ventaja de que transmiten movimiento circular entre ejes muy próximos y además transmiten mucha fuerza (por que los dientes no deslizan entre sí), al contrario que con el sistema de poleas con correa.

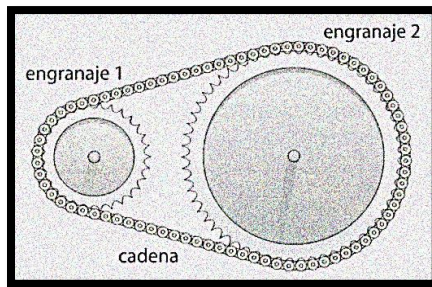
Normalmente el engranaje se le llama rueda y al menor piñón. Al igual que el sistema de poleas con correa, hay dos tipos de sistemas de transmisión por engranajes:

- a) Reductor: el piñón es el engranaje motriz y la rueda es el engranaje conducido. En este caso, la velocidad de salida es menor que la velocidad de entrada.
- b) Multiplicador: El piñón es el engranaje conducido y la rueda es el engranaje motriz. En este caso, la velocidad de salida es mayor que la velocidad de entrada.

### **Engranajes con cadena.**

Este sistema de transmisión consiste en dos ruedas dentadas de ejes paralelos, situadas a cierta distancia la una del otro, y que giran a la vez por efecto de una cadena que engrana a ambas. En el mecanismo que emplean las bicicletas. En la figura 28 se observa como es el sistema de transmisión por cadenas.



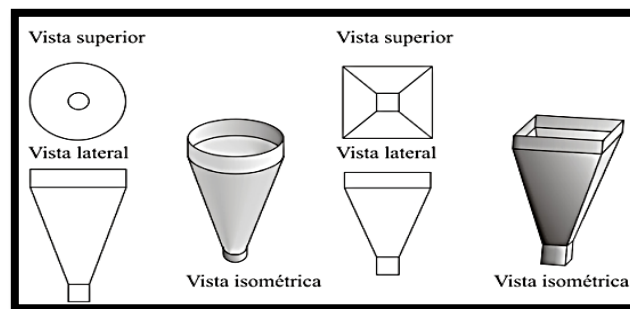


**Figura 28.** Transmisión por cadenas.

**Fuente.** (Iesvillal bahervas tecnologia, 2008)

#### 4.2.2.4 Tolvas de alimentación y salida

**Tolva:** La tolva es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difíciles de construir que las de sección rectangular. Ver figura 29.



**Figura 29.** Tipos de tolvas

**Fuente.** (M. Beltrán)

#### 4.2.2.5 Sistema eléctrico de mando

El sistema eléctrico de mando puede estar constituido por cables de acometida, sistema de control como pueden ser (pulsadores, luz piloto, termostato, etc.), sistema de protección del motor, motor monofásico, conjunto eléctrico de combustión (ignitor, electroválvula de seguridad y termostato). (Luis Lozada, 2009)

Los principales componentes de un sistema de mando eléctrico pueden ser: (Luis Lozada, 2009)

### **Electroválvula de seguridad.**

El paso de GLP se puede controlar con una válvula que realiza múltiples funciones:

- Válvula on/off controlada por el termostato
- Regulación de la presión del gas en los quemadores.
- Control de chispa del ignitor y operación normal
- La electroválvula consta de una entrada y salida para el gas, además de terminales para conexiones eléctricas.

### **Ignitor.**

El ignitor eléctrico no es más que un electrodo el cual proporciona la chispa para que se pueda encender la llama en los quemadores.

### **Termostato**

Constituye un componente de mucha utilidad en el sistema de combustión porque de él depende el control de temperatura deseada en la cámara de tueste ya que este permite y regula el paso de GLP a los quemadores. Otra función del termostato es controlar el ignitor para encender los quemadores.

### **Contactores.**

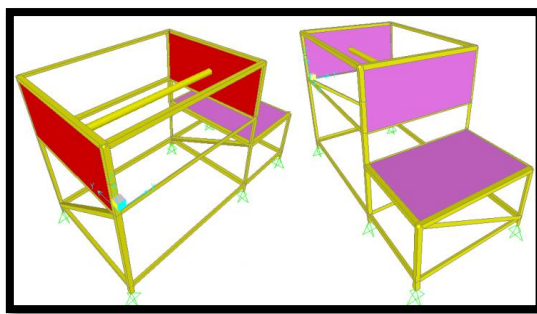
Los contactores son elementos eléctricos que funcionan como interruptores con la ayuda de una bobina que hace que se conecte la fase.

### **Térmicos y fusibles.**

Los fusibles son protecciones eléctricas que limitan el paso de corriente eléctrica dentro de un rango establecido.

#### **4.2.2.6 Estructura de sustentación**

El diseño de armazones para máquinas es en gran medida un arte ya que requiere de acomodar los componentes de la máquina, pudiendo colocar los soportes necesarios dejando espacios para el montaje y el acceso al mantenimiento como se aprecia en la figura 30. (Zúñiga., 2015)



**Figura 30.** Estructura de bastidor de máquina tostadora de café.

**Fuente.** (Lucas, 2011)

### **Requisitos Técnicos.**

Existen requisitos técnicos que deben ser satisfechos para el diseño, de la estructura; dentro de los parámetros de diseño más importantes están los siguientes: (Zúñiga., 2015)

1. Resistencia: deberá resistir a todos los esfuerzos de tracción y de corte con el fin de evitar rupturas en el armazón
2. Aspecto: deberá verse bien a los ojos, la estética es muy importante.
3. Resistencia a la corrosión: debe de utilizarse materiales que soporten la corrosión por muchos años, para así expandir su vida útil tomando en cuenta aspectos específicos sobre el clima y el lugar donde esta va a operar.
4. Tamaño: el tamaño deberá ser el adecuado al componente de máquina o máquina que será cubierta.
5. Atenuar la vibración: la estructura deberá impedir la vibración de los componentes que están dentro de esta, pues la vibración altera el funcionamiento correcto de las partes y puede ocasionar la ruptura de la misma estructura o de los compontes o partes instaladas sobre la armazón.
6. Rigidez: la estructura deberá ser rígida para conseguir la protección del ser humano y de las mismas partes. Que al manipular la estructura o ya en funcionamiento la máquina, esta armazón no sufra deformaciones.
7. Costos de fabricación: el costo es muy importante debido a que un diseño muy caro es poco rentable, y al contrario, un diseño muy barato pone en duda la calidad.
8. Peso: el peso de la estructura es un factor importante porque puede afectar la eficiencia del diseño de una máquina y hasta de poder manejarla. Pesos bajos no serían los recomendables para esfuerzos de tracción y corte muy altos. Pesos altos no serían recomendables para su manejo o instalación.

9. Reducción de ruido: cuanto menos ruido mejor será para los operarios de las máquinas y en general de todas las personas, ya que hay leyes que regulan la cantidad de sonido que una empresa pueda emitir:
10. Vida útil: depende de algunos factores anteriores descritos y al final de todo es el más importante, pues el diseño y fabricación correctos da como resultado una larga vida útil total de la máquina, ya que el diseñar armazones o partes que tengan una excesiva duración indica que aumentara el costo, y al final no se le sacara provecho a esta inversión.

#### **Factores a tomar en cuenta:**

Antes de iniciar un proyecto de diseño de una estructura, se debe tomar en consideración los siguientes factores:

1. Fuerzas que ejercen los componentes de la máquina a través de los puntos de montaje como cojinetes, pivotes, abrazaderas y bases de otros elementos mecánicos.
2. Manera en que se va a soportar la propia estructura
3. Precisión del sistema; deflexión permisible de los componentes
4. Cantidades que se van a producir e instalaciones disponibles
5. Disponibilidad de herramientas analíticas como análisis de tensiones por computadora y análisis experimental de tensiones
6. Relaciones con otras máquinas, muros y demás

#### **4.2.2.7 Enfriadores de café.**

El enfriador se produce por aire forzada de aire tratado (enfriado artificialmente por un equipo de aire acondicionado), a través de la masa de grano; el aire puede ser insuflado o aspirado por un ventilador; conducido a la masa de granos por intermedio de ductos de distribución. La eficiencia de la aireación es debida, en gran parte, a la homogeneidad de la distribución de aire. El fenómeno simple de la aireación de granos es posible por ser la masa de granos un material “poroso”, no compacto; el volumen total ocupado por el grano presenta cierto porcentaje de vacíos intersticiales a través de los cuales el aire puede circular. Cada tipo de grano se caracteriza por un coeficiente de porosidad, comprendido entre 10 y el 45%, dependiendo de la naturaleza del grano, la forma el contenido de humedad y la compactación, haciendo más o menos se pueda ventilar la masa de granos; estos exigen cuotas de energía diferentes según sea

el caso, a fin de vencer las pérdidas de carga o contrapresión ocasionadas por la resistencia del producto a la circulación del aire forzado. (Julio E. Ospina M., 1985)

¿Que son enfriadores de granos?

El ingreso de aire en los silos y galpones es realizado generalmente a través de ventiladores que captan el aire a temperatura ambiente y humedad relativa actual, y los distribuye mediante canales y ductos en el interior del silo. Los enfriadores de granos han sido diseñados para entregar aire refrigerado a la temperatura necesaria para el proceso de enfriamiento satisfactorio dentro del silo. Las máquinas enfriadoras de granos de café tostado tienen la capacidad de enfriar los granos de manera muy fácil y veloz. La carga es directa desde el tostador, contiene paletas para así mover de manera giratoria el café por varios minutos hasta alcanzar una temperatura ambiente, equipado con un sistema completo para la extracción de gases y películas residuales, este sistema es por ingreso de aire frío y accionado por rotación de paletas. Como se ilustra en la figura 31.



**Figura 31.** Enfriador de café.

**Fuente.** (Micro Industrias, 2016)

## **4.3 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN**

### **4.3.1 Autómatas Programables**

El PLC es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos. Es importante conocer sus generalidades y lo que un PLC puede hacer por tu proceso, pues podrías estar gastando mucho dinero en mantenimiento y reparaciones, cuando estos equipos te solucionan el problema y se pagan solos (ABC Electronics, 2016)

#### **Campos de aplicación del PLC**

Según (ABC Electronics, 2016) en la actualidad el campo de aplicación de un PLC es muy extenso. Se utilizan fundamentalmente en procesos de maniobras de máquinas, control, señalización, etc.

La aplicación de un PLC abarca procesos industriales de cualquier tipo y ofrecen conexión a red; esto te permite tener comunicado un PLC con una PC y otros dispositivos al mismo tiempo, permitiendo hacer monitoreo estadísticas y reportes.

#### **Ventajas del PLC**

De acuerdo con (ABC Electronics, 2016) Hablar sobre las ventajas que ofrece un PLC es un tema largo, pero a continuación se mencionarán unas de las más importantes:

- Ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, principalmente por su variedad de Modelos existentes.
- Menor tiempo empleado en su elaboración.
- Podrás realizar modificaciones sin cambiar el cableado.
- La lista de materiales es muy reducida.
- Mínimo espacio de aplicación.
- Menor costo.
- Mantenimiento económico por tiempos de paro reducidos.

## **Programación de un PLC**

De acuerdo con (Dahl-Skog, 2012) un programa de computadora es un conjunto de instrucciones que producirán la ejecución de una determinada tarea. En esencia, un programa es una respuesta predeterminada, a todas las posibles combinaciones de estados de la información que recibe.

El proceso de programación de un PLC es, por consiguiente, un proceso, donde se requiere cada uno de los siguientes pasos:

1. Definición y análisis del problema.

Este es el paso más importante. Tener claridad de que se necesita.

- 1.1 ¿Qué resultados debe proporcionar el sistema? Que salidas, sobre que debe actuar.

- 1.2 ¿Qué datos se necesitan para determinar el resultado? Que debe medir o vigilar (entradas).

- 1.3 ¿Cómo debe reaccionar ante perdida de información? Como debe de reaccionar si no puede medir variables que necesita vigilar. (SIL)

- 1.4 ¿Cómo debe reaccionar ante fallas de sí mismo? Capacidad de auto diagnostico (SIL).

2. Definición de la arquitectura del hardware necesario (entradas/salidas, redundancia, auto diagnóstico, etc.)

3. Diseño de los algoritmos.

4. Programación del código, en los lenguajes de programación.

5. Depuración y verificación del programa (pruebas efectivas).

### **¿Qué es un algoritmo?**

Según (Dahl-Skog, 2012) Un algoritmo es una secuencia de pasos (instrucciones o reglas) para llevar a cabo una tarea específica.

Los algoritmos son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan como de la máquina que los ejecuta. Diseñar un algoritmo es diseñar un método de toma de decisiones.

Las características fundamentales que debe cumplir todo algoritmo son:

- La definición de un algoritmo debe describir tres partes: entrada, proceso y salida.

- Un algoritmo debe ser preciso e indicar el orden de realización de cada paso.
- Un algoritmo debe estar definido. Ante las mismas condiciones de entradas, siempre debe obtenerse el mismo resultado.
- Un algoritmo debe ser finito. Debe de tener un número finito de pasos. (en ninguna situación se puede quedar “pensando” en un ciclo infinito).

Todo programa de computador es un conjunto de algoritmos.

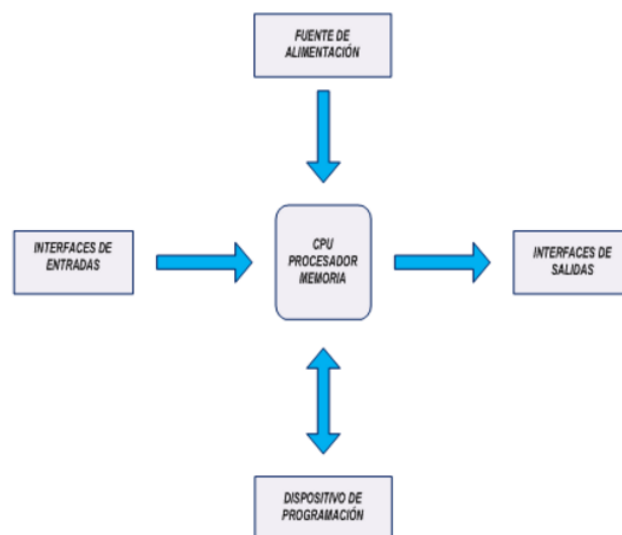
#### 4.3.2 ¿Qué es un siemens logo!?

Según (LOGO, 2014) Es un módulo lógico, es decir, un controlador programable que permite que sin intervención humana, las máquinas hagan un trabajo. Pero la palabra clave e importante es programable, que no programado. Por tanto es necesario programar el LOGO!

Básicamente funciona de la siguiente manera: al LOGO! Le vas a dar como datos de entrada una serie de señales, las cuales van a ser procesadas en el programa, y el LOGO! Va a dar unos datos de salida.

Esto en el mundo real se traduce en unos pulsadores, manetas, sensores etc. (datos de entrada), un procesamiento en el LOGO! Y una activación o no de salidas de relé (datos de salida).

En la figura 32 se observa la estructura de un autómata programable.




**Figura 32.** Estructura del controlador lógico programable.

**Fuente.** (monografias.com, 2016)

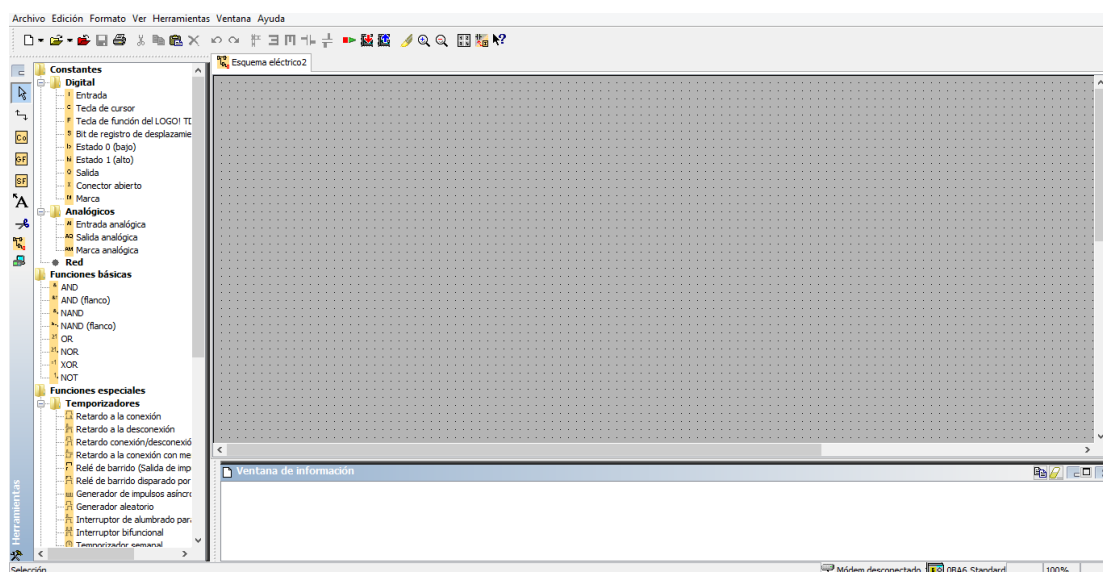


## Entorno de programación

Al abrir LOGO! Soft Comfort aparece la interfaz de usuario vacía y luego se hace presión en nuevo documento: 

Resultado: LOGO! Soft Comfort crea un nuevo programa.

Luego puede ver la interfaz de usuario completa de LOGO! Soft Comfort que se observa en la figura 33. La mayor parte de la pantalla la ocupa entonces el área dedicada a la creación de esquemas eléctricos, llamada interfaz de programación. En esta plataforma de programación se disponen los símbolos y enlaces del programa.



**Figura 33.** Interfaz de usuario completa de LOGO! Soft Comfort

**Fuente.** Autor

Para no perder la visión de conjunto, especialmente en el caso de trabajar con programas extensos, en la parte inferior y a la derecha de la interfaz de programación se dispone de barras de desplazamiento que permiten mover el esquema eléctrico en sentido horizontal y vertical.

### Barra de menús.

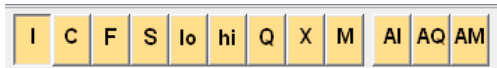
En la parte superior de la ventana de LOGO! Soft Comfort se encuentra la barra de menús que contiene los distintos comandos para editar y gestionar los programas. Esto incluye también configuraciones y funciones de transferencia del programa (Vargas, 2007/2008).

Archivo Edición Formato Ver Herramientas Ventana Ayuda

## Constantes y bornes de conexión-vista general

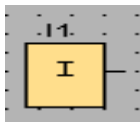
Esta herramienta debe estar seleccionada si se desean posicionar bloques de entrada, bloques de salida, marcas o constantes en el entorno de programación. La selección de un bloque determinado de este grupo se realiza a través de otra barra de herramientas que se abre seleccionando la herramienta constante y borne de conexión (Vargas, 2007/2008).

Representación en el editor FUP



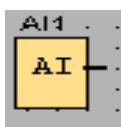
## ENTRADAS

### Entradas digitales



Los bloques de entrada representan los bornes de entrada de un LOGO! Se pueden utilizar hasta 24 entradas digitales. Mediante parametrización de bloques, puede asignar una “pinza” de entrada diferente en un bloque de entrada determinado, si el nuevo borne de entrada todavía no está ocupado (Vargas, 2007/2008)

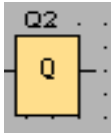
### Entradas analógicas



Las variantes de LOGO! Con las designaciones 12/24RC, 12/24Co y 24, así como el módulo de ampliación AM2 12/24, procesan señales analógicas. Puede utilizar hasta 8 entradas analógicas. Mediante parametrización de bloques, puede asignar una “pinza” de entrada diferente a un bloque de entrada determinado. Por tanto, solo se tendrán en cuenta aquellas entradas seleccionadas que no se hayan definido en el programa. (Vargas, 2007/2008)

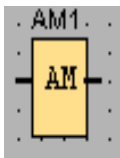
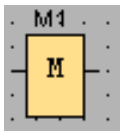
## SALIDAS

### Salidas digitales



Los bloques de salida representan los bornes de salida de un LOGO! Se pueden utilizar hasta 16 salidas. A través de la parametrización de bloques puede asignar un nuevo borne de salida a un bloque de salida, siempre que el borne de salida no se utilice en el programa. (Vargas, 2007/2008)

### Marcas

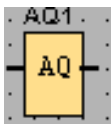


Los bloques de marcas emiten en su salida la señal que se encuentra en su entrada. En LOGO! Hay disponibles 24 marcas digitales de M1 a M24 y 6 marcas analógicas de AM1 a AM6.

En LOGO! Hay disponibles 8 marcas especiales de M1 a M8

A un bloque de marcas determinado se le puede asignar otro número de marca distinto mediante parametrización de bloques si el nuevo número no se utiliza en el programa.

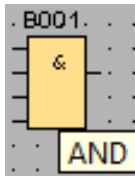
### Salidas analógicas



Existen dos salidas analógicas disponibles, AQ1 y AQ2. En una salida analógica solo puede conectar un valor analógico, es decir, una función con una salida analógica o una marca analógica AM.

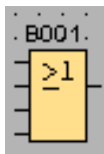
## FUNCIONES BÁSICAS

### FUNCION “AND”



La salida de AND solo toma el estado 1 si todas las entradas tienen el estado 1, es decir, si están cerradas. Esta función ejecuta operaciones lógicas con el operador AND manejando señales de entrada determinadas. Las señales de entrada conectadas han de ser solamente del tipo de entrada de bits. Esta función posee 4 pines de entrada de bits y 1 pin de salida de bits. (Vargas, 2007/2008)

### FUNCIÓN “OR”



La salida OR toma el estado 1 si al menos una entrada tiene el estado 1, es decir, si está cerrada. Si una entrada no se utiliza (x), automáticamente toma el valor x=0.

Esta función ejecuta la operación lógica con OR manejando señales de entrada determinadas. Las señales de entrada conectadas pueden ser solamente del tipo de entrada de bits. Esta función posee 4 pines de entrada de bits y 1 pin de salida de bits. (Vargas, 2007/2008)

#### 4.3.3 Elementos necesarios para la Automatización.

- **Sensor:** en todo proceso de automatización es necesario captar las magnitudes de planta, para poder así saber el estado del proceso que se controla, para ello se utiliza los sensores. (Materias, s.f)

Los sensores se pueden clasificar según el tipo de señal de salida que tenga esto se lo puede apreciar de mejor manera a continuación: (Materias, s.f)

- Analógicos, en los que la señal de salida es un valor de tensión o corriente entre un rango previamente fijado.

- Digitales, que transforman la variable medida en una señal digital, codificada en pulsos o en alguna codificación digital.
- Sensores “todo-nada” son aquellos que únicamente poseen dos estados, los cuales están separados por un valor umbral de la variable detectada.

También a los sensores se los puede clasificar según su fuente de alimentación entonces se tiene sensores pasivos y activos: (Materias, s.f)

- Los sensores pasivos, requieren de una alimentación para efectuar su función.
- Los sensores activos generan la señal sin necesidad de alimentación externa.

Ya así como también hay una clasificación de los sensores según el tipo de magnitud física a detectar como se muestra a continuación: (Materias, s.f)

- Posición lineal o angular.
- Desplazamiento o deformación.
- Velocidad lineal o angular.
- Aceleración.
- Fuerza y par.
- Presión.
- Caudal.
- Temperatura.
- Presencia o proximidad.
- Táctiles.
- Intensidad lumínica.
- Sistemas de visión artificial.

A continuación según (Materias, s.f) se puede apreciar algunas especificaciones importantes de los sensores:

- Todos los sensores deben ser especificados a un punto tal que aseguren ciertos parámetros de funcionamiento. Estas especificaciones se pueden aplicar tanto a sensores como a actuadores, aunque no en todas son aplicables a todo sensor o actuador.
- Precisión: una limitación de los sensores es la precisión, que regula el margen de imprecisión instrumental. Por ejemplo, dado un sistema de medición de temperatura, de precisión  $0.05^{\circ}\text{C}$ , cuando su lectura fuese de  $37.2^{\circ}\text{C}$  significa que la temperatura del ambiente medido esta entre  $37.15$  y  $37.25^{\circ}\text{C}$ .

- Repetitividad: especifica la habilidad del instrumento para entregar la misma lectura en aplicaciones repetidas del mismo valor de la variable medida.
- Sensibilidad: término utilizado para describir el mínimo cambio en el elemento censado que el instrumento puede detectar.
- Resolución: expresa la posibilidad de discriminar entre valores debido a las graduaciones del instrumento. Se suele hablar de cantidad de dígitos para indicadores numéricos digitales y de porcentaje de escala para instrumentos de aguja.
- Rango: expresa los límites inferior y superior de los valores que el instrumento es capaz de medir.
- Tiempo de respuesta: la medición de cualquier variable de proceso puede implicar una demora que debe ser definida adecuadamente. Los tiempos de respuesta se definen en base al tiempo necesario para obtener una medida satisfactoria.
- Histéresis: algunos instrumentos presentan un fenómeno de “memoria” que impone una histéresis a su respuesta. En particular, un sistema de medición de presión podría indicar los cambios de presión según si la presión anterior era más alta o más baja que la actual.
- **Válvula.**

### **Elementos finales de control**

Los elementos finales de control son los dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada). Es esta variable manipulada la que incide en el proceso causando cambios de la variable controlada. Lo más común en procesos es que la manipulación sea un caudal. Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen dos mecanismos:

- Modificar la energía entregada al fluido
- Modificar la resistencia al paso del fluido (válvulas, registros en ductos de gases)

### **Válvula de control**

La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador. Constituye el elemento final de control en más del 90% de las aplicaciones industriales.

### **Especificaciones de válvulas.**

Especificar una válvula de control implica determinar las características de:

- Cuerpo e internos: indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar. También hay que indicar el diámetro que está relacionado con la capacidad y a esto se lo denomina dimensionamiento.
- Actuador: una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor, la acción ante falla y el tamaño.
- Accesorios: corresponde a elementos adicionales como transductores, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.

**Válvula solenoide UNI-D:** la válvula solenoide eléctrica solo puede funcionar como dispositivo on/off y no puede ser utilizado para abrir o cerrar la válvula gradualmente en aplicaciones donde se requiere una regulación más precisa del flujo. En función del uso que se le da a la válvula controlando el paso del gas.

- **Dispositivos de mando básicos**

**Pulsadores:** son dispositivos eléctricos, electrónicos o mecánicos diseñados para interrumpir o desviar el paso de la corriente eléctrica u otras señales en el circuito eléctrico. (Duran, 2012)

Existen una gran variedad de tipos, aunque los más importantes son los siguientes:

- **Pulsador normalmente abierto (NA).** Cuando los pulsamos se efectúa la conexión interna de sus dos terminales. En reposo los contactos estarán abiertos. Se utilizan generalmente para la puesta en marcha o arranque de máquinas e instalaciones eléctricas.
- **Pulsadores normalmente cerrados (NC).** Cuando se los pulsa se efectúa la desconexión de sus dos terminales. En reposo los contactos están cerrados. Se utilizan generalmente para el paro de máquinas e instalaciones eléctricas.
- **Pulsador de paro de emergencia.** Denominado comúnmente seta, debido a su aspecto externo. La cabeza de estos pulsadores es bastante más ancha que en normales y de color rojo, sobre fondo amarillo. Permite la parada inmediata de la instalación eléctrica cuando ocurre un accidente.

## **4.4 SOLDWORKS ANÁLISIS ESTÁTICO.**

### **4.4.1 Introducción al SolidWorks®**

SolidWorks® es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de SolidWorks® una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variaciones y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados.

Junto con las herramientas de diseño de Pieza, Ensamblajes y Dibujo, SolidWorks® incluye Herramientas de Productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación y de Análisis y Simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

#### **4.4.1.1 Análisis estático en modelos**

A través de la ingeniería asistida por computadora (CAE), se puede modelar casi cualquier pieza o sistemas con una precisión prácticamente real. Ayudándose del análisis por elementos finitos, se puede no solo visualizar el modelo sino prever su comportamiento bajo unas condiciones reales de trabajo, sin necesidad de fabricar prototipos. (Grupo Carman, 2014)

Según (Grupo Carman, 2014) las ventajas que presentan son las siguientes:

- Se reduce el coste de las pruebas de campo ya que se puede simular previamente el comportamiento del modelo.
- Permite adelantar la comercialización del producto, puesto que se reduce el número de ciclos de desarrollo del mismo.
- Da la opción de mejorar el producto rápidamente mediante el rediseño del modelado de las piezas de forma virtual antes de su fabricación.

Gracias a que las herramientas, permiten evaluar el comportamiento del modelo bajo una gran variedad de condiciones como son las siguientes:



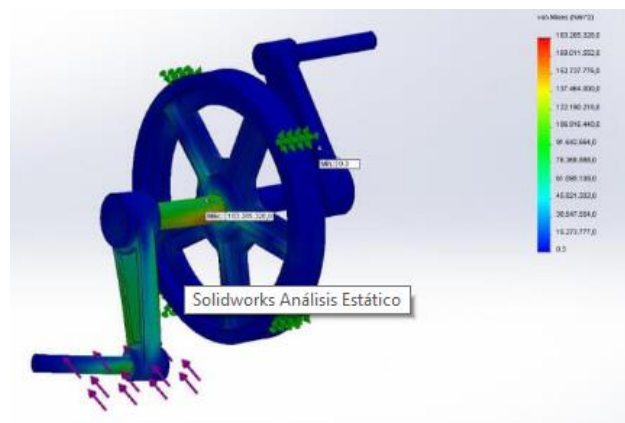
1. Cargas estáticas.
2. Cargas térmicas.
3. Fatiga.
4. Dinámica.

A continuación se puede conocer las características generales de los análisis estáticos que menciona lo siguiente: (Grupo Carman, 2014)

Mediante los análisis estáticos de piezas o modelos compuestos, se puede simular los desplazamientos, las fuerzas de reacción, las tensiones y las deformaciones unitarias que se producen en su modelo tridimensional bajo condiciones de contorno previamente definidas.

Además, se puede evaluar el factor de seguridad de un modelo simulado, pudiendo rediseñar la pieza para evitar problemas durante el funcionamiento real de la pieza. Por lo tanto, con este análisis se puede optimizar el diseño sin necesidad de fabricar ningún modelo ni realizar pruebas de campo que encarecen el producto final.

Los análisis estáticos, se realizan bajo dos condiciones: en la figura 34 se observa las propiedades que le da el SolidWorks luego de realizar el análisis estático. (Grupo Carman, 2014)



**Figura 34.** Análisis Estático.

**Fuente.** (Grupo Carman, 2014)

1. **Suposición Estática.** Esto implica que las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. A partir de este punto, las cargas permanecerán constantes. Debido a esto, se puede ignorar por ejemplo las fuerzas inerciales y de las de amortiguamiento, ya que las aceleraciones y velocidades son pequeñas.

**2. Linealidad.** Es decir, la relación entre cargas y la respuesta del material es lineal. Cuando se duplica la carga, también lo harán las deformaciones unitarias, desplazamientos o las tensiones. La suposición de linealidad supone:

- Se cumple la ley de Hooke en los materiales a estudiar. Esto implica que la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.
- Los desplazamientos provocados son lo suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez que es causada por la carga.
- Las condiciones de contorno no variarán durante el proceso de carga del sistema. Estas cargas deben ser constantes en magnitud, dirección y distribución, y por tanto no cambiar durante la deformación del modelo.

Existe una gran variedad de aplicaciones para estos estudios, como pueden ser piezas o sistemas que tienen que soportar una carga aplicada de forma secuencial sin impacto, como pueden ser estanterías o cualquier soporte. (Grupo Carman, 2014)

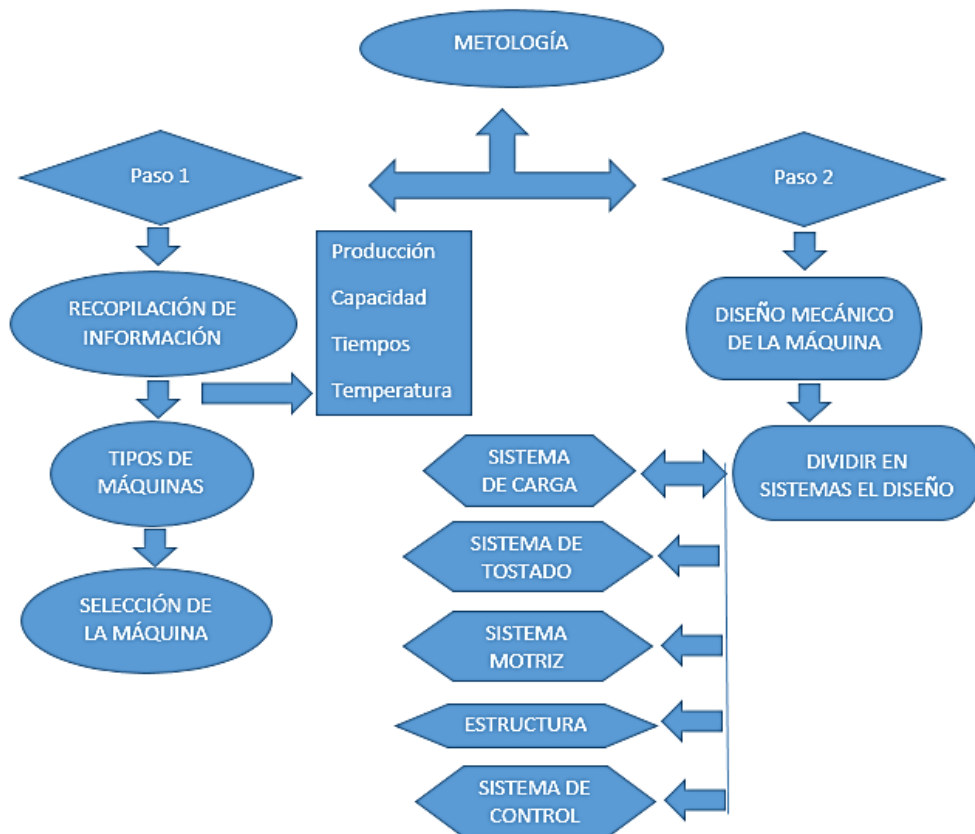
Otra posible aplicación para estudios estáticos, es la evaluación del chasis de ciertos tipos de coches de competición, los cuales son estudiados mediante cargas estáticas en sus diferentes posiciones, bajo las condiciones de los estudios estáticos lineales.

## 5.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materiales

- Fuentes de internet y bibliográficas para la obtención de información sobre el tema de investigación
- Software LOGO! Soft Comfort
- Software de ingeniería
- Catálogo SKF
- Catálogo para la selección de correas
- Fuentes de información sobre sensores
- Fuentes de información sobre válvulas de gas
- Fuentes de información sobre accionamientos

### 5.2 Métodos





cafetaleros del sector, con esto se abre paso a la organización e incentivación de los ciudadanos mostrándoles otra alternativa de mejorar sus ingresos económicos aprovechando la producción de café, que ya es propia del sector, a través del tostado; esto beneficiará a los productores ya que al contar con una máquina tostadora tendrán la oportunidad de hacer un café comerciable no sólo a nivel local o nacional sino también a nivel internacional aprovechando la acogida que tiene el café en el continente.

Basado en la investigación realizada, se pudo encontrar una organización de caficultores en el cantón Puyango. Llamada PROCAP, esta asociación se creó con el fin de producir y exportar cafés especiales; está conformada por 13 grupos de interés, y desarrolla actividades productivas y comerciales en el cantón Puyango, provincia de Loja, agrupando actualmente a 132 socios con un área de café cultivada en el 2013 de 268 hectáreas.

Por ello se ha diseñado una máquina que cubra con las necesidades tanto económicas como productivas de los caficultores a nivel nacional.

El que los caficultores de esta zona no cuenten con una máquina de tostado para café ha llevado a que la mayoría de ellos vendan su café a PROCAP como materia prima, por ello, la inserción de una máquina tostadora de café en este sector beneficiará directamente a los caficultores ya que en vez de vender la materia prima que producen podrán realizar todo el proceso necesario antes de la comercialización del café.

## **Paso 2**

Luego se la divide en sistemas para así realizar los cálculos para cada sistema de la máquina tostadora de café.

Para el SISTEMA DE CARGA se realizan los siguientes cálculos:

Cálculo del volumen:

$$V_1 = \frac{m}{\rho_{café}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Cálculo del peso del café.

$$F = m \times g \quad \text{Ecuación 2}$$

Cálculo del volumen total del café.

$$V_T = V_{cam} \quad \text{Ecuación 3}$$

Cálculo del volumen de la cámara de tostado para encontrar sus dimensiones.

$$V_{cam} = 0,7854 \times l \times (D^2) \quad \text{Ecuación 4}$$

Cálculo de la fuerza centrífuga ( $F_c$ )

$$F_c = m \times \alpha_c \quad \text{Ecuación 5}$$

Cálculo de aceleración centrífuga

$$\alpha_c = \omega^2 \times R \quad \text{Ecuación 6}$$

Cálculo de la velocidad angular

$$\omega = \frac{n \times \pi}{30} \quad \text{Ecuación 7}$$

Cálculo del área del café ocupado con respecto a la longitud del cilindro

$$V_1 = A \times l \quad \text{Ecuación 8}$$

Cálculo de la presión que ejerce el café hacia las paredes del cilindro

$$p = \frac{F_c}{A_{rec}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Cálculo del espesor de la plancha del cilindro tostador

$$e = \frac{p \times D_{ex}}{2 \times \sigma} \quad \text{Ecuación 10}$$

### **Para el sistema de tostado.**

Para el sistema de tostado se utiliza las ecuaciones para calcular la resistencia térmica, el flujo de calor aprovechado en el tambor y el flujo perdido para conocer el flujo total necesario para calentar el tambor giratorio.

Cálculo de la resistencia térmica por convección.

$$R_{t,conv} = \frac{1}{h * A} \quad \text{Ecuación 11}$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción.

$$R_{t,cond} = \frac{\ln \frac{r_{ext}}{r_{int}}}{2\pi Lk}$$

Ecuación 12

Cálculo de área de la cámara de tostado y cámara de combustión.

$$A = 2\pi \times r \times l$$

Ecuación 13

Cálculo de flujo necesario.

$$q = \frac{\Delta T}{R_{ter}}$$

Ecuación 14

Cálculo del flujo másico.

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

Ecuación 15

Cálculo de la cantidad de flujo aprovechado.

$$q_{aprov} == \dot{m} * Cp * (T_i - T_{amb})$$

Ecuación 16

Cálculo del calor específico del grano de café.

$$C_p = 1,3556 + 5,7859M$$

Ecuación 17

Cálculo de la energía total.

$$q_{tot} = q_{aprov} + q_{perd}$$

Ecuación 18

### **Sistema motriz.**

El sistema motriz es el encargado de las partes que sirven para dar movimiento a la máquina tostadora-enfriadora de café. Para el diseño de estas partes se aplican las ecuaciones siguientes:

Cálculo de potencia.

$$P = \tau \times \omega$$

Ecuación 19

Cálculo del torque.

$$\tau = (m_1 \times x_1 \times g) + (m_2 \times x_2 \times g)$$

Ecuación 20

Cálculo del torque acelerado.

$$\tau_{accel} = m \times r^2 \times \alpha$$

Ecuación 21

Cálculo de la aceleración angular.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t}$$

Ecuación 22

## Sistema de transmisión.

Cálculo de la relación de velocidad.

$$i_t = \frac{n_1}{n_4} \quad \text{Ecuación 23}$$

Cálculo del diámetro de la polea.

$$d_2 = i_1 \times d_1 \quad \text{Ecuación 24}$$

Cálculo de potencia corregida.

$$P_{corre} = P \times 1.2 \quad \text{Ecuación 25}$$

Cálculo de longitud de correa.

$$L_{co} = 2I + 1.57(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4I} \quad \text{Ecuación 26}$$

Cálculo del arco de contacto.

$$arco = 180 - 57 \left( \frac{d_2 - d_1}{I} \right) \quad \text{Ecuación 27}$$

Cálculo de la velocidad de la correa.

$$V_t = \frac{\pi \times d_1 \times n_1}{60 \times 1000} \quad \text{Ecuación 28}$$

Cálculo de la prestación base.

$$P_{bk} = P_b + \text{prestación} \quad \text{Ecuación 29}$$

*adicional por relación de transmisión*

Cálculo de la potencia efectiva por correa.

$$P_e = P_{bk} \times F_{cl} \times F_{carc} \quad \text{Ecuación 30}$$

Cálculo de la cantidad de correas.

$$\begin{aligned} \text{Can. de correas} \\ = \frac{\text{Potencia corregida}}{\text{Potencia efectiva}} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 31}$$

## Dimensionamiento de ejes.

Cálculo del peso total.

$$p = \rho_{café} \times A_{cil} + \frac{m}{l} \quad \text{Ecuación 32}$$

Cálculo del área transversal del cilindro de tostado.

$$A_{cil} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \quad \text{Ecuación 33}$$



Cálculo de la fuerza tangencial transmitida por la correa.

$$F_m = \frac{2M_T}{d_4} \quad \text{Ecuación 34}$$

Cálculo del diámetro usando la teoría del esfuerzo cortante máximo.

$$d = \left[ \frac{32 \times F_s}{\pi S_y} (M^2 + \tau^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ecuación 35}$$

Cálculo del factor de seguridad.

$$F_s = \frac{\pi d^3 \times S_y}{32[M^2 + \tau^2]^{1/2}} \quad \text{Ecuación 36}$$

### **Selección del tipo de rodamiento.**

Cálculo de la vida nominal.

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad \text{Ecuación 37}$$

Cálculo de la vida nominal en horas.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} \quad \text{Ecuación 38}$$

Cálculo de la Fuerza cortante para el diseño de la chaveta

$$F_{Cort} = \frac{M_T}{r_{eje}} \quad \text{Ecuación 39}$$

Cálculo del factor de seguridad para chavetas.

$$n_c = \frac{S_{sy}}{\tau_c} \quad \text{Ecuación 40}$$

Cálculo del esfuerzo cortante a la fluencia.

$$S_{sy} = 0,577S_y \quad \text{Ecuación 41}$$

Cálculo de la longitud de la chaveta.

$$\tau_c = \frac{F_c}{b \times l} \quad \text{Ecuación 42}$$

### **Paso 3**

El siguiente paso para el trabajo de tesis es realizar la propuesta de automatización para así poder usar la máquina de mejor manera.

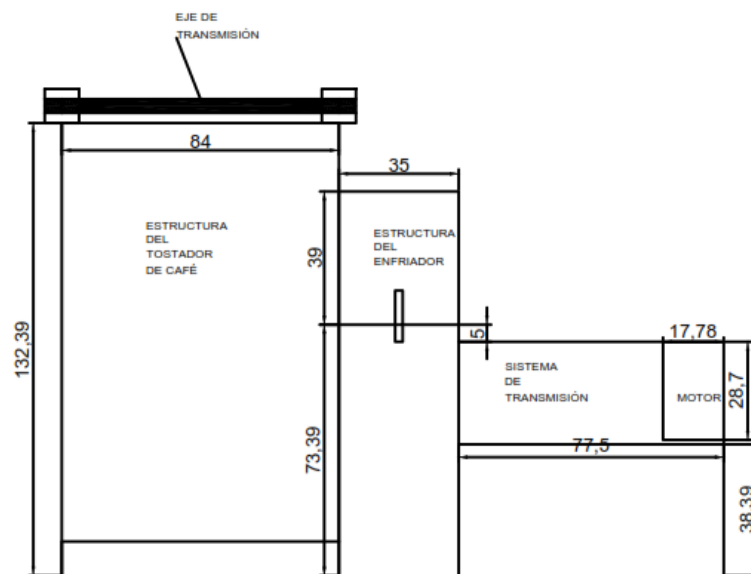
Primero se realiza un diagrama de flujo para poder entender de mejor manera el proceso y lo que se va a automatizar, luego de realizar el proceso se describe los elementos que existen en la máquina para entender que función cumple cada una de ellas, también se identifica las variables a controlar como el tiempo y la temperatura, posteriormente se procede a seleccionar

tanto los actuadores y los sensores para tener una mayor facilidad de control con el PLC Logo! que se va a usar, a continuación se explica cómo está constituido el PLC Logo! para luego realizar un diagrama de conexión de cada uno de los sensores y actuadores.

Con todos estos pasos realizados se procede a realizar la automatización utilizando el software Logo! Soft Confort para poder cargarlo en el PLC y proceder a hacer la simulación correspondiente controlando con temporizadores y así ver cómo actúa el proceso.

#### **Paso 4**

En este objetivo después de haber realizado los cálculos se procede a realizar un análisis estático de cómo actúan las fuerzas en las piezas más significativas de la máquina como son el eje de transmisión del sistema de tambor y del enfriador. Este análisis se lo puede realizar en el software SolidWorks, en la figura 36 se puede observar el esquema donde se muestra el eje de transmisión y también las dimensiones de la estructura como base de la máquina.



**Figura 36.** Esquema de la estructura y eje para la simulación.

**Fuente.** Autor

## 6.- RESULTADOS

### 6.1 Análisis de producción de café.

En la tabla 8 se puede apreciar la gran cantidad de pequeños productores y de terreno dirigido a la producción de café como materia prima.

**Tabla 8.** Cantidad de productores por hectareas.

<b>Hectáreas</b>	<b>Nro. De productores</b>	<b>%</b>	<b>% acumulado.</b>
<1	40	30.30	30.30
1-2	50	37.88	68.18
2-3	27	20.45	88.64
3-4	11	8.33	96.97
4-5	4	3.03	<b>100</b>
<b>Total</b>	<b>132</b>	<b>100</b>	

Fuente. (CÓRDOVA, 2015)

En la tabla 9 se muestra la producción del café que se da por cosecha (Junio-Agosto) dependiendo del área.

**Tabla 9.** Producción del café tomando en cuenta el área.

<b>Área (hectáreas de café)</b>	<b>Producción por cosecha (quintales)</b>
1	8
3	14
5	24

Fuente. (CÓRDOVA, 2015)

En la tabla 10 se puede observar lo poco favorable económicamente, para los pequeños productores, que resultan ser socios de PROCAP

**Tabla 10.** Beneficios que ganan los pequeños productores.

Hectáreas	Costo total (dólares)	Ingreso Total (dólares)	Beneficios (dólares)
1	1137	1320	183
3	2436	2220	-216
5	3994,80	3900	-94,80

Fuente. (CÓRDOVA, 2015)

Con esto se comprueba que la implementación de una máquina tostadora de café sería una opción favorable para los pequeños caficultores que están situados en el cantón Puyango, porque gracias a esa implementación pueden tener ingresos económicos más favorables.

Esta máquina con un tamaño apropiado se la puede aprovechar para:

- Tostar el café que producen
- Para alquilar la máquina a colegas caficultores

## 6.2 Selección de la tostadora de café.

Basado en el análisis de la matriz de ponderación o selección se procedió a juzgar cada criterio contra todos los demás, los criterios se los seleccionó realizando la respectiva investigación de donde las opciones son: el costo de la máquina, mantenimiento, manipulación, calidad de tostado y seguridad, comparando la importancia de cada uno de ellos contra los demás por medio de la siguiente escala:

10= Mucho más importante

1/5= Menos importante

5= Más importante

1/10= Mucho menos importante

1= Igual

Luego se comparó las opciones de las máquinas contra las demás, se creó la matriz y se realizó la comparación y evaluación según la escala siguiente:

10= Mucho mejor

1/5= Peor

5= Mejor

En la tabla 11 se observa la matriz de ponderación o selección para realizar un análisis con criterios y los tipos de máquinas tostadoras de café.

**Tabla 11.** Matriz de valoración de criterios con respecto a las máquinas.

Matriz de pares. Selección de criterios de máquinas							
	Cm	Mat	Map	Ct	Se	Suma	Factor de ponderación
Costo de la máquina (Cm)		5	1/5	5	5	15	0,125
Mantenimiento (Mat)	10		10	5	10	35	0,292
Manipulación (Map)	5	10		5	5	25	0,208
Calidad de tostado (Ct)	5	5	5		5	20	0,167
Seguridad (Se)	5	10	5	5		25	0,208
<b>TOTAL</b>	25	30	20	20	25	120	1,000

Fuente. Autor

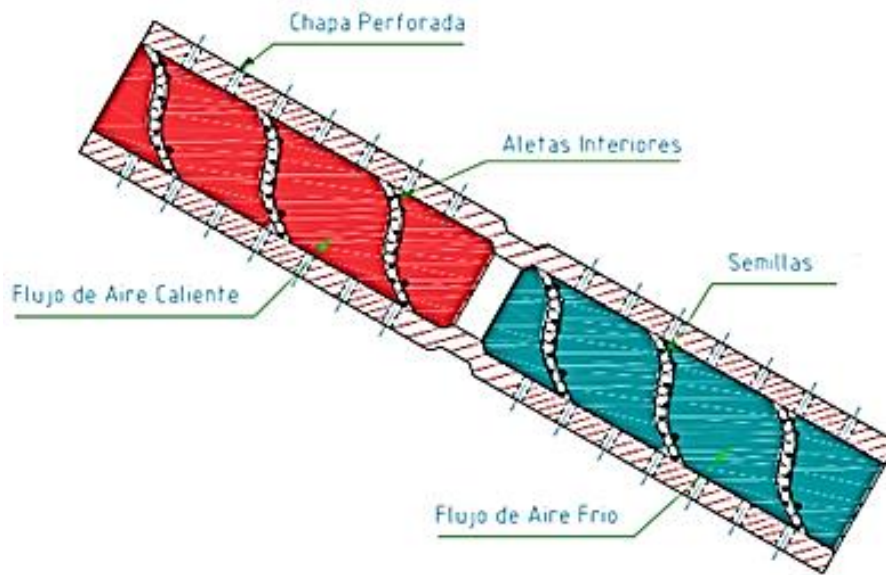
Y se realizó la matriz final con la que se pudo encontrar y seleccionar las máquinas del sistema a tambor y la tostadora continua debido a los mejores puntajes finales tomando en cuenta los criterios mencionados en el anexo A.1, aclarando que la que obtuvo mejor puntaje y se seleccionó para el diseño, es la tostadora por tandas (sistema a tambor). A continuación se realiza una comparación entre estos dos tipos de máquinas.

Tostadora 1: Tostadora Continua

Tostadora 2: Tostadora por tandas (Sistema Tambor)

### **TOSTADORA 1: TOSTADORA CONTINUA (SISTEMA DE CALENTAMIENTO DIRECTO)**

Este tipo de tostadora se refiere a una que gira continuamente y tiene la facilidad de enfriar los productos tostados en la misma máquina en una segunda zona destinada para ello. El proceso de tostado y enfriado de café se produce mediante convección de aire caliente y aire frío, respectivamente, permitiendo controlar y regular el proceso según las características de tostado que se requiera. En la figura 37 se observa un esquema del funcionamiento de este tipo de máquina:



**Figura 37.** Esquema del calentamiento y enfriado por convección de aire caliente y frío.

**Fuente.** (Lucas, 2011)

### **Proceso de tostado de café.**

El grano de café se introduce por la boca de entrada para pasar a la primera fase de tostado por aire caliente, seguida de la segunda fase que es el enfriado por aire frío permitiendo su descarga sobre el elemento transportador que le permite llevar al producto ya tostado a un lugar adecuado.

El proceso de tueste se efectúa gracias a un ventilador que permite la convección del aire ambiente hacia el calentador de cualquier tipo, el cual hace alcanzar al aire la temperatura adecuada.

La tostadora continua se la usa para grandes producciones de café en empresas productoras de mayor tamaño, es por ello que este tipo de sistema continuo no será adecuado para el diseño del proyecto, también otra desventaja es que estas máquinas son muy grandes y dificultan la instalación y mantenimiento sobre todo en los pequeños caficultores que no cuentan con muchos espacios, y aparte se necesita una temperatura elevada, estas características se las puede observar en la tabla 2.

### **TOSTADORA 2: TOSTADORA POR TANDAS (SISTEMA TAMBOR)**

En este tipo de tostadora, el proceso de tostado se lo realiza transportando aire caliente alrededor del tambor que tiene un giro constante donde se encuentra depositado el café, con este sistema se tiene una gran uniformidad del tueste, tanto en el núcleo como en la superficie

del grano, debido a la transferencia de aire tanto por conducción como por convección en toda la masa del café como se observa en la figura 38.

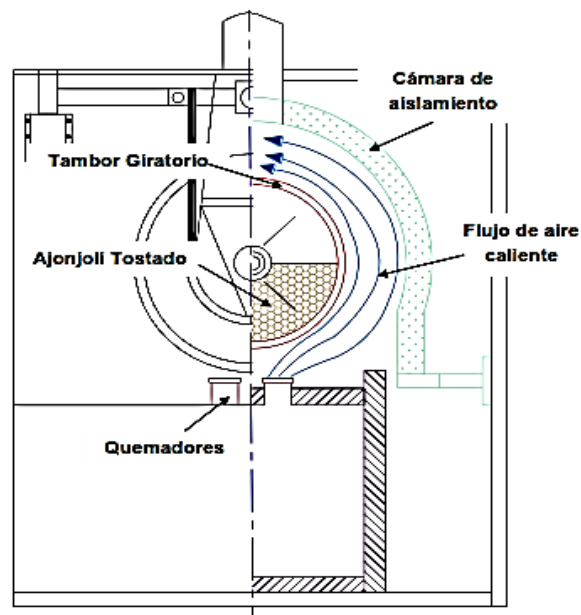


Figura 38. Esquema del proceso de tostado de una máquina tostadora de café, sistema de tambor

Fuente. (Lucas, 2011)

### Etapas del proceso

Este sistema de tostado es seleccionado debido a que es usado por la mayoría de tostadores de tamaño medio o pequeño, por eso esta opción es la más acorde a las necesidades de caficultores con una cantidad de tostado de 25lb=11.33Kg por tanda, es tostada por aire caliente las características del tiempo y temperatura son especificadas en la tabla 1, este sistema es óptimo para tostar café de diferentes características y con tuestes diferentes según sea la necesidad del tostador, y luego es depositado en el enfriador para disminuir la temperatura de tostado y pueda ser almacenado para el molido y empaquetado.

### 6.3 División de la máquina.

La máquina tostadora de café sistema tambor, se divide en las siguientes partes:

**Tolva de ingreso de café**, es por donde ingresa el café y llega al cilindro de tostado empezando así el proceso de tostado de café.

**Cilindro tostadora de café**, es donde el café está ubicado para ser tostado durante el tiempo especificado mediante la transferencia de aire caliente por convección y conducción.

**Cámara de combustión**, es la cámara donde fluye el aire caliente y se acumula para calentar el cilindro de tostado

**Cámara de aislamiento con el aire exterior**, es una lámina aislante que no permite que el calor salga, sino que se mantenga en el interior para que el cilindro tostador llegue a la temperatura de tueste.

**Quemador**, es por donde sale la llama de fuego que aporta el flujo de aire caliente para el tostado de café.

**Tolva de salida del café**, es por donde sale el café una vez se haya terminado con el proceso de tostado.

**Enfriador del café**, es donde se ubica el café para ser enfriado con aporte de aire frío.

**Estructura para la máquina tostadora-enfriadora de café**, es donde se ubican los elementos de la máquina tostadora-enfriadora de café.

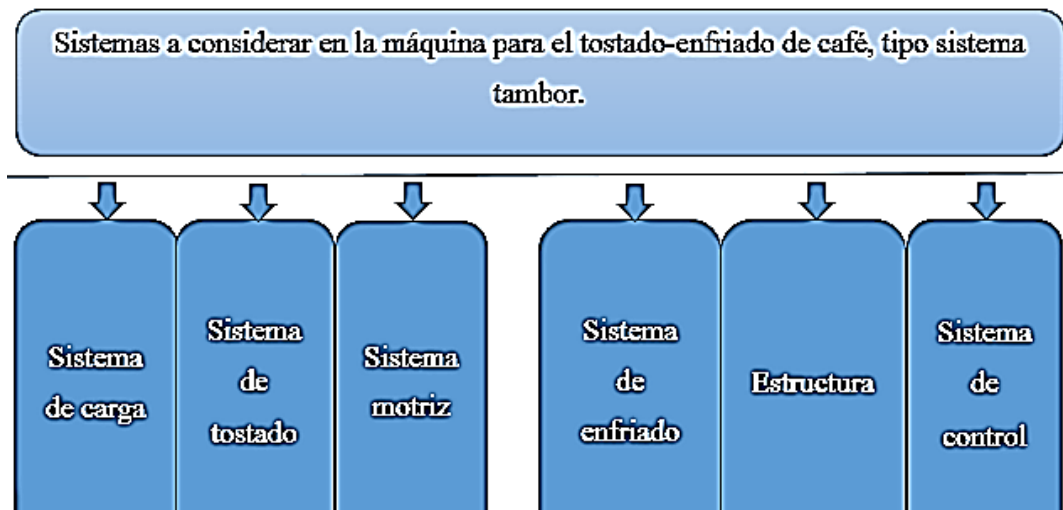
Para el diseño es recomendable dividir a la máquina tostadora-enfriadora en sistemas, para poder realizar el diseño para cada sistema y selección de elementos normalizados.

Esta máquina tostadora de café cuenta con varios sistemas como son:

- Sistema de carga
- Sistema de calentamiento
- Sistema de enfriado
- Sistema motriz
- Sistema de control
- Estructura de la máquina

En la figura 39 se puede apreciar la división de Diagrama de los sistemas que intervienen en la máquina tostadora-enfriadora de café.





**Figura 39.** Diagrama de los sistemas de la máquina tostadora-enfriadora de café.

Fuente. Autor

La máquina de tostado-enfriado de café debe tener la facilidad de controlar el tiempo correcto para que el café se tueste con una temperatura estable para poder obtener el tueste deseado y poseer un control de mando para el correcto desempeño de la máquina.

### 6.3.1 Sistema de carga.

Dentro del sistema de carga se encuentran, la tolva de ingreso, y el tambor donde se encuentra almacenado el café; dentro del tambor hay un eje pasante que será el que transmita el movimiento de rotación al tambor, el eje esta soldado a unos volantes y así se los puede unir al tambor de tostado de café para poder transmitir el movimiento de mejor manera. El tambor también cuenta con aspas que servirán para que el café sea mejor tostado.

Se procede a realizar los cálculos correspondientes y el dimensionamiento para los elementos mencionados dentro del sistema de carga.

Para dimensionar la tolva de ingreso del café es necesario conocer las dimensiones del cilindro tostador y así poder saber el espacio que se puede ocupar para la tolva de entrada de café.

Entonces se debe conocer varios datos como se observa a continuación:

Para los pequeños productores de café es necesario almacenar el café e irlo tostando poco a poco se considera un valor de 25lb=11.33Kg por tueste, debido a su producción y cosecha que es aproximadamente de tres meses entonces:

Datos:

$m = 25lb$ : Dato de diseño

$T_1 = 200^\circ C$ : Temperatura de tostado (tabla 1)

$t_1 = 18min$ : Tiempo de tostado (tabla 1)

$t_2 = 30min$ : Tiempo de enfriado a temperatura ambiente, según los conceptos encontrados en la información bibliográfica todo el proceso es de aproximadamente 48 minutos considerando una temperatura de tueste de  $200^\circ C$

$t_t$ : Tiempo total del proceso de tostado-enfriado de café que es igual a la sumatoria del tiempo de tostado más el tiempo de enfriado.

$$t_t = 18min + 30min = \mathbf{48min}$$

### **Cálculo del volumen, diámetro y longitud del cilindro tostador.**

Para el cálculo del diámetro y longitud es necesario conocer la densidad del grano de café, indicada en la tabla 6.

Datos:

$m = 25lb = 11,09Kg$ : Masa del café

$\rho_{café} = 450 \frac{Kg}{m^3}$ : Densidad del café.

De la ecuación 1 se despeja el volumen y se reemplaza los valores de la masa y densidad como se aprecia a continuación:

$$\rho_{café} = \frac{m}{V_1} \Rightarrow V_1 = \frac{m}{\rho_{café}} = \frac{11,34Kg}{450 \frac{Kg}{m^3}} = \mathbf{0,0252m^3}$$

Debido al tueste el grano de café aumenta su volumen, en ocasiones el valor es el doble y pierde humedad y por este motivo disminuye su peso. El aumento que sufre el grano de café con el tostado varía entre un 14% si el tueste es ligero y un 22% (Bedri café, 2016) en un tueste fuerte y en la mayoría de los casos también puede aumentar en un 50% en casos extremos.

Entonces para calcular el volumen del café se lo hace en el caso extremo con un aumento del 50% para un tueste fuerte y con esto se obtiene el siguiente resultado:

$$V_2 = V_1 + 0,50 \times V_1; \text{ entonces } V_2 = 0,0252m^3 + 0,50 \times 0,0252m^3$$

$$V_2 = 0,0378m^3$$

Para que el café obtenga un movimiento ondulatorio dentro de la cámara de tostado el volumen se incrementará al doble del valor del volumen de café cuando se aumenta un 50% (Tipán, 2012, pág. 49)

$$V_T = 2 \times V_2 = 2 \times 0,0378m^3$$

$$V_T = 0,0756m^3$$

Para encontrar la longitud del cilindro de tostado se realiza una igualdad aplicando la ecuación 3 que se observa a continuación.

$$V_T = V_{cam}$$

Ahora sabiendo que el volumen total es igual al volumen de la cámara de tostado, se procede a reemplazar valores en la ecuación 4,

$$V_{cam} = 0,7854 \times l \times (D^2)$$

Al realizar un análisis de los diseños de tostadoras, especialmente tomando en cuenta criterios que se observan en la tabla 12, se puede seleccionar el diámetro adecuado para el diseño del tambor de tostado de café.

**Tabla 12.** Características de diferentes máquinas tostadoras de grano.

<b>Características de tostadoras de granos.</b>				
	<b>Tostador 1</b> (Luis Lozada, 2009)	<b>Tostador 2</b> (Lucas, 2011)	<b>Tostador 3</b> (Rocha, 2014)	<b>Tostador 4</b> (BONILLA BALAREZO FERNANDO ANTONIO, 2011)
<b>Velocidad angular (rpm)</b>	8	8	50	45
<b>Carga (Kg)</b>	15	24	22,68	16
<b>Diámetro (cm)</b>	20	40	45	35
<b>Tiempos (min)</b>	15	15	45	45

**Fuente.** (Luis Lozada, 2009), (Lucas, 2011), (Rocha, 2014), (BONILLA BALAREZO FERNANDO ANTONIO, 2011)

De la tabla 12 se seleccionaron los datos de la tostadora 4 debido a que para encontrar estas características se realizaron pruebas donde la velocidad angular fue la adecuada para obtener un color de café mejor tostado en comparación con las demás tostadoras, y también se selecciona esta máquina por que la carga es similar con variación pequeña de carga. Entonces el diámetro a usar en la tostadora de café es de 35 cm, con una velocidad de 45 rpm, y con esto se procede a calcular la longitud del tambor con la ecuación 4:

$$V_{cam} = 0,7854 \times l \times (D^2)$$

Se despeja la longitud:

$$l = \frac{V_{cam}}{0,7854 \times (D^2)}$$

Y se reemplaza los datos para obtener la longitud del tambor:

$$l = \frac{0,0756m^3}{0,7854 \times (0,35^2)}$$

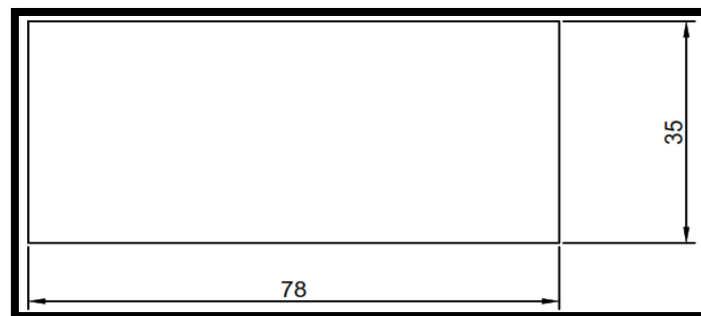
$$l = 0,785m$$

Y ahora se puede realizar la gráfica donde se muestran las dimensiones del tambor:

$$D_{ex} = 0,35m$$

$$l = 0,785m$$

Las dimensiones del cilindro tostador en centímetros se observa a continuación en la figura 40:



**Figura 40.** Dimensiones del cilindro de tostado

**Fuente.** Autor

Ahora conociendo el diámetro exterior del cilindro tostador donde va a estar el café, se procede a dimensionar la tolva de ingreso de la carga para que pueda pasar a la cámara de tueste.

### Propiedades del acero inoxidable a seleccionar.

El acero AISI 304 es el seleccionado para el diseño de la tostadora de café debido a que tiene las características más adecuadas y con un alto grado de contenido de cromo y níquel.

Gracias a los ensayos realizados en diferentes laboratorios del mundo se ha demostrado que un metal con tal composición resiste al ataque del medio o de los medios a que va a ser sometido. En la tabla 4 se muestran las propiedades que este tipo de acero tiene.

### Dimensionamiento de la tolva de ingreso de café.

El material que se usa para el diseño de la tolva es la plancha de acero, gracias a sus propiedades anticorrosivas que no permiten que la base donde pasa el café se estropee, este material es el utilizado en la norma ASTM A36, en el anexo B.1 se puede observar de mejor manera los espesores que tiene la plancha de metal.

Es necesario que el ingreso tenga un ancho considerando los  $11.33\text{ Kg} = 25\text{lb}$ . El espacio destinado para ubicar la tolva no debe superar un cuadrado de  $15\text{cm}$  por cada lado y con una altura de  $20\text{cm}$ .

Las dimensiones del diseño de la tolva de ingreso del café al cilindro de tostado se observan en la figura 41.

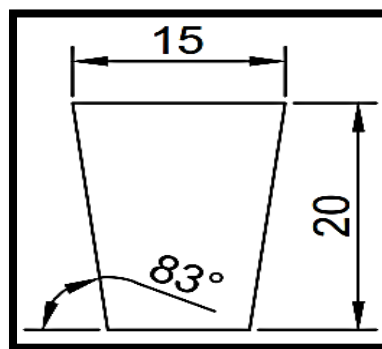


Figura 41. Dimensiones de la tolva.

Fuente. Autor

El brazo de la tolva que une al cilindro de tostado se lo dimensiona de acuerdo al espacio que hay disponible en el cilindro, como se muestra a continuación en la figura 42.

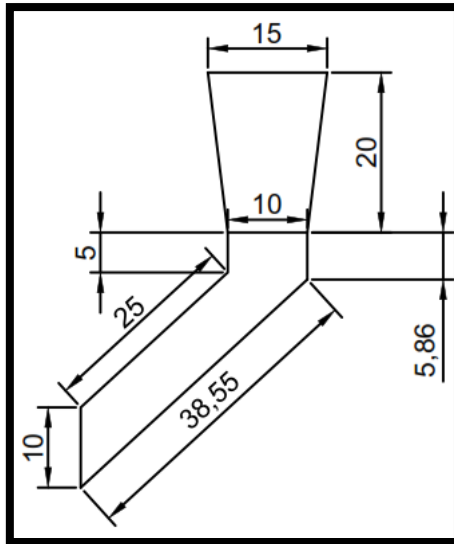


Figura 42. Dimensiones de brazo de la tolva.

Fuente. Autor

Por el brazo de la tolva pasa el café al cilindro de tostado, por ser acceso libre el ancho de 10 cm es suficiente para que el café circule libremente y llegue al cilindro donde será tostado.

### 6.3.2 Sistema de tostado.

El sistema de tostado de café está constituido básicamente por el tambor donde estará el café alojado y la cámara de tostado o de combustión donde mantendrá el flujo de aire caliente. Entonces, el tambor está unido por volantes de contención al eje motriz ubicado en la cámara de combustión o de tostado en la que fluye el calor que proporcionan los quemadores, también en el tambor se encuentran aspas con las que el café circulará de mejor manera dentro del tambor para un tueste uniforme.

- **Cálculo del espesor de la plancha para el tambor**

Para realizar el cálculo del espesor se procede a calcular la fuerza centrífuga ( $F_c$ ), es por eso que se necesita la aceleración angular y la masa que es dato de diseño entonces se procede de la siguiente manera aplicando la ecuación 5:

$$F_c = m \times \alpha_c$$

Donde:

$F_c$ : Fuerza centrífuga

$m$ : Masa

$\alpha_c$ : Aceleración centrífuga

Se tiene la masa pero hay otra incógnita que es la aceleración centrífuga ( $\alpha_c$ ), para esto se debe de encontrar la velocidad angular, primero se aplica la ecuación 6:

$$\alpha_c = \omega^2 \times R$$

Cálculo de la velocidad angular se aplica la ecuación 7:

$$\omega = \frac{n \times \pi}{30}$$

Donde:

$n$ : Velocidad en rpm=45rpm

$$\omega = 4.71 \text{ rad/s}$$

Con esto se puede encontrar la aceleración centrífuga:

$$\alpha_c = (4.71 \text{ rad/s}^2)(0.175\text{m}) = 3.88 \text{ m/s}^2$$

Teniendo la aceleración centrífuga y la masa se puede encontrar la fuerza centrífuga que es:

$$F_c = 11.33\text{Kg} \times 3.88 \text{ m/s}^2$$

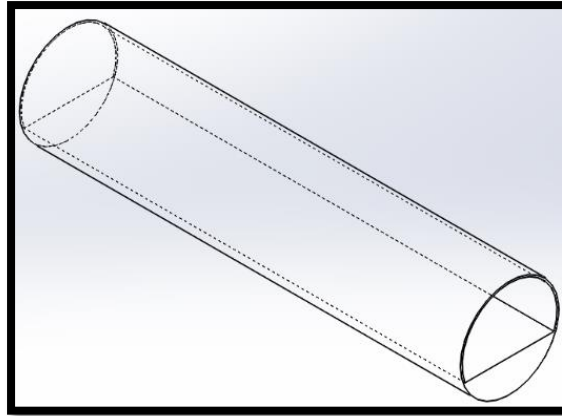
$$F_c = 44\text{N}$$

Ahora se calcula el área que ocupa el grano de café en la parte inferior del cilindro antes del tostado entonces se tiene la ecuación 8:

$$V_1 = A \times l$$

En la figura 43, se observa el área que se quiere encontrar que está delimitada por el rectángulo con el semicírculo

Entonces de la ecuación 8 se despeja el área:



**Figura 43.** Esquema del cilindro tostador con el área de café.

**Fuente.** Autor

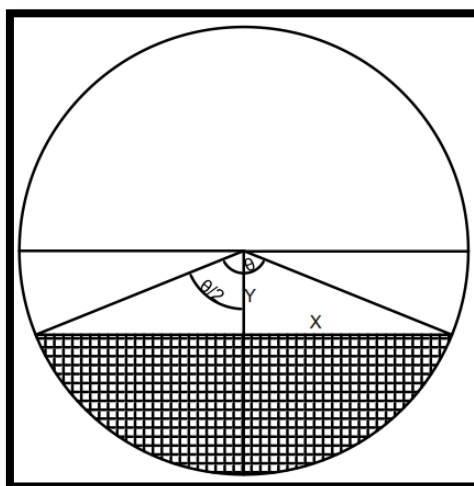
$$A = \frac{V_1}{l}$$

$$A = \frac{0.0252m^3}{0.785m}$$

$$A = 0.0321m^2$$

Ahora se procede a realizar un análisis para encontrar el área de forma frontal del café que ocupa en el cilindro cuando este se encuentra en reposo y frío sin alteraciones en su volumen entonces se realiza el siguiente procedimiento:

En la figura 44 se muestra la parte sombreada que es el área para calcular.



**Figura 44.** Cilindro vista frontal para cálculo del área.

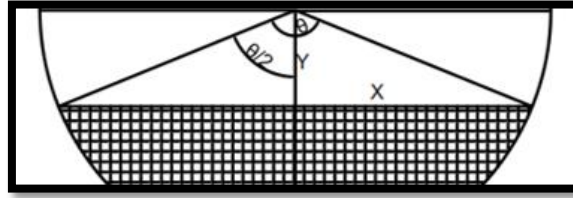
**Fuente.** Autor

Entonces de la figura 44 se halla el área del segmento que es:



$$A_{seg} = \frac{\theta}{2} \times R^2$$

Ahora se encuentra el área del triángulo grande que se muestra en la figura 45:



**Figura 45.** Esquema para calcular el área del triángulo.

**Fuente.** Autor

$$A_{\Delta} = \frac{2X(Y)}{2} = X \times Y$$

Para esto se debe conocer el valor de (X) y (Y), que por el teorema de Pitágoras es posible encontrar las incógnitas.

$$X = R(\sin \frac{\theta}{2})$$

$$Y = R(\cos \frac{\theta}{2})$$

Entonces estos valores se reemplazan en el área del triángulo y se tiene:

$$A_{\Delta} = \frac{R^2 \times \sin \theta}{2}$$

Ahora con los valores del área del segmento y del triángulo se procede a encontrar el área del semicírculo que ocupa el café como se muestra a continuación.

$$A_{sem} = A_{seg} - A_{\Delta}$$

Reemplazando los valores

$$A_{sem} = \frac{\theta}{2} \times R^2 - \frac{R^2 \times \sin \theta}{2}$$

$$A_{sem} = \frac{R^2}{2} (\theta - \sin \theta)$$

Mediante un proceso iterativo se pudo encontrar el valor del ángulo  $\theta$  y se obtuvo el siguiente resultado:

$$\theta = 149^\circ = 2.60rad$$

Para encontrar la presión se calcula el área que forma un rectángulo en el cilindro debido a que el café se encuentra depositado en la parte inferior del cilindro entonces se tiene:

$$A_{rec} = 2X \times l$$

Entonces el valor de la coordenada X es el siguiente:

$$X = 0.175m(\sin \frac{149}{2})$$

$$X = 0.1686m$$

Se reemplaza los valores y se encuentra el área del rectángulo:

$$A_{rec} = 2(0.1686m) \times 0.785m$$

$$A_{rec} = 0.2647m^2$$

Ahora la presión ejercida del café hacia las paredes del cilindro se lo calcula con la ecuación 9:

$$p = \frac{F_c}{A_{rec}}$$

$$p = \frac{44N}{0.2647m^2}$$

$$p = 166.23 \frac{N}{m^2}$$

Con estos valores se puede encontrar el espesor del cilindro tomando en cuenta que el cilindro es de pared delgada entonces se aplica la ecuación 10:

$$e = \frac{p \times D_{ex}}{2 \times \sigma}$$

El valor de  $\sigma$  se lo obtiene de acuerdo a las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 que se obtiene de la tabla 4 y es de 276MPa, ya que este es el esfuerzo a la fluencia, entonces reemplazando todos los valores ya obtenidos se calcula el espesor:

$$e = \frac{166.23 \frac{N}{m^2} \times 0.35m}{2 \times 276 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}$$

$$e = \frac{58.18m}{552000000}$$

$$e = 0.000000105m$$

- **Selección del espesor de la lámina.**

Debido a que en el mercado no hay un diámetro tan bajo como el calculado se procede a seleccionar la lámina de acero inoxidable que más se usa en los diseños de tostadoras esto se puede observar en la tabla 13:

**Tabla 13.** Espesores usados en diferentes tostadoras.

<b>Espesores usados en diferentes diseños</b>				
	<b>Tostador 1</b> (Luis Lozada, 2009)	<b>Tostador 2</b> (Lucas, 2011)	<b>Tostador 3</b> (Rocha, 2014)	<b>Tostador 4</b> (BONILLA BALAREZO FERNANDO ANTONIO, 2011)
<b>Espesor (mm)</b>	2	2	0.7	2

**Fuente.** (Luis Lozada, 2009), (Lucas, 2011), (Rocha, 2014), (BONILLA BALAREZO FERNANDO ANTONIO, 2011)

Con esto se puede aclarar que el espesor más usado para los diseños y con experimentos realizados en los mismos, se puede elegir un espesor comercial de 2mm para que pueda ser implementado en el diseño de la máquina tostadora de café gracias a las propiedades, como por ejemplo tiene un espesor sobredimensionado tomando en cuenta un número mayor al mínimo soldable, la deformación y el desgaste, que tiene la plancha de acero inoxidable como se observan en el anexo B.2.

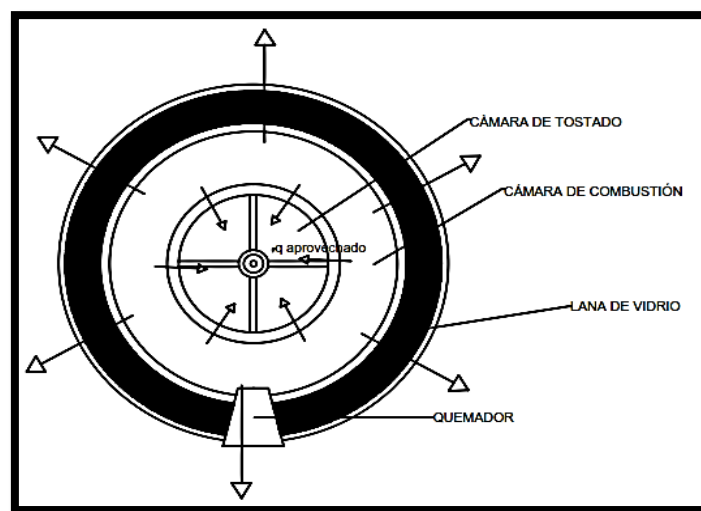
### **6.3.3 Sistema de tostado.**

La cámara de tostado es aquella que mantiene el calor para que el café pueda tostarse de manera uniforme y así obtener las propiedades deseadas. El material de que será utilizado para la cámara de combustión es el AISI 304 de 2mm de espesor, también se usa un recubrimiento de lana de vidrio de 100mm de espesor y una capa final que es la plancha metálica cuyo material es el ASTM A36 con un espesor de 2mm al igual que la plancha del tambor tostador.

Según las investigaciones realizadas en diferentes diseños de tostadores similares a las del diseño se usa un espacio vacío de la cámara de combustión de 150mm por lado, para tener un espacio adecuado donde el calor se acumule y pueda calentar el cilindro de tostado.

- **Temperaturas y energías de la cámara de tostado**

En el sistema de tostado de café hay dos flujos que se originan en la cámara de combustión, estos están orientados de forma opuesta, el primer flujo es la energía que entra a la cámara de tostado como calor aprovechado para tostar el café, el otro flujo es la energía que se dirige a los exteriores como calor perdido en el sistema, como se puede apreciar en la figura 46.



**Figura 46.** Flujo de calor en el sistema de tostado.

**Fuente.** Autor

Para el cálculo del flujo de calor tanto aprovechado como perdido por el sistema, se usan las ecuaciones 11 y 12 de resistencia tanto para la conducción como convección en cilindro.

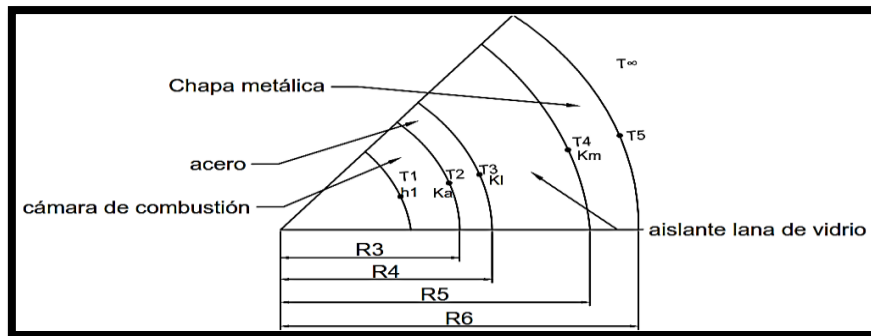
Resistencia térmica por convección

$$R_{t,conv} = \frac{1}{h * A}$$

Resistencia térmica por conducción:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln \frac{r_{ext}}{r_{int}}}{2\pi Lk}$$

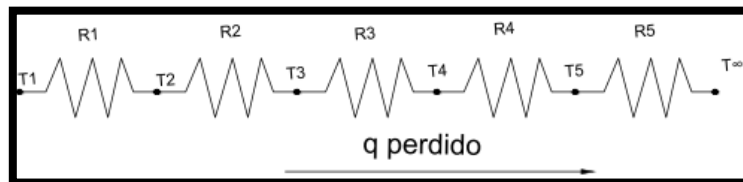
A continuación se esquematiza los diferentes elementos que aparecen en el flujo de calor perdido en el sistema, tal como se muestra en la figura 47.



**Figura 47.** Capas externas al cilindro tostador.

**Fuente.** Autor

Para comprender de mejor manera como se transfiere el calor a los exteriores del cilindro de tostado se realiza el circuito térmico mostrado en la figura 48.



**Figura 48.** Circuito térmico del calor perdido.

**Fuete.** Autor

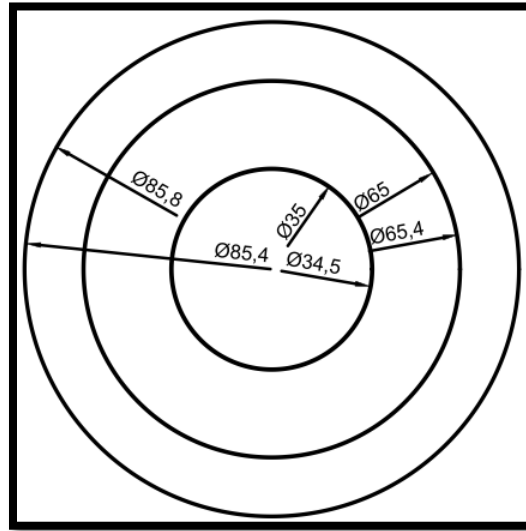
En la tabla 14 se observan las características de conductividad, convección y radiación, que fueron analizados mediante investigaciones para seleccionar los valores adecuados para el diseño como se muestra a continuación.

**Tabla 14.** Características de coeficientes de convección, radiación y conducción.

Características de coeficientes de convección, radiación y conductividad térmica de materiales.		
Coeficiente de convección en la cámara de combustión. $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$	$h_1$	5
Coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente. $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$	$h_\infty$	5
Coeficiente de radiación a la temperatura ambiente. $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$	$h_r$	11
Conductividad térmica para acero inoxidable. $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$	$K_a$	14.9
Conductividad térmica de lana de vidrio. $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$	$K_l$	0.046
Conductividad térmica para plancha metálica. $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$	$K_m$	60.5
Coeficiente de convección para la cámara de tostado $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$	$h_i$	150

**Fuente.** (Tablas y Diagramas De Propiedades), (Miliarium, s.f.), (Universidad de las Fuerzas Armadas), (Lucas, 2011), (José Cujilema, 2010), (José Cujilema, 2010)

En la figura 49 se muestran las dimensiones del cilindro con sus respectivas incógnitas para entender de mejor manera el análisis para encontrar el calor perdido y aprovechado en el sistema.



**Figura 49.** Dimensiones de la máquina, vista frontal.

**Fuente.** Autor

Datos:

$$r_4 = 0.175 - 0.002 = 0.173m \text{ (Dato de diseño)}$$

$$r_3 = 0.175m$$

$$r_5 = r_3 + 150 \times 10^{-3} = 0.325m$$

$$r_6 = r_5 + 2 \times 10^{-3} = 0.327m.$$

$$K_a = 14.9 \frac{W}{m.^{\circ}C} \text{ Tabla 14}$$

$$K_L = 0.040 \frac{W}{m.^{\circ}C} \text{ Tabla 14}$$

$$K_m = 60.5 \frac{W}{m.^{\circ}C} \text{ Tabla 14}$$

$$h_r = 11 \frac{W}{m.^2.^{\circ}C} \text{ Tabla 14}$$

$$h_1 = 5 \frac{W}{m.^2.^{\circ}C} \text{ Tabla 14}$$

$$h_{\infty} = 5 \frac{W}{m.^2.^{\circ}C} \text{ Tabla 14}$$

$T_{\infty} = 22^{\circ}\text{C}$  (Temperatura ambiente promedio en el cantón Puyango)

$T_1 = 200^{\circ}\text{C}$ : Tabla 1

$$r_7 = r_6 + 100 \times 10^{-3} = 0.427\text{m.}$$

$$r_8 = r_7 + 2 \times 10^{-3} = 0.429\text{m.}$$

$$l = 0.785\text{m.}$$

- **Cálculo del área de la cámara de tostado y de la cámara de combustión**

Para encontrar este resultado se aplica la ecuación 13:

$$A_5 = 2\pi r_5 l = 2\pi(0.325)(0.785) = 1.60\text{m}^2$$

$$A_8 = 2\pi r_8 l = 2\pi(0.429)(0.785) = 2.116\text{m}^2$$

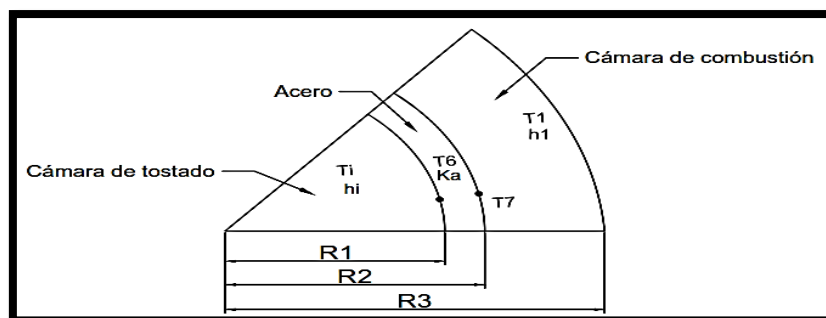
Aplicando la ecuación 11 y 12 de la resistencia térmica se tiene el siguiente resultado:

$$R_{T,1} = \frac{1}{h_1 A_5} + \frac{\ln \frac{r_6}{r_5}}{2 \cdot \pi \cdot k_a \cdot l} + \frac{\ln \frac{r_7}{r_6}}{2 \cdot \pi \cdot k_l \cdot l} + \frac{\ln \frac{r_8}{r_7}}{2 \cdot \pi \cdot k_m \cdot l} + \frac{1}{(h_{\infty} + h_r) \cdot A_8}$$

$$R_{T,1} = \frac{1}{8} + \frac{0.00613}{73.5} + \frac{0.267}{0.197} + \frac{0.00467}{298.40} + \frac{1}{33.856}$$

$R_{T,1} = 1.51 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ ; Este valor de la resistencia térmica, es para el flujo de calor que sale.

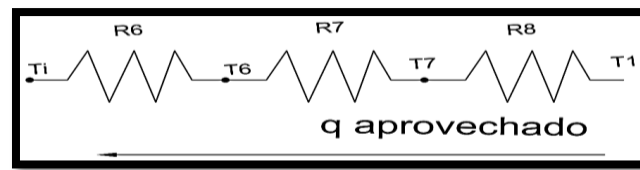
La figura 50 muestra los diferentes elementos que se encuentran en el flujo de calor aprovechados en la cámara de tostado, tomando en cuenta también la lámina de acero y la cámara de combustión.



**Figura 50.** Capas internas desde la cámara de combustión.

Fuete. Autor

Para comprender de mejor manera el sistema de transferencia de calor en la cámara de tostado, se esquematiza el circuito térmico como se muestra en la figura 51.



**Figura 51.** Circuito térmico del calor aprovechado.

**Fuete.** Autor

Para el flujo de calor que ingresa se aplica las ecuaciones 11 y 12 para obtener el resultado de la resistencia térmica para el flujo aprovechado.

$$R_{T2} = R_6 + R_7 + R_8$$

$$R_{T2} = \frac{1}{h_i A_4} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2 \cdot \pi \cdot k_a \cdot l} + \frac{1}{h_1 A_5}$$

Datos:

$$h_i = 150 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ (José Cujilema, 2010)}$$

$$h_1 = 5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ (José Cujilema, 2010)}$$

$$A_5 = 2\pi R_5 l = 2\pi(0.325)(0.785) = 1.602 m^2$$

$$A_4 = 2\pi R_4 l = 2\pi(0.173)(0.785) = 0.853 m^2$$

$$R_{T2} = 0.00781 - 0.0001564 + 0.1248 = \mathbf{0.1324} \frac{^\circ C}{W}$$

- **Cálculo de la cantidad de flujo necesario para el tostado.**

Aplicando la ecuación 14 se puede encontrar el flujo de calor.

$$q = \frac{\Delta T}{R_{ter}}$$

Para esto primero se encuentra el flujo másico con la ecuación 15:

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



Datos:

$$\Delta t = 18min = 1080s$$

$$m = 11.33Kg \text{ (Dato de diseño)}$$

$$\dot{m} = \frac{11.33}{1080} = 0.0105 \frac{Kg}{s}$$

Con el flujo másico y con el dato del calor específico del café, se puede encontrar la cantidad de energía necesaria para tostar desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de tostado de 200°C (Solà, s.f.). Mediante la ecuación 16.

$$q_{aprov} = \dot{m} * Cp * (T_i - T_{amb})$$

Según (Jonathan Felipe Lee Laverde, 2013) se utilizó el método de las mezclas para determinar el calor específico del café en el rango de humedad del grano del 11 al 45% en b.h. (base humedad)

Para esto se calcula el calor específico del grano del café con la ecuación 17 (Jonathan Felipe Lee Laverde, 2013):

$$C_p = 1,3556 + 5,7859M$$

Donde:

$M$ : contenido de humedad base seca, 13,64% (SlideShare, s.f.)

Reemplazando el contenido de humedad se obtiene:

$$C_p = 1,3556 + 5,7859(0,1364)$$

$$C_p = 2,145 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}$$

Ahora se puede encontrar la energía que se debe suministrar al café para que pase de 22 a 200°C.

$$q_{aprov} = \left(0.0105 \frac{Kg}{s}\right) \left(2,145 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}\right) (200 - 22)^\circ C$$

$$q_{aprov} = 3.94 KW$$

Con esto se puede encontrar la temperatura de la cámara de combustión aplicando la ecuación 21:

$$q_{aprov} = \frac{(T_1 - T_i)}{R_{T,2}}$$

$$T_1 = q_{aprov} * R_{T,2} + T_i = 3.94 \times 10^3 W \left( 0.1324 \frac{^\circ C}{W} \right) + 200^\circ C$$

$$T_1 = 721.65^\circ C$$

Ahora aprovechando la temperatura de la cámara de combustión se encuentra el valor de la energía que se pierde con la ecuación 14:

$$q_{perd} = \frac{(T_1 - T_\infty)}{R_{T,1}} = \frac{(721.65 - 22)^\circ C}{1.51 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$q_{perd} = 463.34W$$

Con esto se obtiene la energía que debe suministrar el quemador, entonces se aplica la ecuación 18:

$$q_{tot} = q_{aprov} + q_{perd}$$

$$q_{tot} = 3.94 KW + 463.34W$$

$$q_{tot} = 4.40KW = 3783.14 \frac{Kcal}{h}$$

- **Selección de los quemadores.**

En el anexo F.1 se puede observar de mejor manera las características técnicas del quemador que se implementara en el diseño para que tambor de tostado se pueda calentar.

El quemador seleccionado para la máquina es el QUEMADOR EM-3G

#### **6.3.4 Sistema motriz.**

El sistema motriz es el encargado de proporcionar el movimiento rotatorio de manera constante al cilindro donde se va a tostar el café y se pueda distribuir uniformemente en toda el área del cilindro durante el tiempo establecido para así proporcionar un buen tueste.

- **Selección del motor**

El motor es el encargado de proporcionar un torque necesario para que la máquina a diseñar funcione. El motor mueve un eje pasante mediante un conjunto de poleas de transmisión que le dan la velocidad de giro adecuado para el tambor de la máquina tostadora y está sujeto a dos chumaceras en las partes laterales del tambor y por último el motor suministra la potencia de giro para mezclar el grano. La máquina tendrá un funcionamiento diario de 8 horas a una temperatura promedio del cantón Puyango de 22°C

Para la selección del motor es necesario realizar el cálculo del torque en los puntos en los que este actúa para poder encontrar la potencia con ayuda de la velocidad angular:

Para esto se realiza el siguiente análisis del tambor, que en las aletas del tambor que están a 45° se encuentra distribuido el grano de café en dos de ellas, se considera que la masa en cada una de las aletas está dividida en partes iguales, y la distancia del centro de cada masa hasta el eje neutro para el cálculo del torque como se muestra a continuación:

Conversión de las rpm a rad/s.

Donde:

$\omega$ : Velocidad angular 45 rpm

R: Radio del tambor 17.5cm = 0.175m

$$\omega = 45 \frac{rev}{min} \times \frac{1min}{60s} \times \frac{2\pi rad}{1rev} = 4.71 \frac{rad}{s}$$

- **Cálculo del torque.**

De la ecuación 19 que se aplica para el cálculo de la potencia para esto se procede a calcular el torque total necesario para girar el cilindro realizando el análisis que se muestra en la figura 52:

$$P = \tau \times \omega$$

Donde:

P: Potencia del motor

$\tau$ : Torque que se ejerce en el cilindro

$\omega$ : Velocidad angular

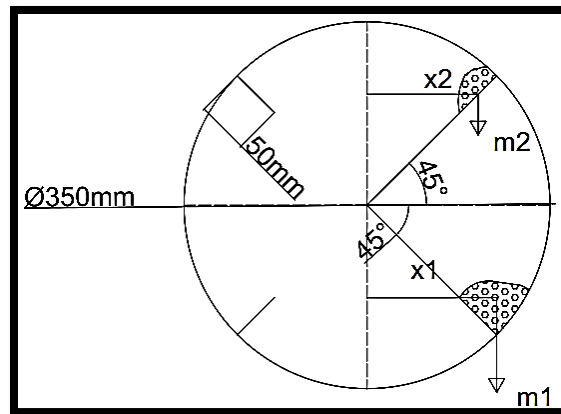


Figura 52. Distribución del café en las aletas.

Fuente. Autor

Para esto se aplica la ecuación 20 para el cálculo del torque que se aplica en las aspas con la distribución de la masa:

$$\tau = (m_1 \times x_1 \times g) + (m_2 \times x_2 \times g)$$

Donde:

$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ : Gravedad

$m_1 = m_2$ : Masa distribuida en las paletas, Kg

$x_1$ : distancia del centro de  $m_1$

$x_2$ : distancia del centro de  $m_2$

De la figura 52 se obtiene las ecuaciones para la distancia  $x_1$ ,  $x_2$  y con esas ecuaciones se calcula las incógnitas para luego reemplazarlas en la ecuación 20 para encontrar el torque.

$$\cos 45 = \frac{x_2}{0.15}$$

$$x_2 = 0.106m$$

$$\cos 45 = \frac{x_1}{0.175}$$

$$x_1 = 0.124m$$

Ahora  $m_1$  y  $m_2$  como se mencionó es la mitad de la masa total entonces se tiene:

$$m_1 = \frac{m}{2} = \frac{11.33Kg}{2}$$

$$m_1 = m_2 = 5.66Kg$$

Entonces con los resultados encontrados se procede a reemplazar los valores en la ecuación 20 para el cálculo del torque necesario para mover el cilindro.

$$\tau = \left(5.66Kg \times 0.124m \times 9.81 \frac{m}{s^2}\right) + \left(5.66Kg \times 0.106m \times 9.81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$\tau = 12.76Nm$$

El torque con aceleración se procede a calcular aplicando la ecuación 21 de torque considerando masa, radio y aceleración angular.

$$\tau_{acel} = m \times r^2 \times \alpha$$

Entonces la aceleración angular se la puede expresar de la siguiente manera aplicando la ecuación 22:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t}$$

La velocidad angular inicial es cero, entonces se reemplaza esta expresión en la ecuación del torque con aceleración y se tiene el siguiente resultado: el tiempo se lo considera de 3s ya que es el tiempo en que se demora el motor en arrancar y estar totalmente regulado y normal.

$$\tau_{acel} = 11.33Kg \times 0.175^2m^2 \times \frac{4.71 \frac{rad}{s}}{3s}$$

$$\tau_{acel} = 0.5446Nm$$

El torque total:

$$\tau_t = 0.5446Nm + 12.76Nm$$

$$\tau_t = 13.30Nm$$

Entonces la potencia que se utiliza para el motor será la siguiente:

$$P = \tau_t \times \omega$$

$$P = 0.06264Kw = 0.084hp$$

Entonces debido a que la potencia es muy baja se utiliza el motor con la potencia de 0.5 hp que es comercial en nuestro medio las características del motor se las puede observar de mejor manera en el anexo G.1, allí se muestran las especificaciones del motor elegido para el diseño.

- **Transmisión**

### Métodos de transmisión

Para el diseño de la tostadora se necesita un sistema de transmisión que puede ser de bandas, cadenas o engranes, para luego seleccionar el mejor sistema y emplearlo en el diseño de la tostadora y pueda transmitir la velocidad del motor hacia el eje.

Criterios de evaluación para encontrar el método adecuado de transmisión.

Se considera los siguientes criterios para realizar la evaluación y posteriormente la selección del sistema de transmisión.

- Costo
- Disponibilidad en el mercad
- Mantenimiento

A continuación se describe en la tabla 15 las características de cada uno de estos sistemas:

**Tabla 15.** Características de sistemas de transmisión.

Tipos/Criterios	Costo	Disponibilidad	Mantenimiento	Perdidas de transmisión
<b>Engranaje</b>	Costoso	Son complicados de conseguir. Y en casos se deben mandar a fabricar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesitan lubricación</li> <li>• Tienen baja resistencia al polvo e impurezas</li> <li>• Necesita mantenimiento constante y riguroso</li> </ul>	Tienen pocas perdidas

Cadenas	Precio medio	Hay una disponibilidad mayor que en el caso de los engranes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita lubricación</li> <li>• Baja resistencia al polvo e impurezas</li> <li>• Necesitan mantenimiento moderado</li> </ul>	Perdidas moderadas
Bandas	Económicas	Disponibilidad en el mercado mayor, son más fáciles de encontrar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesitan lubricación</li> <li>• Tienen mayor resistencia al polvo e impurezas</li> <li>• Necesita menor mantenimiento</li> </ul>	Tienen más pérdidas que en los casos anteriores.

Fuente. (Rocha, 2014)

- **Matriz de decisión.**

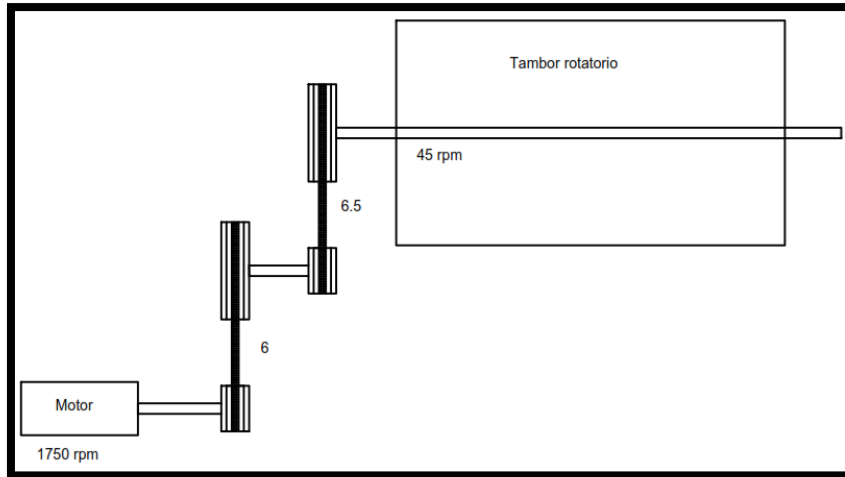
De acuerdo a las características se realiza una matriz para la selección del mejor sistema, dando una valoración de 1 al 10, donde 10 será acertado, el 1 menos acertado y 5 intermedio tal como se observa en la tabla 16.

Tabla 16. Matriz de selección de transmisión.

	Engranajes	Cadenas	Bandas
<b>Costo</b>	1	5	10
<b>Disponibilidad</b>	5	5	10
<b>Mantenimiento</b>	1	5	10
<b>Perdidas de transmisión</b>	10	5	1
<b>Total</b>	17	20	<b>31</b>
<b>1 menos acertado</b> <b>5 intermedio</b> <b>10 acertado</b>			

Fuente. Autor

A continuación se esquematiza en la figura 53 como queda la unión del motor con el sistema de transmisión por poleas con correas y conectado al eje motriz que hace girar el tambor de la máquina tostadora-enfriadora de café.



**Figura 53.** Transmisión de movimiento por poleas

**Fuente.** Autor

- **Diseño de las transmisiones por correa:**

A continuación se calcula la potencia corregida para la selección de cada polea, en el anexo C.2 se muestra el diagrama para seleccionar el tipo de polea que se usa en el diseño.

De manera general se aplica la ecuación 23 que es de la relación de velocidad total:

$$i_t = \frac{n_1}{n_4} = \frac{1750rpm}{45rpm} = 38.89$$

Tomando la raíz cuadrada de la relación de velocidad total se obtiene la relación aproximada para cada sistema de poleas:

$$\sqrt{i_t} = \sqrt{38.89} = 6.23$$

Con esto se puede asumir que  $i_1 \approx i_2 \approx 6.23$

El valor para la primera relación de velocidad de 6.

Entonces para el primer sistema aplicando la ecuación 23 se obtiene la velocidad de la polea conducida en rpm:

$$n_2 = \frac{n_1}{i_1} = \frac{1750rpm}{6} = \mathbf{292rpm}$$

- **Selección del diámetro mínimo de la polea del motor.**

Del diagrama mostrado en el anexo C.2 se encuentra el diámetro menor para la polea del motor



Entonces  $d_1 = 3 \text{ pulg} = 76\text{mm}$

- **Cálculo del diámetro de la polea conducida**

Teniendo el valor de la relación de velocidad y el diámetro de la polea conductora se calcula el diámetro de la polea conducida, para esto se aplica la ecuación 24 y se obtiene el diámetro dos:

$$d_2 = i_1 \times d_1$$

$$d_2 = 6 \times 76\text{mm}$$

$$d_2 = 456\text{mm}$$

- **Selección del tipo de correas.**

Del anexo C.2 se selecciona el tipo de correa A para implementar en la máquina tostadora de café. Para esto se calculó la potencia corregida al seleccionar el coeficiente de corrección de la potencia igual a 1.2 ya que la máquina tiene 8 horas de trabajo diarias aproximadamente y este coeficiente es para máquinas similares a la tostadora-enfriadora de café estos criterios se los puede apreciar de mejor manera en el anexo C.1.

- **Cálculo de potencia corregida**

Para interpretar el diagrama de selección de correas se multiplica la potencia por un coeficiente de corrección, para esto se aplica la ecuación 25 como se observa a continuación.

$$P_{corre} = P \times 1.2$$

$$P_{corre} = 0.5\text{hp} \times 1.2$$

$$P_{corre} = 0.6\text{hp}$$

Obtenido el resultado de potencia corregida y las rpm de salida se elige el tipo correa que es el tipo A.

- **Distancia mínima entre centros.**

Para la distancia entre centro se considera el criterio de que si la relación de velocidad es mayor o igual a 3, entonces la distancia es igual al diámetro de la polea conducida.

Entonces:

$I$ : Distancia entre centros.

$$I = d_2 = 456mm$$

- **Longitud de la correa.**

Aplicando la ecuación 26 para el cálculo de la longitud de la correa se tiene el resultado siguiente:

$$L_{co} = 2I + 1.57(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4I}$$

$$L_{co} = 2(456mm) + 1.57(456mm + 76mm) + \frac{(456mm - 76mm)^2}{4(456mm)}$$

$$L_{co} = 912mm + 835.24mm + 79.167mm$$

$$L_{co} = 1826.40mm$$

Para la máquina se usa una correa de tipo A, con relación de velocidad de 6 a una velocidad de giro de salida del motor de 1750rpm y con longitud de correa de 1826.40mm=72in para la reducción de velocidad de 1750 a 292rpm.

- **Factor de corrección de la longitud de la correa.**

Para la corrección de la longitud de la correa se debe establecer un factor de corrección del largo que se designara por ( $F_{cl}$ ), entonces para encontrar este factor se puede observar en el anexo C.4 donde está la especificación para encontrar el factor con la longitud de la correa en pulgadas superior a la que se calculó ya que es la disponible. Entonces se obtiene:

$$F_{cl} = 1.02$$

Para una longitud de 75in con sección A.

- **Determinación del arco de contacto.**

Para el cálculo del arco de contacto de la correa en la polea menor se aplica la ecuación 27.

$$arco = 180 - 57 \left( \frac{d_2 - d_1}{I} \right)$$

$$arco = 180 - 57 \left( \frac{456mm - 76mm}{456mm} \right)$$

$$arco = 180 - 47.5$$

$$arco = 132.5^\circ$$

- **Factor de corrección del arco de contacto**

Para la selección del factor de corrección del arco de contacto ( $F_{c\text{arc}}$ ), se observa en el anexo C.5 con el resultado del arco, entonces el factor de corrección se elegirá del arco de contacto más aproximado del que se calculó que es de  $134^\circ$  entonces el factor de corrección es de 0.87.

$$arco_{cr} = 132.5^\circ \times F_{c\text{arc}}$$

$$arco_{cr} = 132.5^\circ \times 0.87$$

$$arco_{cr} = \mathbf{115.28^\circ}$$

- **Cálculo de la velocidad de la correa**

Para el cálculo de la velocidad tangencia ( $V_t$ ), expresada en m/s. se obtiene aplicando la ecuación 28:

$$V_t = \frac{\pi \times d_1 \times n_1}{60 \times 1000}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene el resultado siguiente:

$$V_t = \frac{\pi \times 72\text{mm} \times 1750\text{rpm}}{60 \times 1000}$$

$$V_t = \mathbf{6.6 \frac{m}{s}}$$

- **Cálculo de la prestación base.**

Para determinar la prestación base de igual manera se lo selecciona del anexo C.3 para encontrar el valor en hp de la prestación base y de la prestación adicional por relación de transmisión entonces se aplica la ecuación 29 y se obtiene la prestación base corregida.

$$P_{bk} = P_b + \text{prestación adicional por relación de transmisión}$$

Del anexo C se selecciona la sección A

$$P_b = 1.11hp$$

*prestación adicional por relación de transmisión = 0.29hp*

Reemplazando los valores en la ecuación 29 de obtiene:

$$P_{bk} = 1.11hp + 0.29hp$$

$$\mathbf{P_{bk} = 1.4hp}$$

- **Cálculo de la potencia efectiva por correa**

Aplicando la ecuación 30 se obtiene la potencia efectiva por correa.

$$P_e = P_{bk} \times F_{cl} \times F_{carc}$$

$$P_e = 1.4hp \times 1.02 \times 0.87$$

$$\mathbf{P_e = 1.24hp}$$

Y con esto se puede saber la cantidad de correas que se usa en el sistema con la ecuación 31.

$$Can. de correas = \frac{Potencia\ corregida}{Potencia\ efectiva}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$Can. de correas = \frac{0.6}{1.24}$$

$$Can. de correas = 0.48$$

Con este resultado se puede concluir que se necesita únicamente una correa para transmitir el movimiento del primer par de poleas.

- **Para el segundo grupo de poleas:**

Ahora para el segundo grupo de poleas se tiene:

Relación de velocidad.

$$i_2 = \frac{n_2}{n_4}$$

$$i_2 = \frac{292rpm}{45rpm}$$

$$i_2 = 6.5$$

*Selección del diámetro mínimo de la polea del motor.*

Del diagrama mostrado en el anexo C.2 se encuentra el diámetro menor para el segundo grupo de poleas.

Entonces  $d_3 = 3 \text{ pulg} = 76mm$

*Cálculo del diámetro de la polea conducida*

Teniendo el valor de la relación de velocidad y el diámetro de la polea conductora se calcula el diámetro de la polea conducida:

$$i_2 = \frac{d_4}{d_3}$$

$$d_4 = i_2 \times d_3$$

$$d_4 = 6.5 \times 76mm$$

$$d_4 = 494mm$$

*Selección del tipo de correas.*

Al igual que en el primer grupo de poleas del anexo C.2 se selecciona el tipo de correa que es el tipo A para ubicar en la máquina tostadora-enfriadora de café. Se corrige la potencia corregida con el mismo coeficiente de corrección de la potencia que nos da 1.2 para una máquina que trabaja 8 hora diarias aproximadamente.

*Cálculo de potencia corregida*

Para interpretar el diagrama de selección de correas se multiplica la potencia por un coeficiente de corrección entonces se tiene:

$$P_{corre} = 0.6hp$$

Obtenido el resultado de potencia corregida y teniendo las rpm de salida el tipo de correa es A.

*Distancia mínima entre centros.*

Para la distancia entre centros se considera el criterio de que si la relación de velocidad es mayor o igual a 3, entonces la distancia es igual al diámetro de la polea conducida.

Entonces:

*I*: Distancia entre centros.

$$I = d_4 = 494mm$$

*Longitud de la correa.*

Aplicando la ecuación 26 para el cálculo de la longitud de la correa se tiene el resultado siguiente:

$$L_{co} = 2I + 1.57(d_4 + d_3) + \frac{(d_4 - d_3)^2}{4I}$$

$$L_{co} = 2(494mm) + 1.57(494mm + 76mm) + \frac{(494mm - 76mm)^2}{4(494mm)}$$

$$L_{co} = 988mm + 894.9mm + 88.42mm$$

$$L_{co} = 1971.32mm$$

Para la máquina se usa una correa de tipo A, con longitud de 1971.32=78in para la reducción de velocidad de 292rpm a 45rpm.

*Factor de corrección de la longitud de la correa.*

Para la corrección de la longitud de la correa se debe establecer un factor de corrección del largo designado por (F<sub>cl</sub>), entonces, para encontrar este factor, se puede observar en el anexo C.4, que está la especificación para encontrar el factor con la longitud de la correa en pulgadas superior a la que se calculó ya que es la disponible en la tabla. Entonces se obtiene:

$$F_{cl} = 1.04$$

Para una longitud de 80in con sección A que es el más aproximado a 78in.

### *Determinación del arco de contacto.*

Para el cálculo del arco de contacto de la correa en la polea menor se aplica la ecuación 27.

$$arco = 180 - 57 \left( \frac{d_4 - d_3}{I} \right)$$

$$arco = 180 - 57 \left( \frac{494mm - 76mm}{494mm} \right)$$

$$arco = 180 - 48.23$$

$$\mathbf{arco = 131.8^\circ}$$

### *Factor de corrección del arco de contacto*

Para la selección del factor de corrección del arco de contacto ( $F_{carc}$ ), se observa en el anexo C.5 con el resultado del arco, entonces el factor de corrección se elegirá del arco de contacto más aproximado del que se calculó que es de  $134^\circ$  entonces el factor de corrección es de 0.87.

$$arco_{cr} = 132.5^\circ \times F_{carc}$$

$$arco_{cr} = 131.8^\circ \times 0.87$$

$$arco_{cr} = \mathbf{114.67^\circ}$$

### *Cálculo de la velocidad de la correa*

El cálculo de la velocidad tangencia ( $V_t$ ), expresada en m/s. se puede obtener aplicando la ecuación 28:

$$V_t = \frac{\pi \times d_3 \times n_3}{60 \times 1000}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene el resultado siguiente:

$$V_t = \frac{\pi \times 72mm \times 292rpm}{60 \times 1000}$$

$$V_t = \mathbf{1.10 \frac{m}{s}}$$

*Cálculo de la prestación base.*

Para determinar la prestación base, se considera de igual manera el anexo C.3 para encontrar el valor en hp de la prestación base y de la prestación adicional por relación de transmisión y así aplicando la ecuación 29 se obtiene la prestación base corregida.

$$P_{bk} = P_b + \text{prestación adicional por relación de transmisión}$$

Entonces del anexo C.3 para sección **A** se obtiene el valor de la prestación base.

$$P_b = 0.38hp$$

$$\text{prestación adicional por relación de transmisión} = 0.07hp$$

Reemplazando los valores en la ecuación 29 se obtiene:

$$P_{bk} = 0.38hp + 0.07hp$$

$$\mathbf{P_{bk} = 0.45hp}$$

*Cálculo de la potencia efectiva por correa*

Aplicando la ecuación 30 se obtiene la potencia efectiva por correa.

$$P_e = P_{bk} \times F_{cl} \times F_{carc}$$

$$P_e = 0.45hp \times 1.04 \times 0.87$$

$$\mathbf{P_e = 0.40hp}$$

Y con esto se puede saber la cantidad de correas que se usa en el sistema usando la ecuación 31.

$$\text{Can. de correas} = \frac{\text{Potencia corregida}}{\text{Potencia efectiva}}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$\text{Can. de correas} = \frac{0.6}{0.40}$$

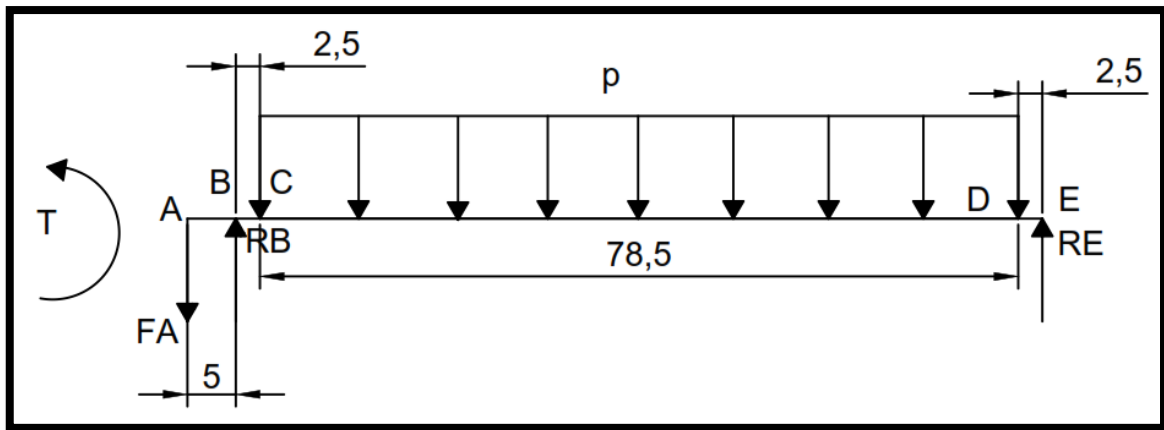
$$\text{Can. de correas} = 1.5$$



Con este resultado se puede concluir que se necesitan dos correas para el segundo grupo de poleas para darle el movimiento rotacional necesario al tambor donde se tuesta el café.

- **Dimensionamiento del eje de transmisión del cilindro de tueste.**

El eje está sometido a momentos torsor y a flexiones, y a diferentes fuerzas que actúan en el eje como son la fuerza distribuida del cilindro con el café, las reacciones en las chumaceras y la fuerza tangencial de la polea. Para entender de mejor manera como están actuando las cargas a lo largo del eje se realiza un diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 54.



**Figura 54.** Diagrama de cuerpo libre del eje.

Fuente. Autor

Donde:

$F_A$ : Fuerza motriz  $N$

$R_B$ : Reacción en el rodamiento  $B$   $N$

$R_E$ : Reacción en el rodamiento  $E$   $N$

$p$ : Carga distribuida  $N/m$

$\tau$ : Momento torsor  $N \times m$

*Cálculo del peso total.*

Para obtener el peso total se aplica la ecuación 32:

$$p = \rho_{café} \times A_{cil} + \frac{m}{l}$$

Donde:

$\rho_{café}$ : Densidad del café,  $450 \frac{Kg}{m^3}$

$p$ : Carga Distribuida.

$A_{cil}$ : Área transversal del cilindro de tostado mediante la ecuación 33 (SCRIBD., 2013),

$$A_{cil} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

$m$ : Masa del Café,  $11.33Kg$

$l$ : Longitud del cilindro de tostado,  $0,785m$

$$A_{cil} = 0.0022m^2$$

Reemplazando los datos en la ecuación de la carga distribuida se obtiene el resultado como se muestra a continuación:

$$p = 450 \frac{Kg}{m^3} * 0,0022m^2 + \frac{11.33Kg}{0.785m}$$

$$p = 15.42 \frac{Kg}{m} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 151.27 \frac{N}{m}$$

Por lo tanto el peso total expresada en unidad de fuerza es:

$$p = 151.27 \frac{N}{m} * 0.785m = 118.75N$$

Para encontrar el momento torsor se utiliza la ecuación 19 de la potencia del motor, y así se recalcula el valor del momento torsor.

$$P = M_T * \omega$$

$$M_T = \tau = \frac{372.85W}{4.71 \frac{rad}{s}} = 79.16Nm$$

La tensión  $F_A$  es perpendicular al eje del cilindro y su valor se lo calcula con la ecuación 34:

$$F_A = \frac{2M_T}{d_4}$$

Donde:

$F_A$ : Tensión transmitida por la correa,  $N$

$M_T$ : Momento torsor en el eje,  $Nm$

$d_4$ : Diámetro de la polea conducida.  $m$

$$F_A = \frac{2(79.16)Nm}{0.494m}$$

$$F_A = 320.48N$$

De la figura 54. Se procede a encontrar las reacciones en los puntos correspondientes realizando la sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos.

$$\sum F_y = 0$$

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

$$\sum M_B = 0$$

$$-p(0.4175) + R_B(0.835) - F_A(0.885) = 0$$

Despejando la fuerza en el punto B se obtiene el siguiente valor:

$$R_B = 399.05N$$

Despejando la fuerza en el punto E y reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$R_E = 439.23 - 399.05$$

$$R_E = 40.18N$$

Aplicando el método de áreas se puede encontrar los valores de las fuerzas cortantes y momento flector para ser graficados.

**Fuerzas cortantes V:**

$$V_1 = -320.48N$$

$$V_2 = V_1 + 399.05 = 78.57N$$

$$V_3 = V_2 - 118.75N = -40.18N$$

$$V_4 = V_3 + 40.18N = 0$$

**Momento flector M:**

$$M_1 = 0Nm$$

$$M_2 = M_1 - (V_1 \times 0.05) = -16.02Nm$$

$$M_3 = M_2 + (V_2 \times 0.025m) = -14.06Nm$$

$$M_4 = M_3 + \left( \frac{V_2 \times 0.52N}{2} \right) = 6.36Nm$$

$$M_5 = M_4 + \left( \frac{V_3 \times 0.265}{2} \right) = 1.03Nm$$

$$M_6 = M_5 + (V_3 \times 0.025) = 0$$



Y el factor de seguridad se lo selecciona de la tabla 17 para obtener mayor seguridad en el diseño del eje.

Entonces de acuerdo al anexo D.1 y el criterio más apropiado para que se relacione con la máquina tostadora-enfriadora de café se tiene el factor de seguridad  $F_s = 2.5$  ahora con el factor se procede a reemplazar en la ecuación para el cálculo del diámetro.

Aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo se obtiene la ecuación 35 para el cálculo del diámetro del eje de transmisión:

$$d = \left[ \frac{32 \times F_s}{\pi S_y} (M^2 + \tau^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Reemplazando los valores de la ecuación:

$$d = \left[ \frac{32 \times 2.5}{\pi \times 710000000} (16.024^2 + 79.16^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ \frac{80}{2230530784} (6523.074)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = [0.00000003586(80.77)]^{1/3}$$

$$\mathbf{d = 0.01425m = 14.25m}$$

Ahora del anexo D.2 se procede a seleccionar el diámetro comercial mayor al calculado y se lo selecciona para el diseño del eje de transmisión que es el de  $7/8in = 22.22mm$

Entonces con el diámetro comercial se realiza un nuevo cálculo del factor de seguridad aplicando la ecuación 36:

$$F_s = \frac{\pi d^3 \times S_y}{32[M^2 + \tau^2]^{1/2}}$$

$$\mathbf{F_s = \frac{7582.37}{2584.5} = 2.9}$$

*Selección del tipo de rodamiento (chumaceras).*

Selección del tamaño del rodamiento utilizando las fórmulas de la vida

Selección de la vida nominal de un rodamiento, entonces la vida nominal en horas de funcionamiento es: (SKF, 2006, pág. 75)

$$L_{10h} = 60000$$

A continuación se muestra la ecuación 37 de la vida nominal con la cual se puede encontrar el valor de la capacidad de carga dinámica del rodamiento.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Donde:

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

$P = R_B$ : Carga radial que se aplica en el punto B

$C$ : Capacidad de carga dinámica

$p$ : Exponente de la ecuación de la vida. 3 para los rodamientos de bolas

Ahora de la ecuación 38 de la vida expresada en horas de funcionamiento se despeja y se calcula la duración nominal en horas de servicio:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$

Despejando la duración o vida nominal:

$$L_{10} = \frac{L_{10h} \times 60n}{10^6}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se calcula la vida nominal donde  $n$  es la velocidad de giro en rpm

$$L_{10} = \frac{60000 \times 60(45)}{10^6}$$

$$L_{10} = 162$$

Ahora con los datos encontrados para la capacidad de carga dinámica se procede a despejar y a reemplazar los valores en la ecuación de la vida nominal

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$C = L_{10}^{1/p} \times P$$

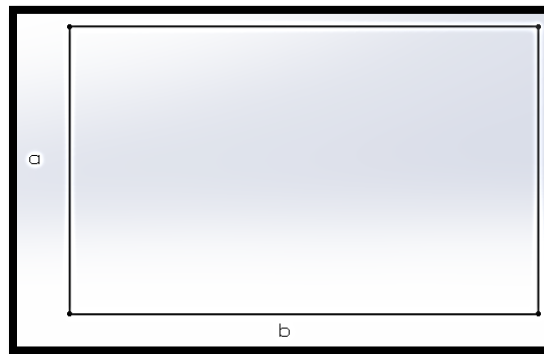
$$C = 2175.36N$$

Con esto se conoce que el valor de la capacidad de carga dinámica no es superior al disponible en el catálogo SKF. Entonces se selecciona el rodamiento más adecuado para el diseño.

Diámetro interior de 22mm con un diámetro exterior de 50 mm, con capacidad de carga dinámica de 14kN, con designación SKF 62/22 mostrado en el anexo I.1

#### *Cálculo de chaveta y chavetero*

Para realizar la transmisión del par torsor de la catalina conducida y el eje del cilindro de tostado, se debe usar una chaveta (la chaveta es de caras paralelas y se ajusta lateralmente, pero sin ejercer presión radial, permitiendo en determinados casos el desplazamiento axial entre las piezas) para garantizar la conservación del par de giro del motor hacia el cilindro giratorio dentro de la tostadora de café y también posicione axialmente a la polea. En la figura 56 se muestran las dimensiones de la chaveta rectangular.

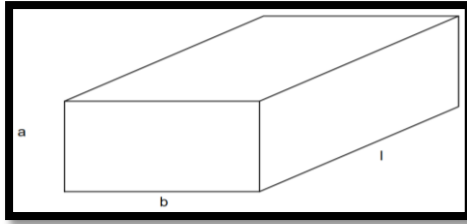


**Figura 56.** Dimensiones de la chaveta rectangular.

**Fuente.** Autor

Las chavetas vienen en tamaños estándar con sus dimensiones determinadas según la norma DIN 6885 B, y se los puede seleccionar en base al eje de transmisión de la máquina tostadora-enfriadora de café, como se observa en el anexo H.1; debido a que el diámetro del eje de transmisión es igual a 22mm se elige las dimensiones correspondientes como se observa a continuación en la figura 57.





**Figura 57.** Estructura de la chaveta.

**Fuente.** Autor

Donde:

$h$ : Altura, 7[mm]

$b$ : Ancho, 8[mm]

$l$ : Longitud, [mm]

$M$ : Material, por lo general su valor es  $S_y = 36Kpsi = 248.21 MPa$  con un material de acero ASTM A36

Como se observa, la chaveta hace un trabajo a cortante puro, por lo tanto, ésta emplea para su análisis la teoría de la distorsión. Para encontrar la incógnita se aplica la ecuación 39 como se muestra a continuación.

$$F_{Cort} = \frac{M_{\tau}}{r_{eje}}$$

Donde:

$F_C$ : Fuerza Cortante, [N]

$M_{\tau}$ : Momento torsor del eje, 79.16[N × m]

$r_{eje}$ : Radio del eje, 11 [mm]

Entonces reemplazando los valores en la ecuación 65 se obtiene la fuerza cortante.

$$F_C = 7196.35 N$$

La teoría de la energía de la distorsión menciona que, el factor de seguridad ( $n_c$ ) se puede calcular con la ecuación 40.

$$n_c = \frac{S_{sy}}{\tau_c}$$

Donde:

$S_{sy}$ : Es el esfuerzo cortante a la fluencia [MPa]

$S_y$ : Es el esfuerzo de fluencia a la tensión [MPa]

$\tau_c$ : Esfuerzo cortante [MPa]

Aplicando la ecuación 41 se calcula el esfuerzo cortante a la fluencia.

$$S_{sy} = 0.577S_y$$

Para este problema se selecciona un factor de seguridad de 2.5 para materiales promedio que operan en ambientes comunes y sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse. (Módulo, 2015), por lo tanto es posible determinar el esfuerzo cortante.

$$S_{sy} = 0.577 \times 248.21 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 143.22 \text{ MPa} =$$

Ahora se despeja de la ecuación 40 el esfuerzo cortante ( $\tau_c$ ):

$$\tau_c = \frac{S_{sy}}{n_c} = \frac{143.22 \text{ MPa}}{2.5} = 57.28 \text{ MPa} = 5.73 \times 10^{-5} \text{ M} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A continuación se realiza el cálculo para encontrar la longitud de la chaveta ( $l$ ) aplicando la ecuación 42.

$$\tau_c = \frac{F_c}{b \times l}$$

$$l = \frac{F_c}{b \times \tau_c} = \frac{(7196.35 \text{ N})}{8 \text{ mm} (0.0000573 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})} = 15.7 \text{ mm}$$

### 6.3.5 Sistema de enfriado de café.

El enfriado de café se da por medio de un cilindro enfriador que gira a 45rpm, el café va a girar constantemente mediante unas aspas conectadas al eje motriz, el café tostado va a estar sometido a una temperatura de enfriamiento de 22°C que es la temperatura ambiente, según investigaciones el café luego de estar tostado no debe superar en 5°C (Depósito de documentos de la FAO, 2016) la temperatura ambiente (como recomendación) para ser retirado del enfriador y posteriormente ser almacenado, la temperatura del café enfriado será de 27°C, según las investigaciones realizadas esa temperatura de enfriado se alcanza durante 30 minutos (Depósito de documentos de la FAO, 2016) a temperatura ambiente.

La parte que sirve para enfriar el café se muestra a continuación, luego de que es tostado el café es necesario tener un deposito donde se pueda enfriar antes de ser almacenado para luego ser molido, entonces para esto es necesario un enfriador de café cuyas dimensiones se consideran basado en el cilindro tostador, por lo tanto el diámetro del enfriador de café es de 35cm, también se debe diseñar una malla en la cual va a estar depositado el café y con la ayuda de un sistema de enfriado conectado a un motor el café se enfría en un tiempo determinado, en la figura 58 se muestra un esquema de cómo queda el enfriador de café.

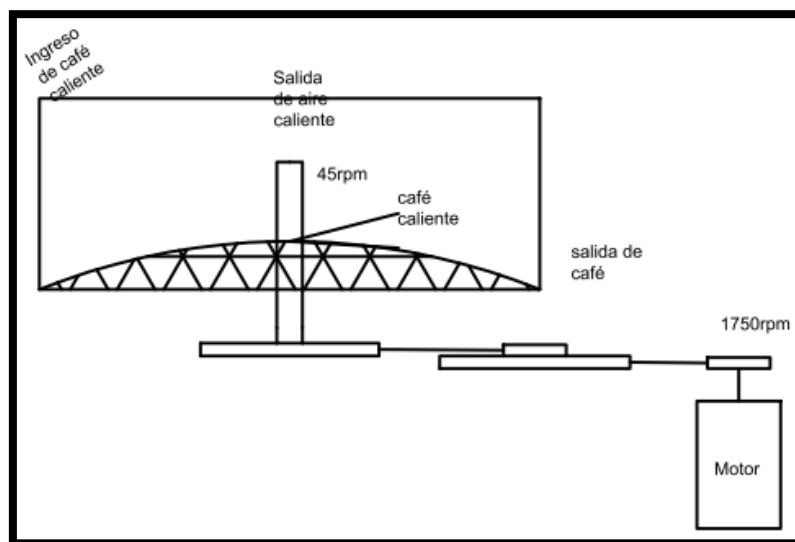


Figura 58. Esquema del enfriador de café.

Fuente. Autor

El tipo de material será el mismo que se utilizó para el cilindro tostador, acero AISI 304, cuyas propiedades se muestran en la tabla 4.

Según (FórumCafé, s.f.), la consecuencia lógica por el incremento de volumen y la pérdida de masa es una menor densidad en el café después del tostado. La densidad bruta del grano entero juega un papel importante para un almacenado y envasado eficiente. La densidad bruta es la masa por el volumen. Cuanto más corto es el proceso de tostado, mayor es la pérdida de densidad a un mismo grado de tostado. Los experimentos muestran una reducción de la densidad bruta de un 12% para un café tostado durante 3 *minutos*.

Entonces, tomando en consideración los criterios mencionados por (FórumCafé, s.f.), se encuentra el porcentaje aproximado de reducción que sufre la densidad de café realizando una regla de tres, y su resultado es:

$$X = 72\%$$

Con el valor se puede calcular la densidad aproximada del café ya tostado como se muestra a continuación, el 72% de 450 que es la densidad del grano antes de tostar será la siguiente.

$$\rho_{ct} = 450 \frac{Kg}{m^3} (0.72)$$

$$\rho_{ct} = 324 \frac{Kg}{m^3}$$

Entonces la densidad menos el 72 % que se reduce es igual a:

$$\rho_{ct} = 450 - 324$$

$$\rho_{ct} = 126 \frac{Kg}{m^3}$$

### **Cálculo de la masa del café con las propiedades de tostado.**

$V_2 = 0.0378m^3$ : Volumen total del café al final del tostado

$\rho_{ct} = 126 \frac{Kg}{m^3}$ : Densidad aproximada del café tostado

Entonces con estos datos se reemplazan los valores en la ecuación 1 para el cálculo de la masa:

$$m = V_2 \times \rho_{ct}$$

$$m = 0.0378m^3 \times 126 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m = 4.76Kg$$

Entonces el peso en Newton es el siguiente.

$$P_{eso} = m \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_{eso} = 46.72N$$

### Cálculo de la longitud del cilindro.

Para obtener la longitud del enfriador se aplica la ecuación 8:

$$L_{ct} = h = \frac{V_2}{\pi r^2}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$h = \frac{0.0378m^3}{\pi(0.175)^2}$$

$$h = 0.393m$$

Calculada la altura de la parte del enfriador se dimensiona la tapa en la cual está ubicada la compuerta de ingreso del café, la salida del aire caliente y la salida del café ya enfriado para luego ser almacenado. En la figura 59 se observa las dimensiones del enfriador de café en centímetros.

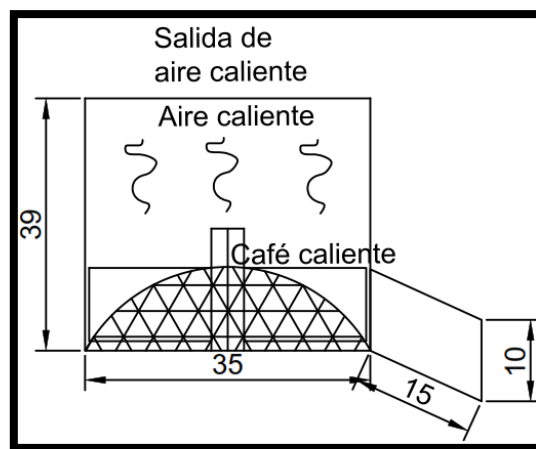
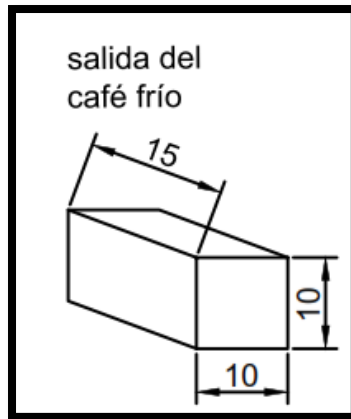


Figura 59. Dimensiones del enfriador de café.

Fuente. Autor

A continuación se muestran las dimensiones de la tolva de salida de café.



**Figura 60.** Dimensiones de la boca de salida del café.

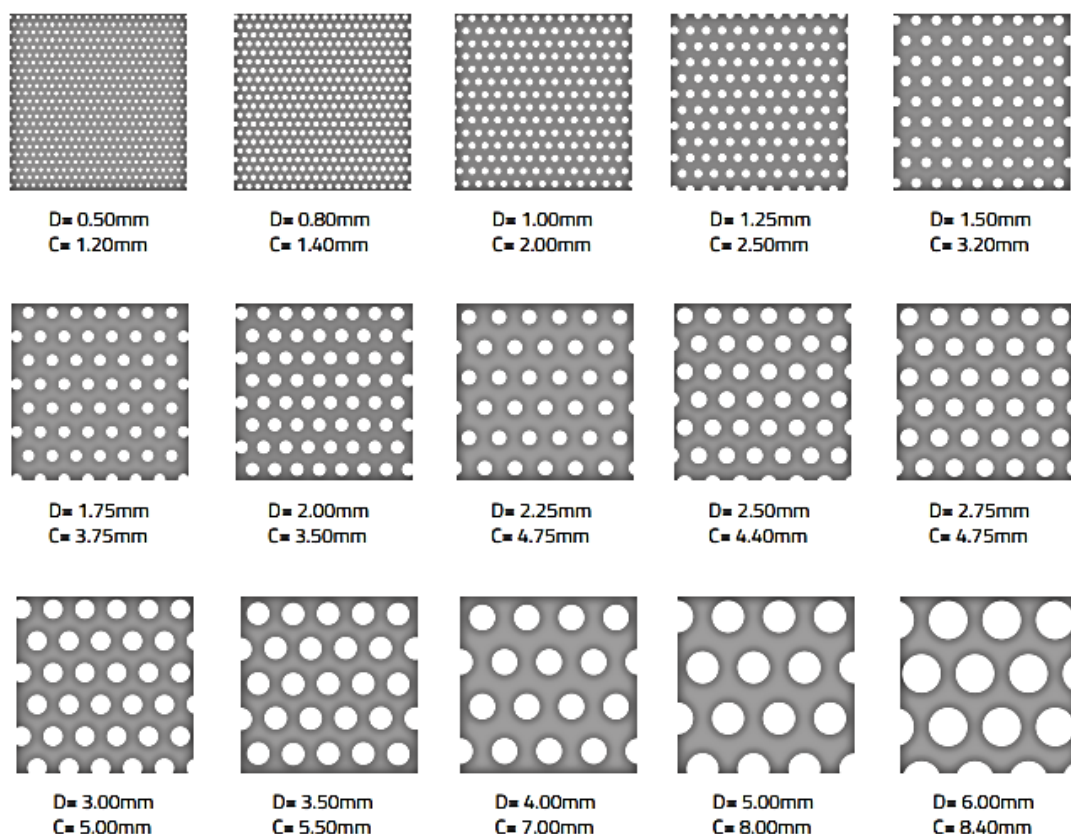
**Fuente.** Autor

En la figura 60 se puede apreciar las dimensiones considerando el espacio del enfriador, las dimensiones pertenecen a la salida del café.

### **Dimensionamiento de la base del depósito del café.**

Para dimensionar la base donde reposa el café se realiza un análisis considerando el tamaño del café para poder seleccionar los huecos de la malla que se ubicara en la base para que así pueda el aire fluir libremente y enfriar el café.

Entonces tomando en cuenta el tamaño del café y los diámetros recomendados para la malla se puede realizar la selección del tipo de malla que se va a usar en la base del tambor del enfriador de café. De la figura 61 se puede seleccionar un tipo de malla que se usa para ubicar en la base del enfriador y el aire pueda fluir libremente y así el café tenga una temperatura baja para poder ser almacenado. De la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 285:2006 primera versión (Republic of Ecuador, 2006) se puede encontrar el tamaño del grano de café para poder hacer una selección de la malla que se usa en el tambor del cilindro enfriador del grano de café. En el anexo E.1 se puede observar de mejor manera la selección del tamaño de café para la malla adecuada.



**Figura 61.** Diámetros de los orificios de la lámina.

**Fuente.** (Depósito de documentos de la FAO, 2016)

En la figura 61 se observa el diámetro del agujero de la lámina de acero para ubicar en la base del enfriador de acuerdo al tamaño del café verde porque es más pequeño que cuando es tostado ya que su volumen aumenta, y así pueda tener un mejor flujo de aire y se pueda enfriar el café.

### ***Sistema motriz para el enfriador***

#### **Selección del motor.**

Para el enfriador de café es necesario, al igual que en el tambor tostador, una velocidad de 45 *rpm* para que gire durante 30 *minutos* y luego pase a ser trasladado y almacenado en el lugar más adecuado para su posterior molido.

#### **Cálculo del torque acelerado.**

Se considera la masa del café tostado, el radio del tambor que es de 17.5*cm* y la aceleración angular ya calculada que es de 1.57 $rad/s^2$  estos valores se los puede reemplazar en la ecuación 21:

$$\tau_{acel} = 4.76Kg \times 0.175^2m^2 \times \frac{4.71 \frac{rad}{s}}{3s}$$

$$\tau_{acel} = 0.23Nm$$

### Calculo del torque total.

$$\tau_{tot} = \tau + \tau_{acel}$$

Siendo:

$$\tau = P_{eso} \times r$$

Donde:

$r$ : Radio del cilindro de enfriado

$$\tau = 46.72N \times 0.175m$$

$$\tau = 8.176Nm$$

Entonces el torque total es:

$$\tau_{tot} = 8.176Nm + 0.23Nm$$

$$\tau_{tot} = \mathbf{8.41Nm}$$

Con el resultado del torque se puede encontrar la potencia necesaria para el motor que se ubicará en el enfriador aplicando la ecuación 19:

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 8.41Nm \times 4.71 \frac{rad}{s}$$

$$P = 39.61W = 0.03961KW$$

$$\mathbf{P = 0.05312hp}$$

Entonces con este resultado se selecciona el motor con la misma capacidad del tambor tostador, que es de 0.5hp. Ya que la potencia del motor para el enfriado y la velocidad en rpm tiene las mismas características que el cilindro tostador el sistema de transmisión es el mismo del cilindro tostador de café.



### Sistema de transmisión.

Las características para el sistema de transmisión para el enfriador son las mismas del tambor de tostado ya que tiene la misma potencia del motor, el sistema de transmisión es seleccionado de la tabla 15 y las características se las pueden apreciar de mejor manera en la tabla 17.

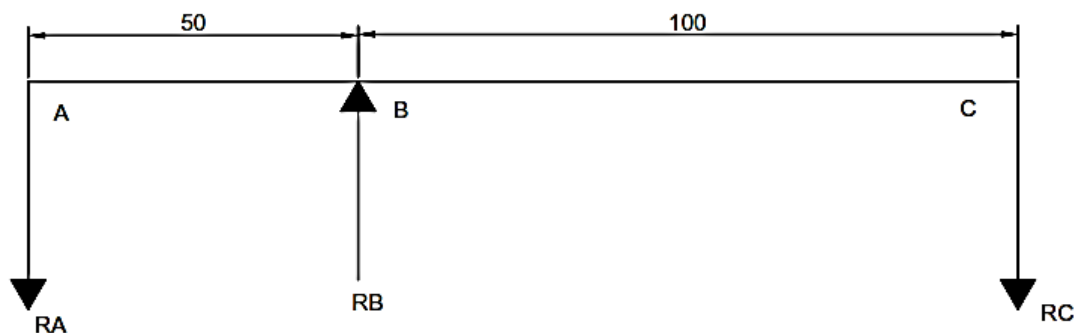
**Tabla 17.** Características del sistema de transmisión por correas.

<i>Diseño de transmisión por correa.</i>					
<i>Grupo 1 de poleas</i>			<i>Grupo 2 de poleas</i>		
<b>Velocidad de salida del motor</b>	$n_1 \text{ rpm}$	1750	<b>Velocidad de polea menor</b>	$n_3 \text{ rpm}$	292
<b>Velocidad de la polea conducida</b>	$n_2 \text{ rpm}$	292	<b>Velocidad de polea conducida</b>	$n_4 \text{ rpm}$	45
<b>Diámetro de la polea de salida</b>	$d_1 \text{ mm}$	76	<b>Diámetro de polea menor</b>	$d_3 \text{ mm}$	76
<b>Diámetro de la polea conducida</b>	$d_2 \text{ mm}$	456	<b>Diámetro de polea conducida</b>	$d_4 \text{ mm}$	494
<b>Longitud de la correa</b>	$L_{co} \text{ mm}$	1826.40	<b>Longitud de la correa</b>	$L_{co} \text{ mm}$	1971.32
<b>Cantidad de correas</b>	<i>Can. De correas</i>	1	<b>Cantidad de correas</b>	<i>Can. De correas</i>	2

Fuente. Autor

### Dimensionamiento del eje para el enfriador de café.

El eje está sometido a momento torsor y flexión, y a fuerzas que actúan en el eje como son la fuerza tangencial ejercida por la polea, la reacción en el rodamiento y la reacción ejercida en el extremo del eje. Las medidas del eje y sus reacciones se muestran en la figura 62.



**Figura 62.** Reacciones en el eje del enfriador.

Fuente. Autor

Donde:

$R_A$ : Fuerza tangencial

$R_B$ : Reacción en el punto B

$R_C$ : Reacción en el punto A

### **Cálculo del momento torsor**

Debido a que el valor de la potencia del motor para el tambor es igual a la del enfriador el valor del torque es de  $79.16Nm$  y así mismo el valor de la fuerza tangencial es  $R_A = 320.48N$  entonces con los datos ya obtenidos se procede a encontrar las reacciones tanto del punto B y C.

De la figura 62. Se realiza las sumatorias de fuerzas en y, y la sumatoria de momentos en el punto E como se muestra a continuación.

$$\sum F_y = 0$$

$$-R_A + R_B - R_C = 0$$

$$\sum M_C = 0$$

$$-R_A(0.15m) + R_B(0.1) = 0$$

$$R_B = \frac{320.48N(0.15m)}{0.1m}$$

$$R_B = 480.72N$$

Entonces despejando la reacción en el punto C:

$$-R_A + R_B = R_C$$

$$R_C = -320.48N + 480.72N$$

$$R_C = 160.24N$$

Aplicando el método de áreas se puede encontrar los puntos críticos de fuerza cortante y momento flector:

Fuerzas cortantes:

$$V_1 = -320.48N$$

$$V_2 = V_1 + 480.72 = 160.24N$$

$$V_3 = V_2 - 160.24N = 0$$

Momento flector:

$$M_1 = 0Nm$$

$$M_2 = M_1 + (V_1 \times 0.05) = -16.02Nm$$

$$M_3 = M_2 + (V_2 \times 0.1m) = 0$$

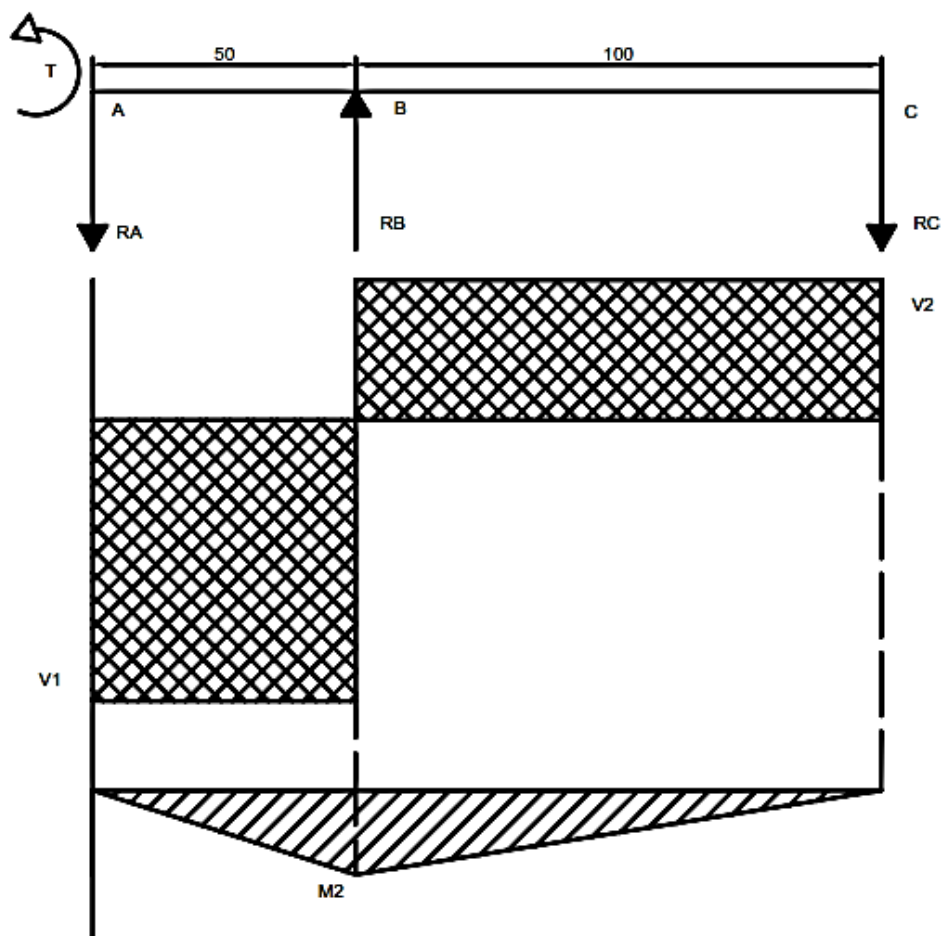


Figura 63. Diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Fuente. Autor

En la figura 63 se observa el diagrama de fuerza cortante y momento flector para encontrar los puntos críticos que se encuentran en el punto B para el momento flector y en el tramo AB para la fuerza cortante.

$$M_2 = M_{max} = 16.02Nm$$

$$V_1 = -320.48N$$

### Diseño del eje para estado de cargas estáticas.

El material a usar para el eje es el acero AISI 4340 y sus propiedades se las muestra a continuación: (DIPAC, 2016)

Resistencia a la fluencia  $S_y = 710MPa$

Al factor de seguridad para el diseño se lo selecciona de la tabla 17 para mayor seguridad en el eje.  $F_s = 2$

Aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo se obtiene la ecuación 35 para el cálculo del diámetro del eje de transmisión para el enfriador de café.

$$d = \left[ \frac{32 \times F_s}{\pi S_y} (M^2 + \tau^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ \frac{32 \times 2}{\pi \times 710000000} (16.024^2 + 79.16^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ \frac{64}{2230530784} (6523.074)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = [0.000000028(80.77)]^{1/3}$$

$$d = 0.01323m = 13.23m$$

Entonces el acero comercial que se puede encontrar en el mercado es el AISI 1018 de diámetro  $7/8 in = 22.22mm$  que se lo puede encontrar en el catálogo de (El Acero, s.f., pág. 35)

### **Selección del rodamiento.**

Entonces los rodamientos para el eje de transmisión del enfriador son de 22mm que es el diámetro comercial, y tiene las mismas características del eje de transmisión para el tambor de tostado.

Las características de rodamientos serán las siguientes:

Diámetro interior de 22mm con un diámetro exterior de 50 mm, con capacidad de carga dinámica de 14kN, con designación SKF 62/22

### **6.3.6 Diseño de la Estructura.**

#### **Dimensionamiento de la estructura de la máquina de tostado-enfriado de café.**

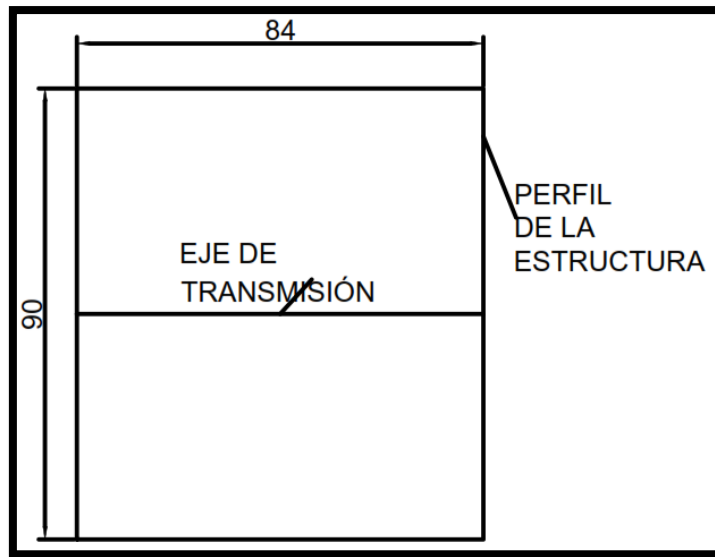
Para realizar el dimensionamiento se debe considerar las medidas del cilindro tostador y del cilindro de la cámara de combustión, así como las medidas del eje de transmisión, el ancho de las chumaceras, y para encontrar la altura de la estructura se considera las medidas de las poleas y la longitud de la correa. Se debe dejar un espacio considerable para poder ubicar los elementos que faltan como el cilindro de gas, el quemador atmosférico y el cilindro hueco que servirá para enfriar el café ya tostado. El material que se usara para la estructura es el ASTM A36.

Las dimensiones para la estructura son:

Considerando el tambor para la cámara de combustión el ancho del perfil es de 90cm

Considerando el eje de transmisión y el ancho de las chumaceras es de 8cm

Entonces las dimensiones del perfil de la estructura se las puede apreciar en la figura 64.

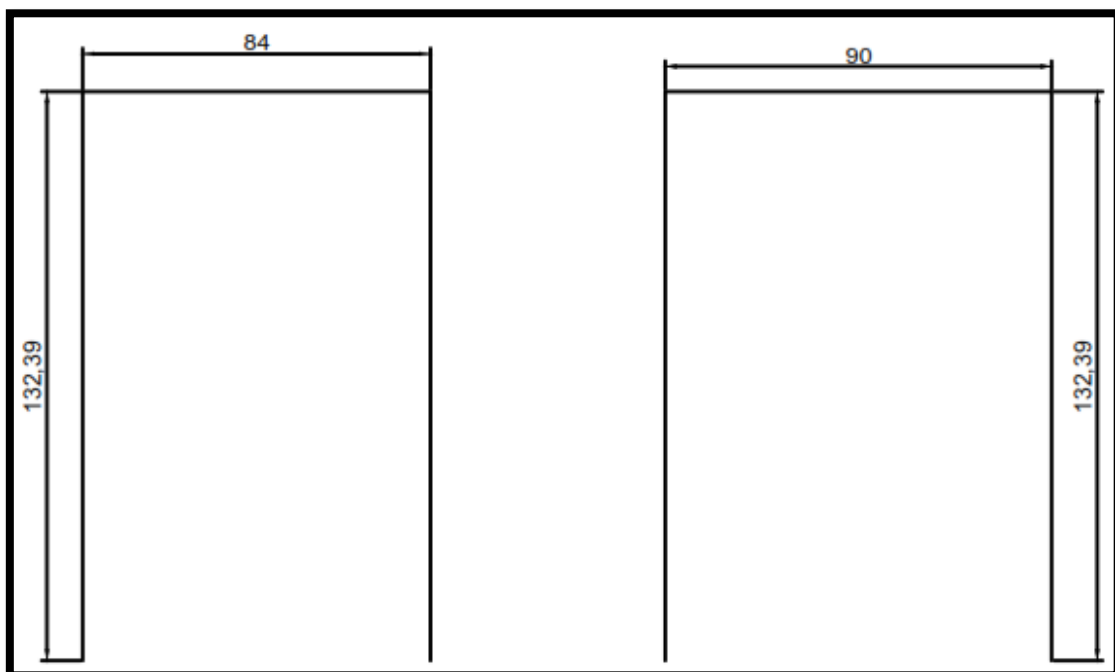


**Figura 64.** Dimensiones del perfil para el tambor de tostado.

**Fuente.** Autor

Las dimensiones para la altura son de  $1323.9\text{mm}$  considerando las dimensiones del sistema de poleas y la altura del motor.

La figura 65 muestra las dimensiones de la estructura para la instalación de la máquina tostadora de café.

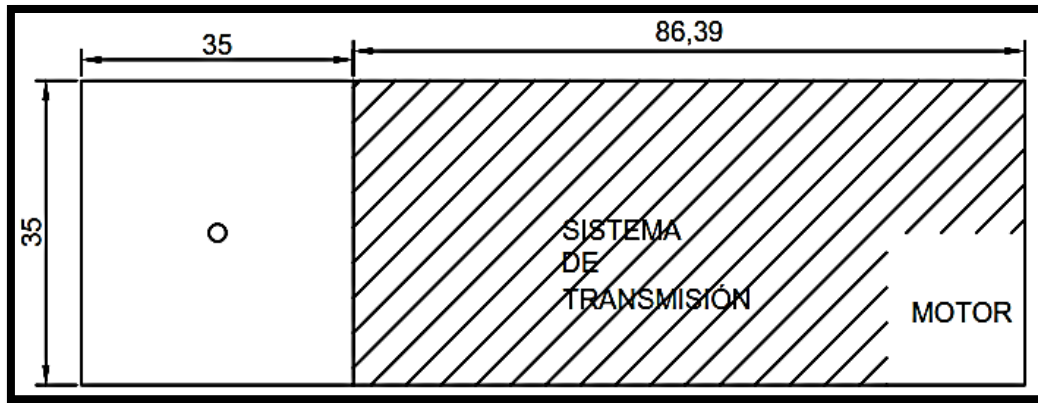


**Figura 65.** Dimensiones de la altura de estructura.

**Fuente.** Autor

Ahora para la parte del enfriado de café se considera las dimensiones del cilindro de enfriado, el eje de transmisión y del motor.

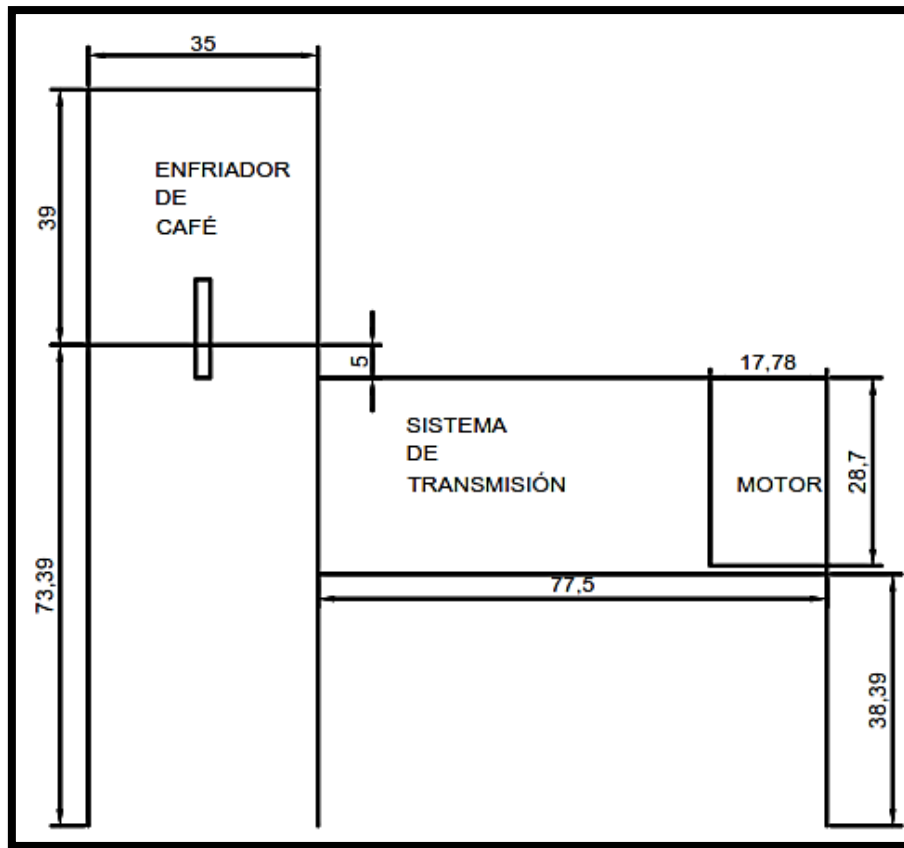
A continuación en la figura 66 se puede apreciar las medidas expresadas en centímetros del perfil donde se ubica el enfriador de café.



**Figura 66.** Dimensiones de la estructura del enfriador.

**Fuente.** Autor

A continuación se puede apreciar en la figura 67 las dimensiones de la altura de la estructura para el enfriador de café, tomando en cuenta las medidas del eje, del cilindro, del sistema de transmisión y del motor que se van a utilizar en el diseño.



**Figura 67.** Dimensiones de alturas para el enfriador.

**Fuente.** Autor

Con las dimensiones especificadas se tiene claro de cómo está diseñada la estructura para la máquina tostadora enfriadora de café y poder ser dibujada en el software correspondiente que se usa para el diseño.



### 6.3.7 Sistema de control.

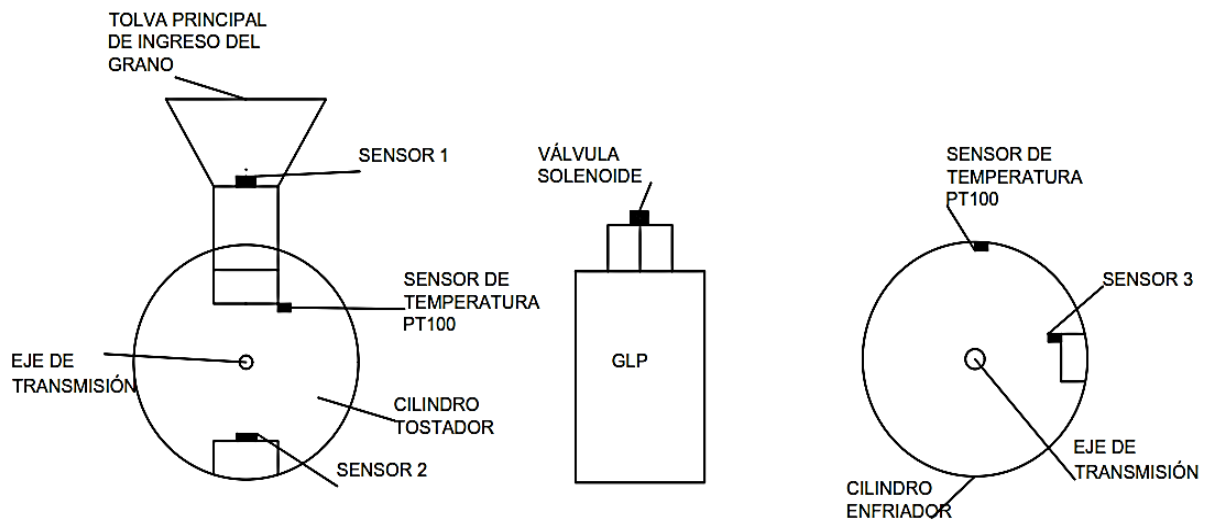
- **Descripción del sistema.**

Para empezar el proceso de tueste es necesario tener 25lb=11.33kg listos para poderlos ingresar al tambor donde es tostado el café, esto se lo hace de manera manual, luego se cierra la compuerta de la tolva de ingreso y se inicia el proceso de tostado.

Una vez que el café este dentro del tambor de tostado, se procede a presionar un pulsador, el cual sirve para encender el motor que hace girar el tambor de tostado, transcurridos 5 segundos aproximadamente se da una señal en el PLC para que se encienda el quemador, el quemador suministra calor para que el tambor alcance una temperatura aproximadamente de 200°C con rangos de variación de 5°C mayor y menor, el proceso de tostado dura 18 minutos, una vez que el tambor se mantenga a la temperatura especificada para el tueste, luego que haya transcurrido los 18 minutos el tambor seguirá girando de 2 a 3 minutos para que el café tostado sea trasladado al tambor de enfriado. Es necesario también ubicar un pulsador de emergencia, este se accionara en caso de que se detecte un cortocircuito, problemas en el sistema de tostado o cuando haya alguna falla en el proceso de tostado-enfriado de café.

El proceso de enfriado de café dura aproximadamente 30 minutos, gracias a las investigaciones realizadas se pudo encontrar el tiempo más adecuado para que se enfrié el café a temperatura ambiente, el café se ubicara en el cilindro enfriador y da inicio al movimiento rotacional para que así vaya perdiendo la temperatura de tostado y llegue a una temperatura que varía desde temperatura ambiente hasta los 27°C aproximadamente y luego de transcurrido los 48 minutos del proceso de tostado y enfriado el sistema se apaga y finaliza el proceso.

Para la automatización se muestra en la figura 68, donde van ubicados los sensores y actuador del sistema.

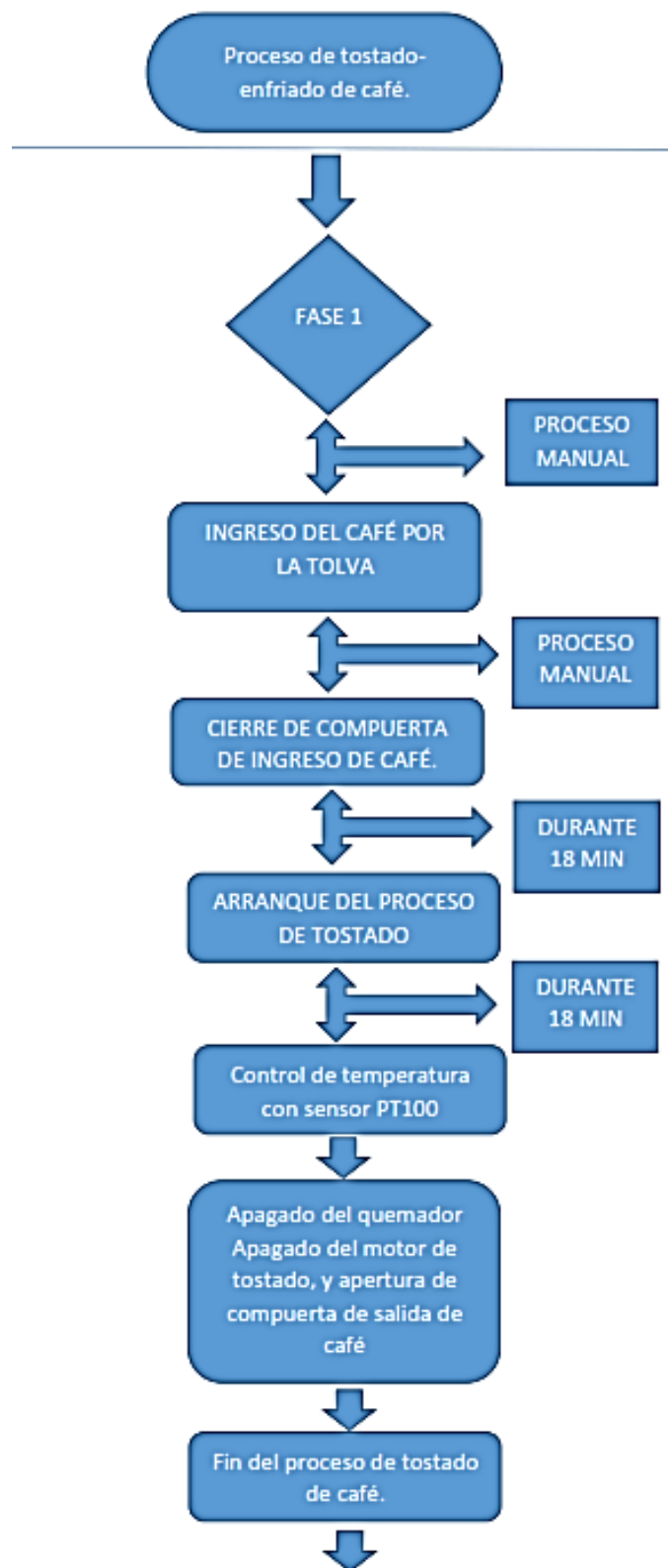


**Figura 68.** Esquema de la ubicación de controladores automáticos.

**Fuente.** Autor

- **Diagrama de flujo.**

A continuación en la figura 69 se muestra una representación gráfica de los pasos que se dan en el proceso de tostado-enfriado de café, que sirve para observar cómo funciona de mejor manera el proceso.





**Figura 69.** Diagrama de flujo del proceso de tostado-enfriado de café.

**Fuente.** Autor

Al observar el diagrama de flujo se tiene una idea más clara sobre el proceso que se debe seguir para poder tostar el café, para luego ser almacenado durante 24 horas, transcurrido ese tiempo ser molido y posteriormente ser almacenado o consumido.

- **Descripción de los equipos del sistema.**

***Cámara de tostado:*** es el lugar de más importancia de la máquina, ya que en este lugar se produce el contacto del café con el tambor caliente gracias al flujo de calor que es suministrado por un quemador atmosférico. El material que se usa para el tambor de tostado es el acero inoxidable AISI 304 de 2mm de espesor cuyas propiedades son las adecuadas para la temperatura a la que se va a someter el cilindro. Las dimensiones del cilindro son de 35cm de diámetro exterior, y 78.5cm de longitud. El movimiento rotacional lo proporciona un eje que pasa a través del cilindro y este a su vez es movido por el sistema de transmisión conectado a un motor de 0.5hp para darle una velocidad de rotación al cilindro de 45 rpm.

***Quemador atmosférico:*** este quemador es el encargado de brindar calor a la cámara de combustión, luego el cilindro tostador por conducción y convección se calienta y pueda tostar el café. El quemador tiene la capacidad de aumentar o disminuir el flujo de calor para poder mantener la temperatura deseada para el tostado de café. Este quemador tiene insertado un sensor de llama el cual permite saber si la misma está encendida para dar inicio al proceso, caso contrario el proceso no inicia para evitar la fuga de gas y provocar algún accidente.

***Tolva de ingreso:*** la tolva de ingreso es la que permite que el café ingrese a la cámara de tostado y así poder empezar el proceso de tostado de café.

***Tolva de salida:*** en cambio la tolva de salida permite que el café luego del proceso de tostado salga y sea depositado al enfriador para luego ser almacenado.

***Cilindro de enfriado:*** el cilindro de enfriado es el encargado de girar de manera constante durante 30 minutos para que el café vaya perdiendo temperatura y pueda ser luego almacenado, este cilindro gira por medio de un sistema de transmisión con las mismas características del cilindro de tostado y por medio del motor de 0.5hp para entregar una velocidad de giro de 45 rpm.

***Tolva de salida del café del enfriador:*** la tolva de salida es la encargada de permitir que salga el café del enfriador para su posterior almacenamiento.

**Cilindro de gas:** el cilindro de gas es el encargado de suministrar el gas licuado de petróleo, el cual está compuesto por butano y propano. El gas es expulsado del cilindro mediante una válvula de apertura para que pase por una manguera y llegue al quemador, se acciona la chispa y se enciende el quemador para brindarle calor en la cámara de combustión.

- **Variables del sistema**

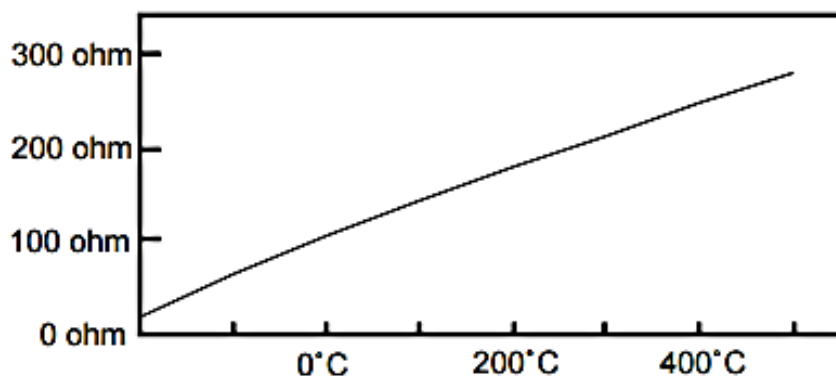
Una vez realizada la investigación bibliográfica se pudo encontrar las variables siguientes:

**Temperatura y tiempo:** debido a que este es un proceso de tostado, se debe considerar dos variables de mucha importante para el tueste que son la temperatura y el tiempo, ya que se las debe controlar y medir dentro del sistema.

El tiempo del proceso de tostado dura 18 minutos, mientras que la temperatura no es constante a lo largo del proceso y debe ser controlada por medio de un sensor de temperatura. Para la propuesta de este diseño el tambor de tostado debe estar en una temperatura de 200°C a 205°C durante el tiempo de 18 minutos que dura el tostado y luego transcurra el tiempo de 30 minutos para que el café sea enfriado, sumando los dos tiempo todo el proceso dura 48 minutos en total.

### **Sensores**

**PT 100:** en la figura 70, se observa una de las características más significativas de este tipo de sensores como son los PT100, que consiste en un platino que a 0°C tiene una resistencia eléctrica de 100ohms y que conforme aumenta la temperatura su resistencia también va en aumento.



**Figura 70.** Gráfica de cómo actúa la resistencia con la temperatura.

**Fuente.** (ARIAN Control & Instrumentación)

A continuación en la tabla 18 se observan las características técnicas del sensor.

**Tabla 18.** Características técnicas del sensor PT100

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
<b>Tipo de sensor</b>	Resistencia de Platino 100Ω a 0°C
<b>Rango de T° operativo</b>	0-400°C
<b>Material del cuerpo</b>	Incomel 600
<b>Exactitud</b>	0.5°C
<b>Conexión</b>	3 cables (RTD, RTD, compensación)

Fuente. (INGECO Z.S.)

El diagrama de conexión del PT100 con el módulo se lo aprecia de mejor manera en el anexo J.3.

Para esto los cables deben tener la misma resistencia eléctrica. Y por supuesto con un lector de temperatura para este tipo de conexión. En la figura 71, se observa el transmisor digital para el PT100.



**Figura 71.** Transmisor con display digital

Fuente. (Instrumentos WIKA)

**Finales de carrera:** En la figura 72, se aprecia como es la estructura del sensor final de carrera o sensor de contacto que se usa en la propuesta de automatización, servirá para enviar una señal al autómatas programable de que la puerta de entrada del café del tostador y salida del café del enfriador está cerrada para que inicie el proceso de tostado-enfriado de café. Su función es

tener contacto con las puertas para que el final de carrera realice un recorrido con el cual envía una señal con un funcionamiento positivo.



**Figura 72.** Finales de carrera.

**Fuente.** (Restrepo, 2014)

En el anexo J.5 se muestra el diagrama de conexión y sus características técnicas.

**Sensor de llama:** el sensor de llama que se usará para el quemador será el encargado de controlar si la llama se enciende para poder arrancar el proceso de tostado de café, si no se enciende el proceso no encenderá y evitara la fuga de gas dentro del cilindro de tostado de café. Gracias al quemador que fue seleccionado se pude controlar la llama automáticamente y evitar esta clase de fugas ya que cuenta con una vigilancia de llama con sistema de ionización.

**Pulsador:** el pulsador es el que permite el encendido o el apagado del sistema, interrumpiendo o desviando el paso de la corriente eléctrica u otras señales en el circuito eléctrico.

En la figura 73 se muestra la forma de un pulsador normalmente abierto que se usa en la propuesta de automatización y un botón de parada de emergencia.



**Figura 73.** Pulsador de inicio y de emergencia

**Fuente.** (Pulsador, 2016)

El diagrama de conexión del pulsador es mejor apreciado en el anexo J.6



**Válvula solenoide UNI-D:** esta válvula es de tipo normalmente cerrada para que a la hora de accionarse se habrá y permita el paso de gas hacia el quemador. Este tipo de válvula se la selecciona debido a que es comercial en el mercado y tiene las características necesarias para poder controlar la salida del gas. En la figura 74 se puede apreciar de mejor manera como es la válvula.



**Figura 74.** Válvula solenoide UNI-D

**Fuente.** (Vía Industrial, 2016)

A continuación en la tabla 19 se observan los datos técnicos de la válvula solenoide que se usa para controlar el paso del gas de forma automática mediante el PLC Logo!

**Tabla 19.** Datos técnicos de la válvula solenoide para control de la salida del gas.

<b>Datos técnicos de la válvula solenoide</b>	
• <b>Dimensiones</b>	• 41x63x21mm
• <b>Conexión/Orificio</b>	• 1/4" NPT/2.5mm
• <b>Cuerpo</b>	• Bronces
• <b>Temperatura fluido</b>	• -5 a 80°C
• <b>Presión</b>	• 0-103psi
• <b>Marca</b>	• UNI-D
• <b>Existencia</b>	• Inmediata

**Fuente.** (Vía Industrial, 2016)

Las características de este tipo de válvula solenoide UNI-D, modelo UW, cuerpo en bronce, normalmente cerrada, de dos vías, con dos posiciones, para el uso de gas, su temperatura varia de -5°C a 80°C, presión diferencial 0 a 100 psi, para gas y funciona a voltaje de 110 VAC/220 VAC. En el anexo F.2 se puede apreciar la tabla técnica de la válvula solenoide.

## **Actuador.**

*Relé de control:* el relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. En la figura 75 se observa un relé de control.



**Figura 75.** Relé de control

**Fuente.** (Joffre Ochoa, 2012)

*Actuador lineal:* el actuador lineal permitirá que la puerta de salida del café se accione para permitir que el café se traslade del cilindro tostador de café hacia el enfriador. A continuación en la figura 76 se observa como es un servomotor físicamente.



**Figura 76.** Actuador lineal

**Fuente.** (Joffre Ochoa, 2012)

En el anexo J.8 se pueden observar las características del actuador lineal que se usa en el diseño para el cierre y apertura de compuertas.

- **Autómata programable.**

### **Logo! 230RC**

Debido a las características requeridas del anexo J se puede elegir este tipo de Logo! Ya que cuenta con una tensión de alimentación que puede ser de 115 o 240V en AC o DC. En la figura 77 se observa el tipo de logo que se va utilizar.



**Figura 77.** Logo! 230RC

**Fuente.** (SlideShare, 2016)

A continuación en la tabla 20 se puede apreciar de mejor manera las características del autómatas programable que se usa en la propuesta de automatización

**Tabla 20.** Características del Logo! 230RC

<b>Tipo</b>	<b>Módulo lógico (CPU) con pantalla</b>
Entradas	8
Salidas	4 x Relé
Suministro/Voltaje de entrada	115/240 V AC/DC
Rango admisible	85...265 V AC/100...253 V DC
para señal "0"	Máx. 40 V AC/30 V DC
para señal "1"	mín. 79 V AC/DC
Salida de corriente permanente	10 A carga resistiva; 3 A carga inductiva
Frecuencia de conmutación	2 Hz con carga resistiva, 0,5 Hz para carga inductiva
Duración del ciclo	< 0,1ms/Función
Montaje	Sobre carril DIN 35 mm (4 UD) o en pared
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	72 (4 UD) x 90 x 55 mm
Temperatura ambiente mín.	0 °C
Temperatura ambiente máx.	55 °C
Protección	IP20
Memoria de reloj/Reserva de batería integrada	typ. 80h (2 años con modulo batería)
Cable de programación	Logo/ USB PC-cable (no suministrado)
Batería de reserva opcional	Si
Memoria máxima de programa	200 bloques
Módulo de memoria externa	LOGO! Memory Card
Registro de datos	No

**Fuente.** (Automation 24, 2016)

Y junto con el logo! 230RC se acopla el módulo Logo! AM 2 PT100 que tiene las entradas para realizar la conexión del sensor de temperatura, en la figura 78 se puede observar el módulo de expansión AM2 PT100 que sirve para la conexión del sensor PT100.



**Figura 78.** Modulo Logo! AM 2 PT100

**Fuente.** (Masvoltaje, 2016)

Las características del módulo y del PLC Logo! Se las puede apreciar de mejor manera en la tabla 21 para saber con cuantas entradas, salidas cuenta este PLC que se lo va a utilizar.

**Tabla 21.** Características del módulo AM2 PT100

Tensión de alimentación	
12 V DC	Sí; 10,8 a 28,8 V DC
24 V DC	Sí; 10,8 a 28,8 V DC
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	2; Conexión a 2 ó 3 hilos
Rangos de entrada	
Termo resistencias	Sí; para sensores PT100/PT1000
CEM	
Emisión de radio interferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	Sí; Desparasitado según EN 55011, clase límite B
Grado de protección y clase de protección	
IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Homologación CSA	Sí; C22.2 número 142
Homologación UL	Sí; UL 508
Homologación FM	Sí; FM-Standards No. 3611, 3600, 3810 Class I, Division 2, Group A, B, C, D
Homologaciones navales	Sí; ABS, BV, DNV, GL, LRS, Class NK
Desarrollado según IEC 61131	Sí; EN 61131-2 (IEC 1131-2)
Condiciones ambientales	
Temperatura de empleo	
mín.	0 °C
Máx.	55 °C
Dimensiones	

Anchura	36 mm
Altura	90 mm
Profundidad	53 mm

Fuente. (Masvoltaje, 2016)

- **Programación del PLC o autómeta programable y simulación del proceso.**

Diagrama de funciones lógicas: el diagrama de funciones lógicas o conocido también como FBD es un lenguaje gráfico que permite programar elementos que aparecen como bloques para ser cableados entre sí de forma análoga al esquema de un circuito, en la figura 79 se puede observar el diagrama de funciones que se usa para la propuesta de automatización de la tostadora-enfriadora de café.

El proceso empieza con la colocación del café dentro del tambor donde se va a tostar, luego se presiona el pulsador de arranque el cual enciende el motor al instante, y al quemador después de 3 segundos. El tambor gira durante 18 minutos mientras que el quemador permanece encendido durante 17 minutos. En la figura 79 se muestran las conexiones que se hace para accionar el motor 1 y el quemador.

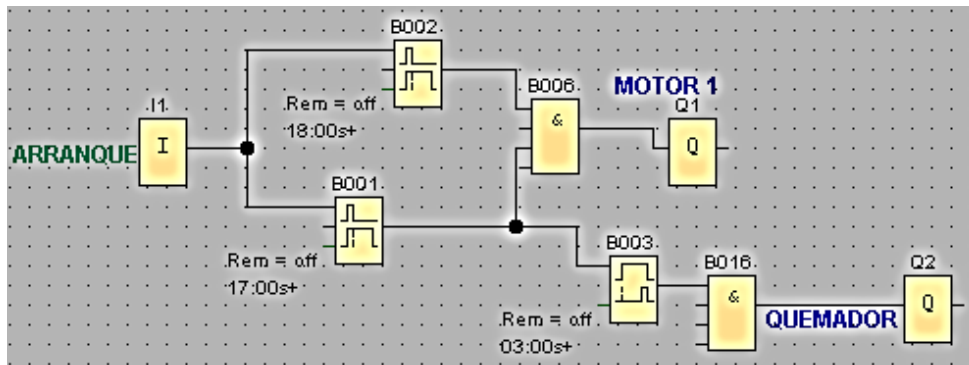


Figura 79. Diagrama de conexión del arranque del proceso del sistema.

Fuente. Autor

El quemador está conectado a un sensor de temperatura y conectado a la válvula solenoide que permite que la temperatura no sobrepase los 205°C, al llegar a 205°C en ese instante la válvula solenoide actúa y corta el paso de gas, entonces conforme pasa el tiempo la temperatura baja y al llegar a 195°C la válvula solenoide se acciona nuevamente y permite que el quemador se encienda esto se hace para mantener la temperatura en un rango moderado con un margen de +-5°C para poder obtener un café con las características deseadas. En la figura 80 se observa el diagrama de conexión del PT100

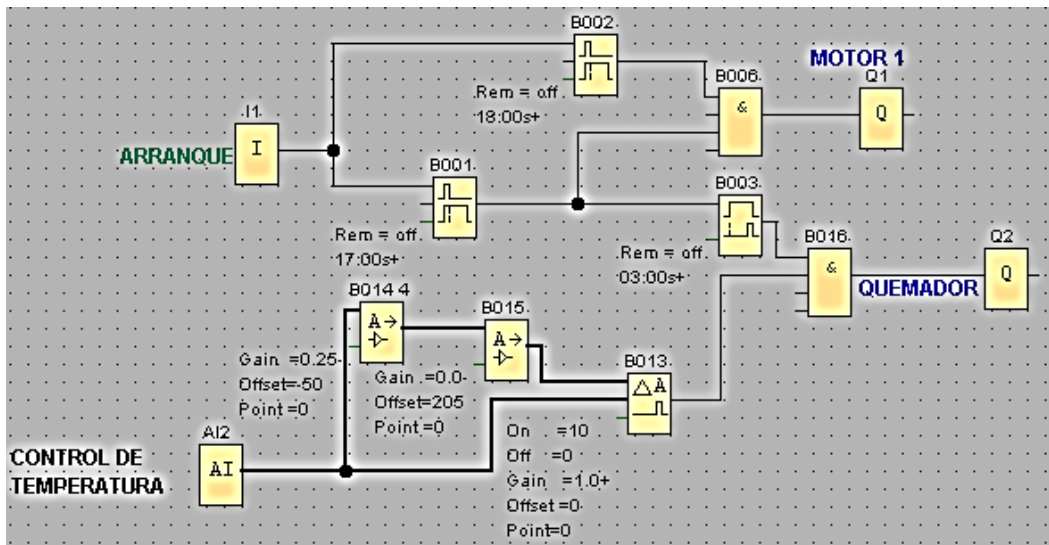


Figura 80. Diagrama de conexión del PT100

Fuente. Autor

Luego de haber transcurrido los 18 minutos al apagarse el motor 1 manda una señal hacia los temporizadores y enciende la compuerta de salida del café hacia el enfriador y al motor 2 que hace girar al enfriador, este proceso dura aproximadamente 30 minutos, entonces el proceso total del tostado-enfriado de café dura aproximadamente 48 minutos. En la figura 81 se observa el diagrama de conexión para el encendido de la compuerta y del motor 2.

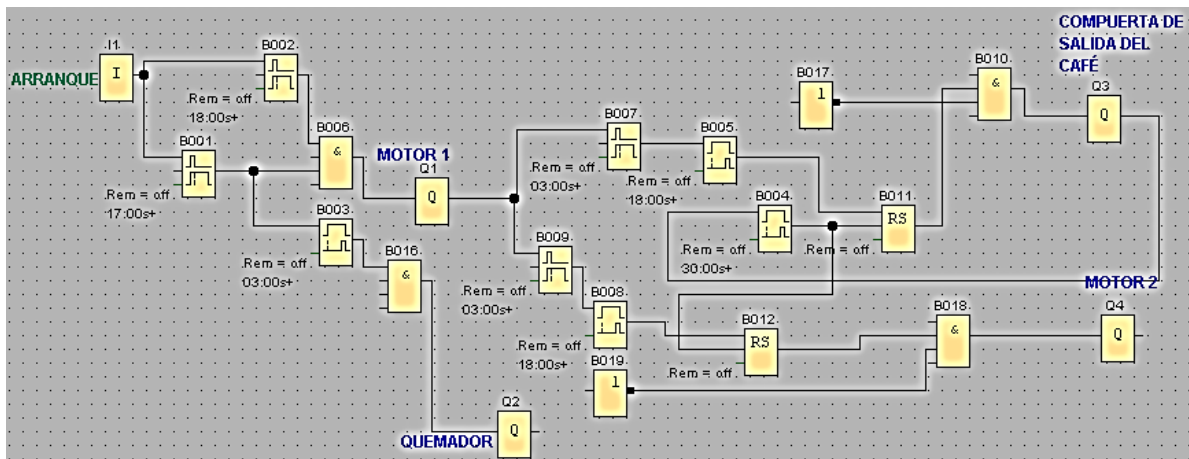
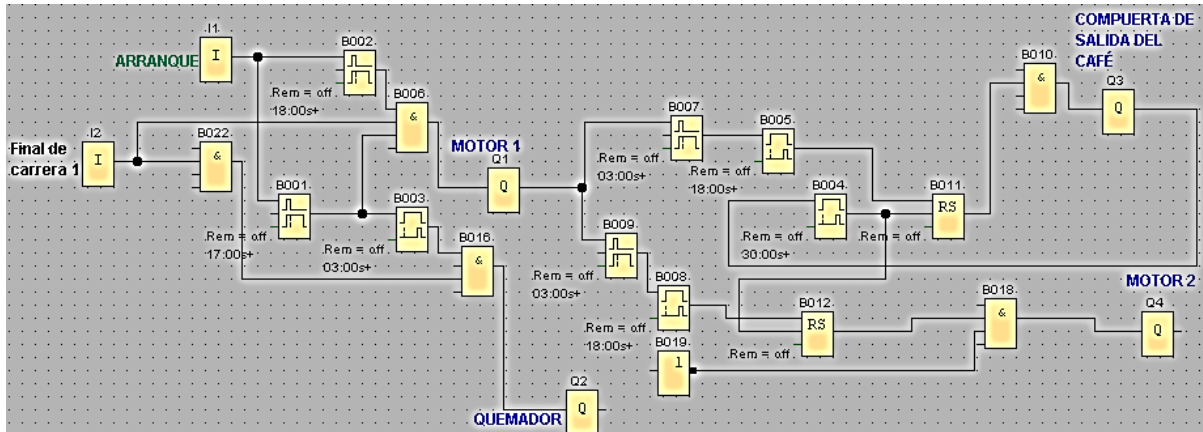


Figura 81. Diagrama de conexión del encendido de compuerta y motor 2

Fuente. Autor

Dentro del proceso de tostado-enfriado de café se debe conectar un sensor final de carrera 1, este sensor impide que el programa corra si la compuerta de ingreso de café al tambor de tostado está abierta, entonces bloquea las señales que van al motor 1 y al quemador, en el momento que está cerrada la compuerta el sistema funciona de manera normal. Ver figura 82



**Figura 82.** Diagrama de conexión del Final de carrera 1

**Fuente.** Autor

También se coloca un sensor final de carrera 2, que va ubicado a la salida del tambor tostador de café al igual que el sensor final de carrera 1 que bloquea las señales de todas las salidas del programa hasta que se cierre la compuerta y el programa pueda trabajar de manera normal. Ver figura 83

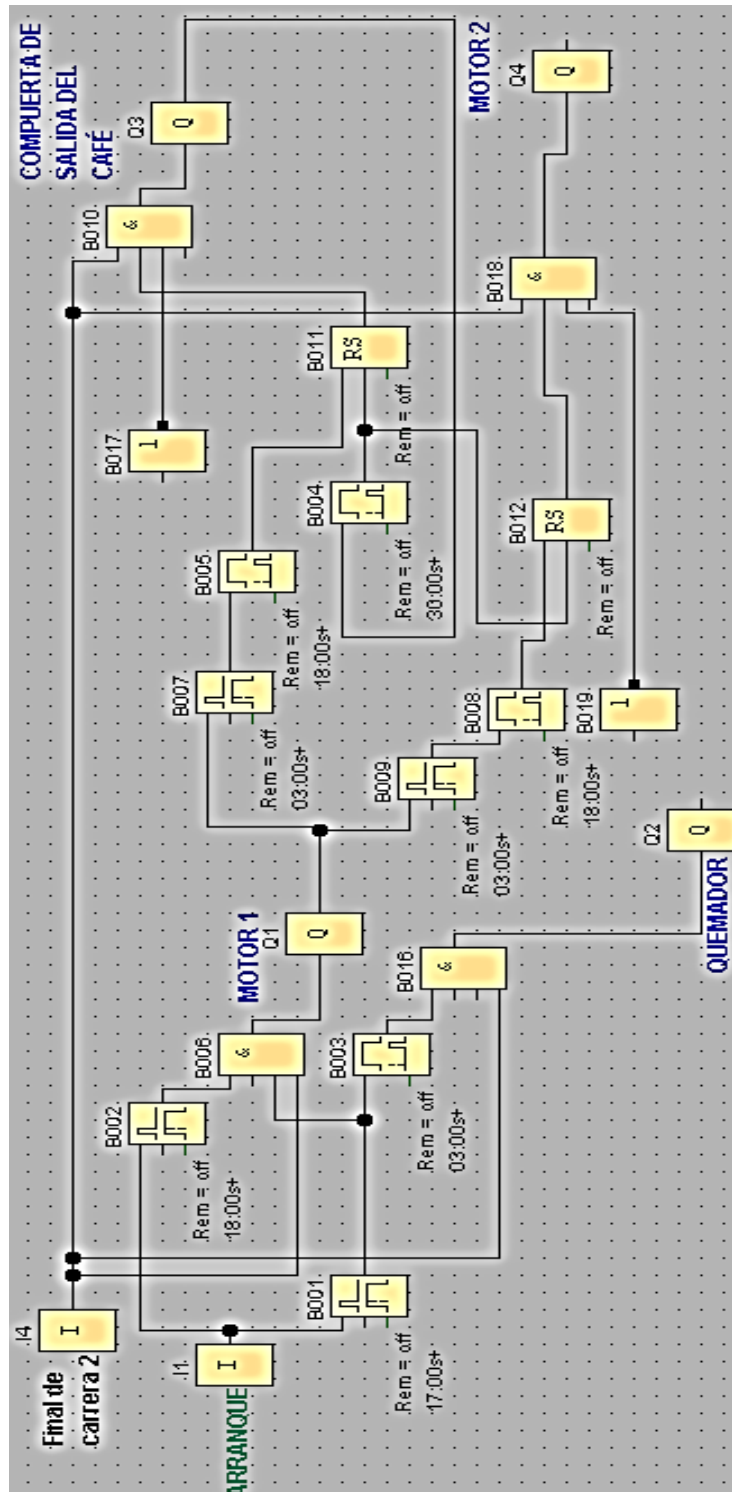


Figura 83. Diagrama de conexión del Final de carrera 2

Fuente. Autor

Y finalmente se coloca un botón de parada de emergencia para poder bloquear las señales de alimentación a cada una de las salidas, esto se activa en caso de emergencia. Este pulsador bloquea las señales que van al motor 1, quemador, compuerta y motor 2 para esto se conecta el pulsador a las entradas AND para poder bloquear estas salidas. Ver figura 84



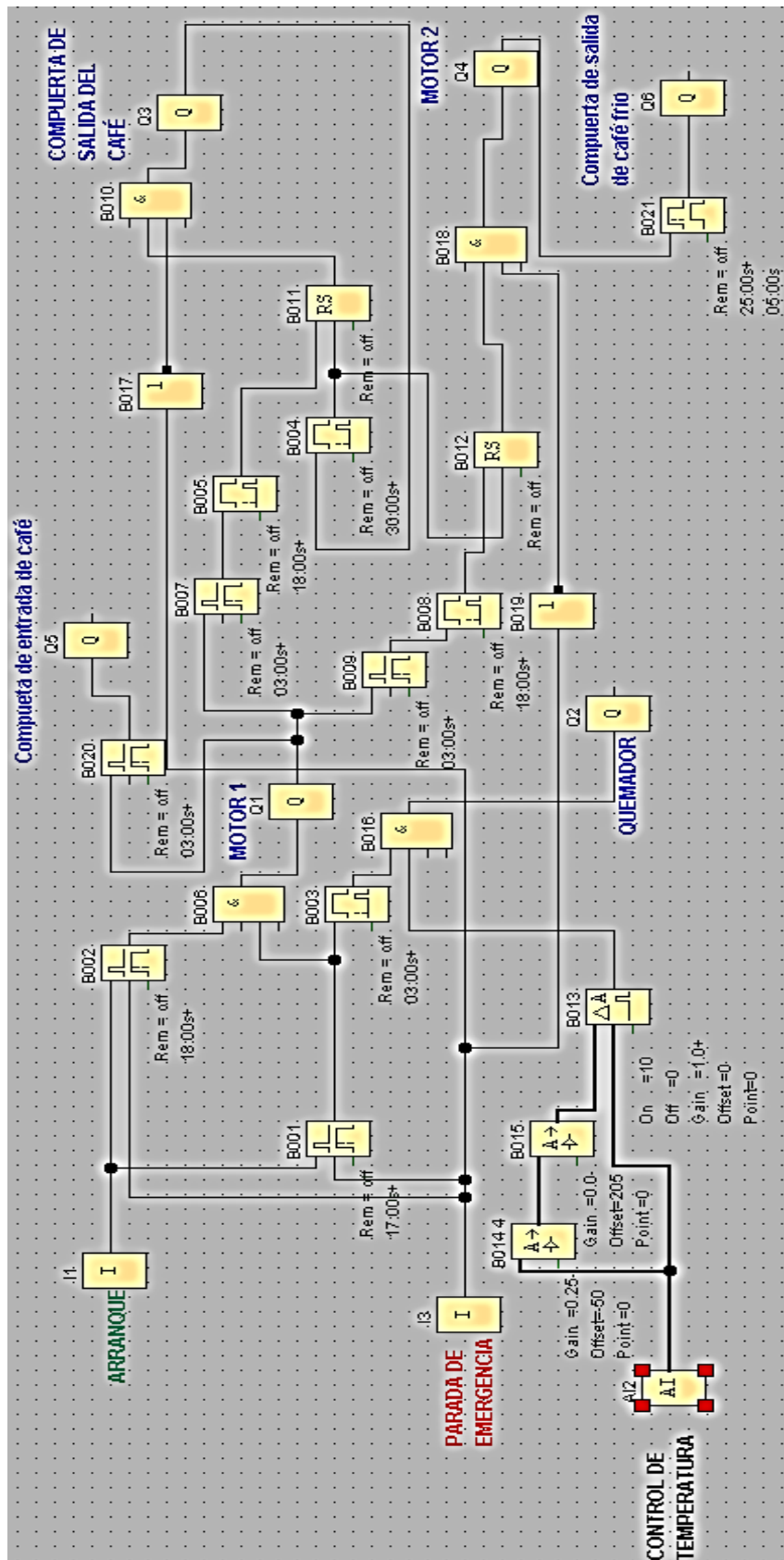


Figura 84. Diagrama de conexión del pulsador de parada de emergencia

Fuente. Autor

En la figura 85 se puede apreciar de mejor manera como queda el diagrama final de la propuesta de automatización para así tener más claro de los elementos que se usan para poder automatizar la máquina tostadora de café, también se puede controlar el encendido del quemador mediante un sensor de llama que permitirá que se encienda el quemador ya que si no hay fuego este sensor impedirá que se accione la válvula solenoide impidiendo el paso de gas y evitar una explosión en la máquina.

Y por último para el control de la apertura y cierre de las compuertas de la tostadora-enfriadora de café se utiliza actuadores lineales y así tener un mejor manejo del sistema.

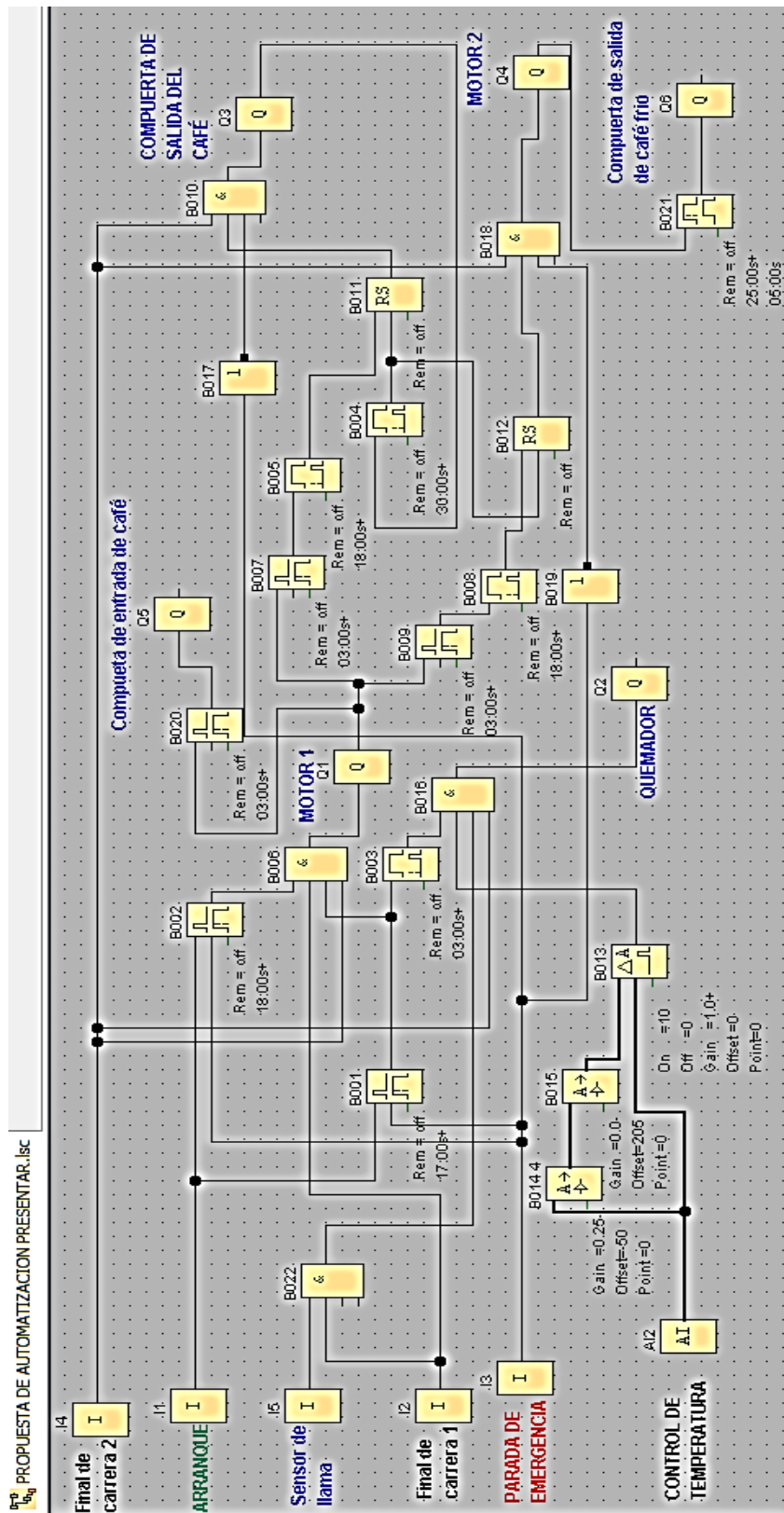


Figura 85. Diagrama de conexión de los elementos para la automatización

Fuente. Autor

### 6.3.8 Análisis estático de las partes más importantes.

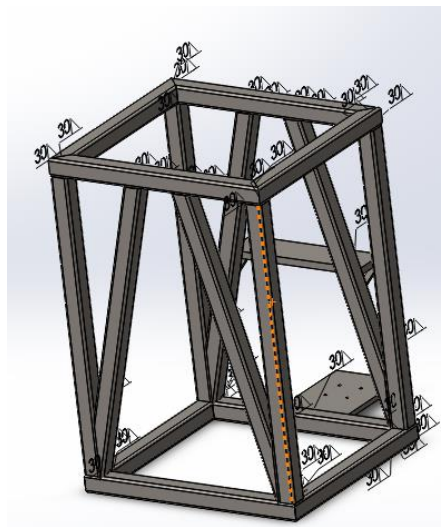
- **Simulación de la estructura.**

Este análisis se lo realiza mediante SolidWorks Simulation este software permite hacer pruebas sobre los productos realizados antes de fabricarlos para detectar defectos en los elementos de diseño, con lo que contribuye a la prevención de errores en las primeras fases del proceso de diseño. SolidWorks Simulation puede ayudar incluso a optimizar sus diseños para obtener un rendimiento y un ahorro máximo.

SolidWorks se abre a partir de la interfaz de usuario de SolidWorks, por lo que no es necesario iniciar varias aplicaciones. Este software permite someter sus diseños a las mismas condiciones a las que se enfrentaran en la vida real, incluidos la tensión, el impacto, el calor, el flujo de aire y mucho más. No es necesario esperar a fabricar un producto para empezar a probarlo, ni pasar por varios prototipos físicos; siempre y cuando tenga las licencias de los paquetes.

#### Pasos para la simulación en SolidWorks

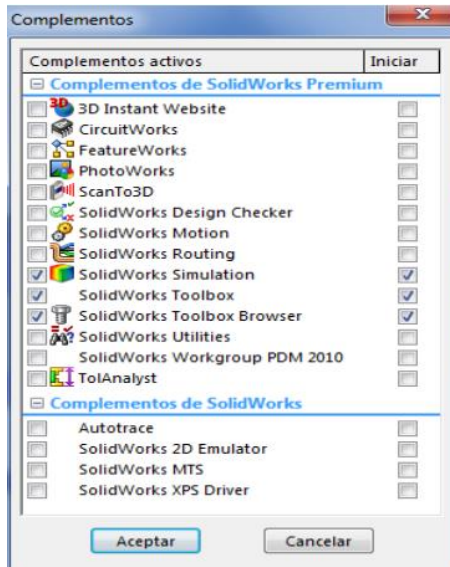
A continuación en la figura 86 se muestra la estructura la cual se la somete a la simulación para observar cómo actúan las fuerzas.



**Figura 86.** Estructura

**Fuente.** Autor

Luego se activa el complemento de simulación, en la pestaña “herramientas” se selecciona complementos y se marca el recuadro para la activación de SolidWorks simulación. Ver figura 87.



**Figura 87.** Ventana de complementos de SolidWorks

**Fuente.** Autor

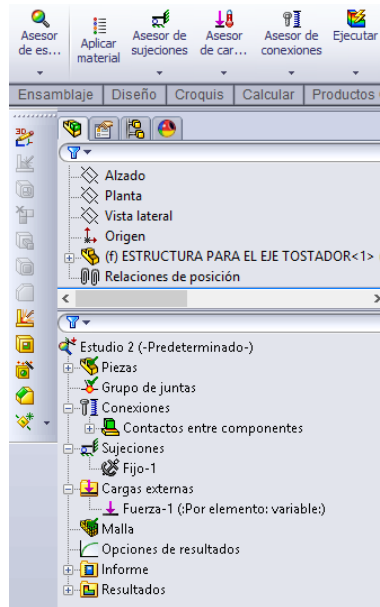
Activada esta opción aparece una pestaña de simulación en la barra de menú principal esto se muestra en la figura 88.



**Figura 88.** Botón de simulación.

**Fuente.** Autor

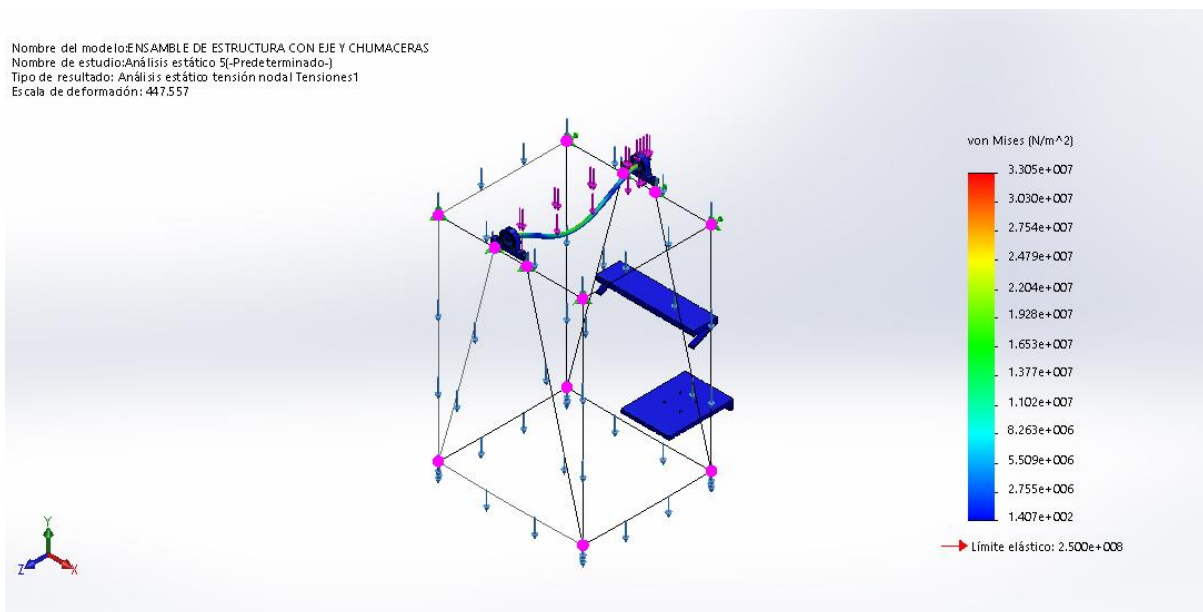
Entonces con la ayuda del asesor de estudio se ingresa los datos de sujeción, cargas en este caso se utiliza la fuerza, también se elige el tipo de material de que se va a construir el elemento a analizar. Ver figura 89.



**Figura 89.** Datos de sujeción.

**Fuente.** Autor

En la figura 90 se muestra donde se encuentra el esfuerzo mayor en la estructura.



**Figura 90.** Análisis de esfuerzos.

**Fuente.** Autor

Para continuar se realiza la verificación del resultado de la simulación de SolidWorks: aplicando la teoría de Von Mises se tiene la siguiente comparación

$$\sigma_x = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$$

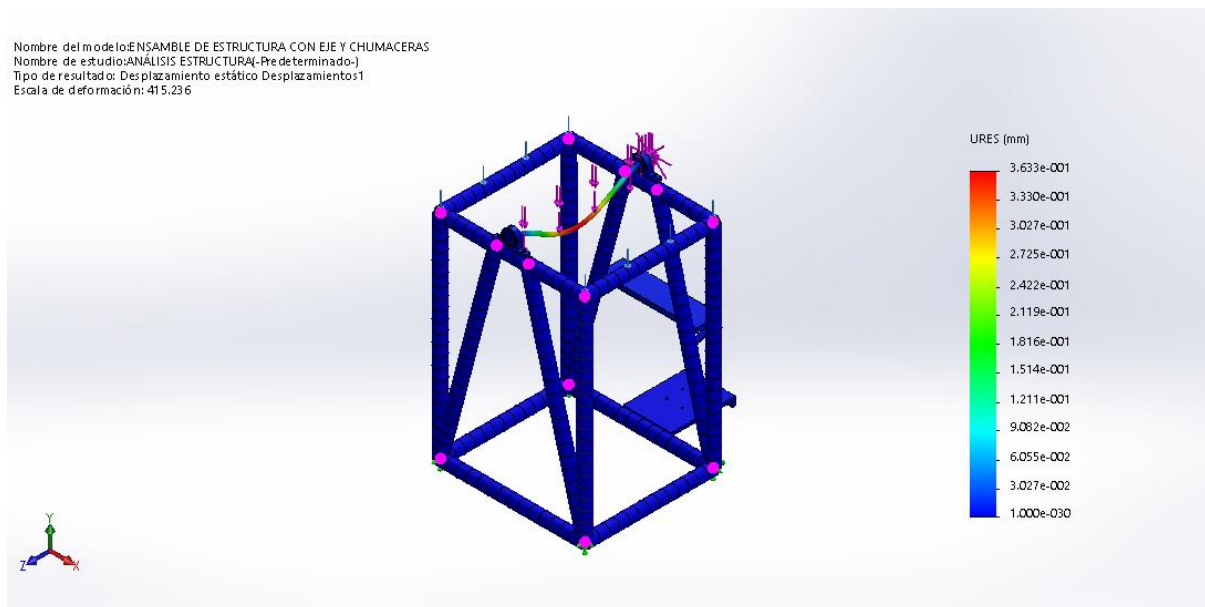
El valor del resultado del análisis en SolidWorks es:

$$33.05MPa = \frac{250MPa}{\sqrt{3}}$$

$$33.05MPa \leq 144.34MPa$$

Con el resultado encontrado indica que el diseño está bien porque no sobrepasa el valor de esfuerzo a la fluencia del material

Entonces también se puede apreciar la deformación que sufre la estructura mediante la simulación, entonces el desplazamiento es de  $d = 0.3633mm$  Este desplazamiento se observa en la figura 91.

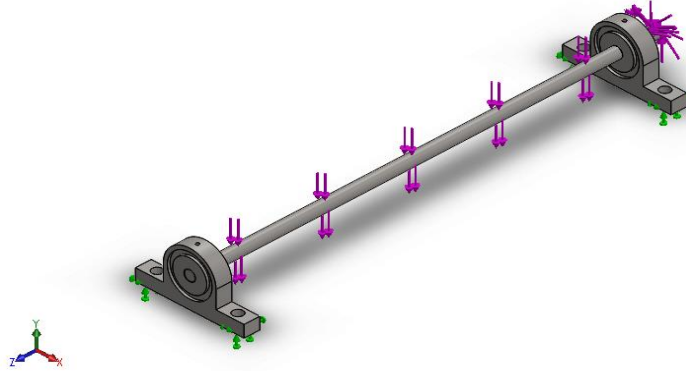


**Figura 91.** Análisis de desplazamiento.

**Fuente.** Autor

- **Simulación del eje.**

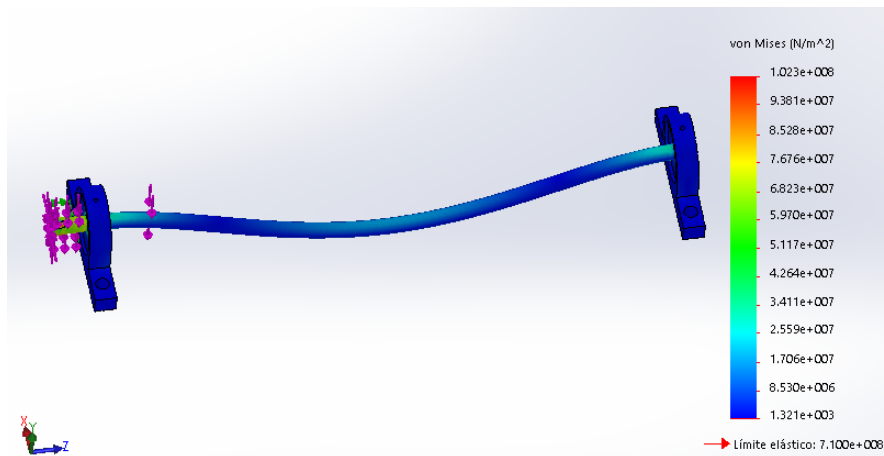
A continuación se muestra el eje de transmisión, se lo fija en un extremo para poder realizar la simulación entonces en la figura 92 se observa la aplicación de las propiedades en el eje.



**Figura 92.** Eje de transmisión.

**Fuente.** Autor

Ahora se puede observar en la figura 93 el esfuerzo que ejerce la fuerza que se aplica en el eje.

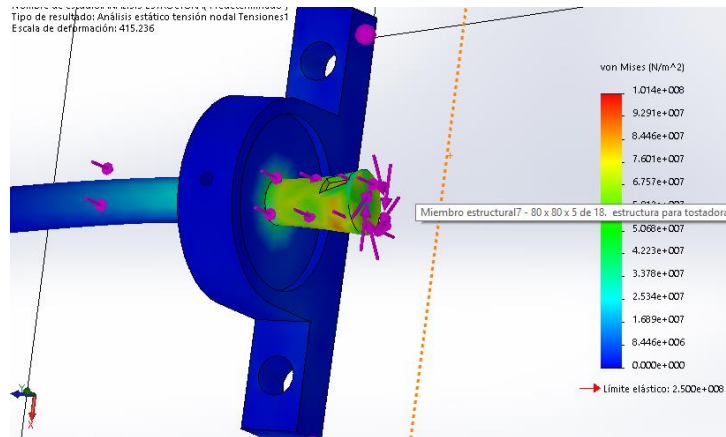


**Figura 93.** Análisis de esfuerzo del eje.

**Fuente.** Autor

En la figura 94 se muestra la deformación al aplicar el torque del sistema de transmisión entonces se tiene:





**Figura 94.** Deformación del eje aplicando el torque

**Fuente.** Autor

Para continuar se realiza la verificación del resultado de la simulación de SolidWorks: aplicando la teoría de Von Mises se tiene la siguiente comparación

$$\sigma_x = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$$

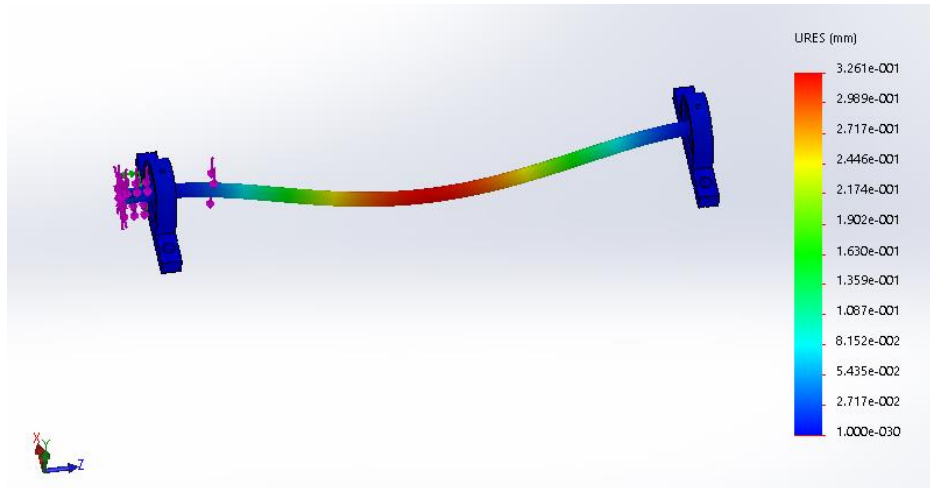
El valor del resultado del análisis en SolidWorks es:

$$102.3MPa = \frac{710MPa}{\sqrt{3}}$$

$$\mathbf{102.3MPa \leq 409.92MPa}$$

Con el resultado calculado se puede apreciar que el esfuerzo es mínimo y que no sobrepasa el valor del esfuerzo a la fluencia del material.

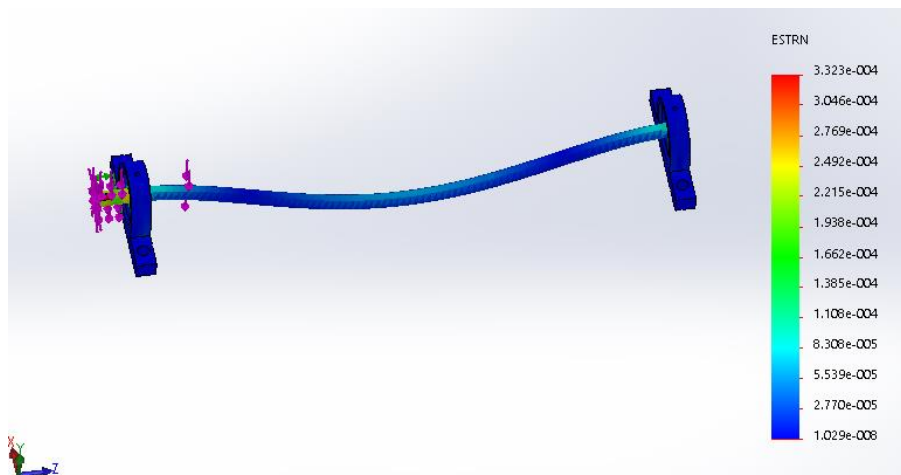
En la figura 95 se observa la deformación que se da en el eje, ya que un extremo se lo fija, y es de  $d = 0.326mm$



**Figura 95.** Análisis de desplazamiento del eje.

**Fuente.** Autor

En la figura 96 se muestra las deformaciones unitarias que se dan en el análisis estático luego de aplicar los esfuerzos correspondientes en el software correspondiente, y tiene un valor de 0.000332m.



**Figura 96.** Deformaciones unitarias

**Fuente.** Autor

### 6.3.9 Análisis de costos que intervienen en el diseño y propuesta de automatización.

#### Análisis de costos

Para realizar un análisis de costos se debe de tomar en cuenta varios rubros:

- Costos de diseño
- Costo de materiales
- Costo hombre-máquina
- Costo montaje

La suma de estos valores dará con más certeza el costo final, entonces para esto se realiza un listado de costos de los elementos que se utilizan en la máquina.

#### Costo de diseño

El costo del diseño depende del grado de dificultad que se tenga tanto en el diseño como en la construcción de la máquina, por lo general es un equivalente al 20% del costo final de la máquina.

#### Costo de materiales

Para tener un costo general de los materiales se los divide en:

- Materiales normalizados
- Materiales a mecanizar

A continuación en la tabla 22 se detallan los materiales y los costos que se emplearán en la construcción de la máquina.

**Tabla 22.** Costo de materiales a mecanizar.

MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Plancha de acero inoxidable	2440x1220x2	1	163.50	163.50
Eje de Acero AISI 1018	Ø22.22	1	28.75	28.75
Electrodo 6011(kg)	Ø3.18	5	6.71	33.55
Plancha ASTM A36	2440x1220x2	1	80.50	80.50

Tubo cuadrado	75x3	2	44.15	88.30
Platina	40x4	1	8.32	8.32
Electrodo para acero inoxidable(kg)	Ø2.38	1	19	19
Malla Armex	250x250x8	1	43.10	43.10
Perfil ángulo	40x4	1	10.72	10.72
			<b>TOTAL</b>	<b>475.74</b>

Fuente. Autor

En la tabla 23 se puede observar los costos y las cantidades de los materiales normalizados que se implementan en el diseño de la máquina tostadora-enfriadora de café.

**Tabla 23.** Costos de los materiales normalizados.

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Tuerca M10x30x1.5	10	0.04	0.40
Tornillo M10	6	0.12	0.72
Tuerca M10x60x1.5	4	0.45	1.80
Chaveta 8x7x7.45	2	5.10	10.20
Lana de vidrio	2	8.50	17
Rodamiento SKF 62/22	4	23	92
Motor	2	115	230
Polea 3 pulgadas	4	3	12
Polea 18 pulgadas	2	18	36
Polea de 20 pulgadas	2	20	40
Quemador	1	300	300
Cilindro de GLP	1	260	260
Relé Lógico programable LOGO!	1	135.80	135.80
Módulo PT100	1	110.30	110.30
Fuente de poder LOGO!, entrada 110/220V. salida 24VDC/2.5A	1	93.40	93.40
Cable PC-LOGO! Para transmisión de programas entre LOGO! Y el computador (puerto USB)	1	90.20	90.20
PT100, conexión eléctrica de 3 hilos, tango de medición de 50°C-400°C,	1	140	140

termo pozo de acuerdo con DIN 43763			
Contactador de fuerza 3RT7A, 120 VAC	1	20.50	20.50
Guarda motor SIRIUS, 4.5-6.3A	1	50.90	50.90
Acople Guarda motores	1	3.20	3.20
Pulsador on/off	1	5.50	5.50
Válvula solenoide	1	50	50
Finales de carrera	3	20.35	61.05
Actuador lineal	3	80	240
<b>TOTAL</b>			<b>2000.97</b>

Fuente. Autor

### Costo hombre-máquina.

Para la instalación de cada equipo utilizado para el diseño propuesto y en la construcción, el costo establecido incluye el costo del operario. Y el tiempo que está trabajando cada operador. A continuación en la tabla 24 se detalla de mejor manera el costo de mecanizado.

**Tabla 24.** Costos de hombre-máquina

OPERACIÓN	TIEMPO TOTAL (H)	COSTO (USD/H)	COSTO TOTAL (USD)
Trazado y corte del material	4	5	20
Rolado	1	20	20
Esmerilado	4	5	20
Soldado	24	8	192
Doblado	1	6	6
Taladrado	2	7	14
Torneado	3	11	33
<b>TOTAL</b>			<b>305</b>

Fuente. Autor.

### Costo de montaje.

El costo del montaje corresponde a la mano de obra responsable del ensamble de cada una de las partes de la máquina diseñada. Entonces para el montaje se necesita de dos personas que tardan aproximadamente 2 días en hacer el ensamble de piezas y estos cobran 20 \$ cada uno por día. Con esto el total que se gasta en el montaje es de 80\$ los dos días.

## Costo final.

Con los resultados obtenidos anteriormente se puede realizar la suma y se puede calcular el costo total que se necesita para realizar la construcción del diseño de la máquina tostadora-enfriadora de café. Tal como se observa en la tabla 25.

**Tabla 25.** Costo total del diseño de la máquina tostadora-enfriadora de café.

DESCRIPCIÓN	VALOR (USD)
Material a mecanizar	475.74
Material normalizado	2000.97
Costo hombre-máquina	305
Costo de diseño	1000
Costo de montaje	200
<b>TOTAL</b>	<b>3981.71</b>

Fuente. Autor

En la tabla se puede apreciar todos los valores necesarios para el cálculo del VAN y el TIR y su relación beneficio/costo como son: inversión, reinversión, costos de operación, egresos, ingresos

En resumen se puede concretar de que en el décimo año se tiene un valor actual neto (VAN) este valor es positivo, lo que quiere decir es que el proyecto es viable para su construcción.

La tasa interna de retorno o también conocida como (TIR) es superior al valor del porcentaje de la tasa de interés que se le aplica dando un beneficio para el proyecto.

Y con respecto a la relación beneficio/costo (B/C) se tiene un valor superior a la unidad el cual indica que los ingresos son mayores a los egresos dando como resultado que el proyecto de tesis es viable para poder ser ejecutado. Observar tabla 26 en el cual se realiza el cálculo del VAN, TIR y B/C.

**Tabla 26.** Cálculo del VAN Y EL TIR Y EL B/C

DESCRIPCIÓN	VALOR ACTUAL NETO VAN										
	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Efectivo	-3.982	6.508	6.876	7.258	7.652	8.060	8.482	8.919	9.372	9.842	10.329
10,000%	1,0000	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Valor Actualizado	-3.982	5.916	5.683	5.453	5.226	5.004	4.788	4.577	4.372	4.174	3.982

Fuente: Estudio Económico  
Elaboración: El Autor

<b>Sumatoria VAN =</b>	<b>49.176,2</b>
<b>Inversión Total =</b>	<b>3.982,7</b>
<b>VAN = <math>\sum</math> VAN - IT</b>	<b>45.193,5</b>

### TASA INTERNA DE RETORNO TIR

#### VAN Tasa Mayor

DESCRIPCIÓN	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Efectivo	-3.982	6.508	6.876	7.258	7.652	8.060	8.482	8.919	9.372	9.842	10.329
<b>14,00%</b>	1	0,8772	0,7695	0,6750	0,5921	0,5194	0,4556	0,3996	0,3506	0,3075	0,2697
Valor Actualizado	-3.982	5.709	5.291	4.899	4.530	4.186	3.864	3.565	3.286	3.027	2.786
<b>Sumatoria VAN =</b>	<b>41.142</b>										
<b>Inversión Total =</b>	<b>3.982</b>										
<b>VAN = Σ VAN - IT</b>	<b>37.160</b>										

#### VAN Tasa Menor

DESCRIPCIÓN	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Efectivo	-3.982	6.508	6.876	7.258	7.652	8.060	8.482	8.919	9.372	9.842	10.329
<b>10,00%</b>	1	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Valor Actualizado	-3.982	5.916	5.683	5.453	5.226	5.004	4.788	4.577	4.372	4.174	3.982

<b>Sumatoria VAN</b>	<b>49.176</b>
<b>Inversión Total =</b>	<b>3.983</b>
<b>VAN = Σ VAN - IT</b>	<b>45.193</b>
<b>TIR =</b>	<b>32,50%</b>

### RELACIÓN BENEFICIO /COSTO

#### Ingreso Actualizado

DESCRIPCIÓN	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso Actualizado	-3.982	30.438,78	31.838,96	33.303,56	34.835,52	36.437,95	38.114,10	39.867,35	41.701,25	43.619,50	45.626,00
<b>0,1000</b>	1,0000	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Valor Actualizado	-3.982	27.672	26.313	25.021	23.793	22.625	21.514	20.458	19.454	18.499	17.591
<b>Sumatoria Ingresos =</b>	<b>222.941</b>										

#### Costo Actualizado

DESCRIPCIÓN	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo Actualizado	-3.982	7.408	6.050	6.655	7.321	8.053	8.858	9.744	10.718	11.790	12.969
<b>0,1000</b>	1	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Valor Actualizado	-3.982	6.735	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
<b>Sumatoria Costos =</b>	<b>51.735</b>										
<b>R. Beneficio Costo =</b>	<b>4</b>										

### PERIODO DE RECUPERACIÓN

DESCRIPCIÓN	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Efectivo	-3.982	7.408	6.050	6.655	7.321	8.053	8.858	9.744	10.718	11.790	12.969
<b>10,00%</b>	1	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Valor Actualizado	-3.982	6.735	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Flujos Acumulados		6.735	11.735	16.735	21.735	26.735	31.735	36.735	41.735	46.735	51.735
<b>Sumatoria VAN =</b>	<b>89.564</b>										
<b>Inversión Total =</b>	<b>3.982</b>										
<b>DECIMO FLUJO NETO</b>	<b>12.969</b>										
<b>Flujo Neto de Efectivo</b>	<b>85.582,13</b>										
<b>P. de Recuperación</b>	<b>6,60</b>										

Fuente: Autor

## 7.- DISCUSIÓN

La investigación tuvo como propósito diseñar, simular y realizar la propuesta de automatización para una máquina de tostado-enfriado de café que tiene un estimado de tueste de 25 libras por tanda, de acuerdo al análisis realizado se pudo conocer el mejor tipo de máquina para el diseño que es la tostadora por tandas, sistema a tambor.

Una de las principales razones por la que se eligió la tostadora por tandas, sistema a tambor y no la tostadora continua en el diseño, fue por su sistema de tostado, por su tamaño y su cantidad de producción, la tostadora continua es usada para grandes producciones de tostado a diferencia de la tostadora por tandas, sistema a tambor que es para producciones pequeñas de tostado de café.

Los cálculos elaborados, basados en la teoría funcional de diversas máquinas tostadoras y el diseño de elementos, permiten justificar el diseño de una tostadora-enfriadora de café, ya que con los resultados obtenidos se logró establecer un modelo, cuyos principales elementos fueron validados mediante software realizando un análisis estático, lo que prueba la resistencia y funcionalidad requerida.

Para determinar las prestaciones óptimas de la máquina tostadora-enfriadora, fue necesario conocer las temperaturas, tiempos a los que se tuesta y enfría el grano de café, esto permitió fijar los parámetros adecuados para los cálculos del sistema motriz y de tostado y así poder dimensionar adecuadamente los componentes de la máquina.

En el apartado de los resultados se explica en forma detallada los procedimientos, cálculos y selección de los materiales adecuados concernientes al dimensionamiento de los componentes de tostado-enfriado de café, que tiene una capacidad para tostado-enfriado de 25 libras en 48 minutos.

Así también se realizó un análisis de las pérdidas que existen en varios sistemas de transmisión, llegando a conocer que el sistema de correas tiene mayor pérdidas de transmisión que el de cadena y engrane, pero sin embargo el sistema de correas es más comercial y económico para poder ser implementado.

Y por último, para evitar que las personas realicen el proceso de tostado-enfriado de café de manera manual se realiza una propuesta de automatización, la cual consiste en considerar dos variables a controlar que son la temperatura y el tiempo. El tiempo es controlado mediante



temporizadores por medio del autómata programable, y la temperatura se la mantiene constante mediante un sensor de temperatura (PT100), y así también se considera usar sensores: final de carrera y actuador lineal, para el control de las compuertas si están cerradas o abiertas y el cierre y apertura de las compuertas.

## 8.-CONCLUSIONES

- Luego de la recopilación de la información acerca de diferentes tipos de máquinas se ha encontrado la más adecuada que es la tostadora de café por tandas, sistema a tambor.
- Tomando en cuenta el tipo de máquina para el diseño, se dimensionaron los sistemas de carga, tostado, motriz, enfriador y su estructura aplicando las fórmulas y criterios correspondientes. De la misma forma se seleccionó el motor, el quemador, el sistema de transmisión más adecuado utilizado en nuestro medio.
- Mediante el software de ingeniería se pudo: validar los principales elementos de la máquina tostadora-enfriadora de café verificando su diseño mediante un análisis estático
- Dentro de la propuesta de automatización mediante las investigaciones correspondientes se pudo seleccionar los sensores y actuadores para controlar el sistema de tostado-enfriado de café.
- Conociendo los costos de los materiales a utilizar se pudo establecer el costo total del diseño de la máquina para tostado-enfriado de café que es de \$3981.71
- Al calcular los indicadores del VAN, TIR y B/C, se aprecia que el diseño es viable para ser construido debido a su rentabilidad, ya que tiene un VAN= \$45193.5 que es positivo, una TIR=32.50% que es superior a la tasa de descuento del 10%, con un B/C de 4 superior a 1, y con una recuperación de lo invertido en el sexto año con seis meses.

## 9.- RECOMENDACIONES

- Si se requiere aumentar la capacidad de tostado-enfriado de café, se debe hacer un nuevo cálculo de las dimensiones del eje de transmisión y del cilindro de tostado.
- Para mejorar el diseño se puede implementar el sistema de transmisión por cadena ya que tiene pocas pérdidas al transmitir el movimiento
- Implementar un sistema de ventilación más efectivo que reduzca el tiempo de enfriado de café y así mismo el proceso total de tostado-enfriado de café.
- Cambiar en el diseño los espesores de la cámara de combustión seleccionados, por unos menores para reducir las cargas que se le aplican al eje y a la estructura de tostado de café.
- También se podría diseñar e implementar un biodigestor en el diseño del proceso de tostado de café ya que genera gas metano, y así también seleccionar el quemador a utilizar para este tipo de gas que se podría utilizar en el diseño.
- Para el tueste de un grano diferente se debe realizar un nuevo cálculo, para poder conocer la temperatura a la que se debe efectuar el proceso total de tostado-enfriado.

## 10.- BIBLIOGRAFÍA

- ABC Electronics. (16 de julio de 2016). *abcinnova*. Obtenido de abcinnova: <http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficios-tiene.html>
- Alberte Solá. (s.f). *forumdelcafe.com*. Recuperado el 06 de mayo de 2016, de forumdelcafe.com: [http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-47\\_Tueste.pdf](http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-47_Tueste.pdf)
- Alibaba. (1999-2016). *alibaba.com*. Recuperado el 06 de mayo de 2016, de alibaba.com: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/stainless-steel-commercial-coffee-bean-roaster-drum-coffee-roaster-for-sale-60228673916.html>
- ALVARADO, J., & ROMERO, E. (2009). *Energías Renovables*. Bogotá: CEAC.
- AMERICARUM UNIVERSITAS. (1991). Capítulo 1. Recuperado el 13 de 10 de 2015, de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lhr/hernandez\\_p\\_md/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lhr/hernandez_p_md/capitulo1.pdf)
- ARIAN Control & Instrumentación. (s.f.). Pt100, su operacion, instalacion y tablas. Recuperado el 20 de 08 de 2016, de <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- Automation 24. (2016). *www.automation24.es*. Recuperado el 25 de agosto de 2016, de [www.automation24.es](http://www.automation24.es): <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/siemens-logo-230rc-6ed1052-1fb00-0ba6-i75-945-0.htm>
- Bedri café. (27 de julio de 2016). *La páquina de Bedri café*. Obtenido de [www.bedri.es](http://www.bedri.es): [http://www.bedri.es/Comer\\_y\\_beber/Cafe/Tostado.htm](http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cafe/Tostado.htm)
- BENDIG. (09 de mayo de 2016). *bendig.co.cr*. Obtenido de [bendig.co.cr](http://www.bendig.co.cr): <http://www.bendig.co.cr/tostadoras.php>
- BONILLA BALAREZO FERNANDO ANTONIO, R. A. (2011). *Ingeniero Mecánico*. Riobamba, Ecuador. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/877/1/15T00475.pdf>
- BUHLER. (s.f). *buhlergroup.com*. Obtenido de [buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com): <http://www.buhlergroup.com/europe/es/productos/tostador-de-lecho-fluidizado-aerotoast.htm#.Vyy9XIThDIU>

- Café para siempre. (2013). La humedad del café. En *La humedad del café* (pág. 1). Recuperado el 14 de Octubre de 2015, de <http://cenam.mx/archivos/NC14%20pags%20sobre%20humedad%20del%20cafe.pdf>
- Café punta del cielo. (22 de junio de 2016). *puntadelcielo.com*. Obtenido de [puntadelcielo.com](http://puntadelcielo.com.mx/el-tostado-del-cafe/): <http://puntadelcielo.com.mx/el-tostado-del-cafe/>
- CARRIÓN, C. (2008). *Máquinas eléctricas*. México: Mc Graw-Hill.
- Conducción, T. (s.f.). transferencia de calor. Recuperado el 19 de mayo de 2016, de <http://01a4b5.medialib.edu.glogster.com/media/8c/8cb4f786b59b7cab5df50cde7f797fdb18acbb8fe964e9947093ddf0d066f832/teorico-conduccion.pdf>
- CÓRDOVA, R. M. (2015). *Economista*. Loja, Loja, Ecuador. Recuperado el 25 de 07 de 2016, de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11051/1/TESIS%20RIDIN%20GRANDA.pdf>
- Dahl-Skog, R. (2012). Introducción a la programación de controladores lógicos (PLC). Recuperado el 16 de julio de 2016, de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Programacion\\_de\\_controladores\\_logicos\\_\(PLC\).pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Programacion_de_controladores_logicos_(PLC).pdf)
- Departamento De Agricultura. (s.f.). *La ingeniería en el desarrollo*. Obtenido de La ingeniería en el desarrollo: <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041s09.htm>
- Depósito de documentos de la FAO. (2015). *La ingeniería en el desarrollo-Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041s09.htm>
- Deposito de documentos de la FAO. (2016). <http://www.fao.org>. Recuperado el 05 de 12 de 2016, de <http://www.fao.org>: <http://www.fao.org/docrep/x5037s/x5037S05.htm>
- Díaz, L. F. (2005). En *Proceso de transferencia de calor* (pág. 14). Recuperado el 19 de mayo de 2016, de <http://avalon.utadeo.edu.co/dependencias/publicaciones/alimentica2/libro4a.pdf>
- Discaf. (2014). *discaf.com*. Recuperado el 21 de 07 de 2016, de [discaf.com](http://www.discaf.com): <http://www.discaf.com/tostadoras-industriales-mixtas-TF-120-300.html>

DiScaf. (s.f.). *discaf.com*. Obtenido de *discaf.com*: <http://www.discaf.com/videos.html>

Duran, M. G. (2012). *Automatismos Eléctricos e industriales*. Barcelona.

El Acero. (s.f.). Acero para trabajo en frío. *Acero para trabajo en frío-El Acero*, 35. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de <http://www.elacero.com.ec/pdf/aceros.pdf>

Ergio controles. (20 de agosto de 2016). *ergiocontroles.com*. Obtenido de *ergiocontroles.com*: <http://ergiocontroles.com/producto/combustion/quemador-eqa-103r/>

For New Technology Network. (s.f.). *Bearing units steel series*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2015, de <http://www.ntsudamericana.com/images/stories/PDF/5-cat.pdf>

FórumCafé. (s.f.). La Física y Química en el tueste de café. Colombia. Recuperado el 17 de junio de 2016, de [http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-41\\_Fisica\\_quimica\\_tueste.pdf](http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-41_Fisica_quimica_tueste.pdf)

Grupo Carman. (13 de febrero de 2014). *grupocarman.com*. Obtenido de *grupocarman.com*: <http://grupocarman.com/blog/solidworks-analisis-estatico/>

Halberstadt, J. (1997-2015). *ecuadorexplorer.com*. Recuperado el 23 de mayo de 2016, de *ecuadorexplorer.com*: <http://www.ecuadorexplorer.com/es/html/la-ciudad-de-loja.html>

Iesvillal bahervas tecnologia. (abril de 2008). *iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com*. Obtenido de *iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com*: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmision.pdf>

in. (s.f.). *SlideShare*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de *SlideShare*: <http://es.slideshare.net/RobertoMojica/contenido-de-humedad-del-caf>

Infocafés. (2012). Propiedades del café. En *Propiedades del café* (pág. 1). Recuperado el 13 de 10 de 2015, de <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/160.pdf>

INGECO Z.S. (s.f.). <http://www.ingecozs.com/>. Recuperado el 25 de agosto de 2016, de <http://www.ingecozs.com/>: <http://www.ingecozs.com/pt100.pdf>

ingemecánica. (07 de abril de 2016). *transmisión por cadenas Cálculo y diseño*. Obtenido de *ingemecanica.com*: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

- INNOENVAS. (s.f.). *innoenvas.com*. Recuperado el 09 de mayo de 2016, de innoenvas.com:  
<http://www.innoenvas.com/index.php?lang=en>
- INOXIDABLE. (2016). *placa y lamina de acero inoxidable*. Recuperado el 20 de abril de 2016
- Instrumentos WIKA. (s.f.). Instrumentación eléctrica de la medida de Temperatura. Recuperado el 20 de agosto de 2016, de  
[http://www.wika.com.ar/upload/BR\\_Product\\_ReviewTE\\_es\\_es\\_6538.pdf](http://www.wika.com.ar/upload/BR_Product_ReviewTE_es_es_6538.pdf)
- Inteligencia Comercial e inversiones. (2013). *Analisis Sectorial del Café*. Ecuador. Recuperado el 13 de Octubre de 2015, de [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC\\_AS2013\\_CAFE.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC_AS2013_CAFE.pdf)
- JN Aceros Blog. (18 de septiembre de 2013). *jnaceros.com*. Obtenido de jnaceros.com:  
<http://www.jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-introduccion/propiedades-representativas-de-los-aceros-inoxidables/>
- Joffre Ochoa, P. E. (2012). *Ingeniero Eléctrico*. Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 26 de agosto de 2016, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2594/14/UPS-GT000299.pdf>
- Jonathan Felipe Lee Laverde, C. A. (2013). *Modelamiento y Diseño de un Secador Estático de Café Pergamino (silo de café)*. Pereira. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3957/1/66393L477.pdf>
- José Cujilema, C. S. (2010). *Diseño y construcción de una tostadora de maíz*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 09 de Diciembre de 2015, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1618/1/CD-2745.pdf>
- Julio E. Ospina M., M. C. (1985). En *Enfriamiento de Cafe* (pág. 2). Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado el 27 de Mayo de 2016, de [file:///C:/Users/Usuario-PC/Downloads/Dialnet-EnfriamientoDeCafePergaminoSecoAGranelUtilizandoAi-4902546%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario-PC/Downloads/Dialnet-EnfriamientoDeCafePergaminoSecoAGranelUtilizandoAi-4902546%20(1).pdf)
- KAEFER. (2016). *LANA DE VIDRIO, aislante termico*. Recuperado el 20 de abril de 2016, de <http://www.cl.kaefer.com/Binaries/Binary3203/lanavidrio.pdf>
- LOGO, S. (2014). *siemenslogo.com*. Obtenido de siemenslogo.com:  
<http://siemenslogo.com/que-es-un-siemens-logo/>

- Lucas, L. F. (2011). *diseño de una maquina tostadora de ajonjoli*. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 11 de Diciembre de 2015, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4014/3/CD-3782.pdf>
- Luis Duicela, J. G. (1988). *Calidad Física y Organoléptica de los cafés Ecuatorianos*. Ecuador. Recuperado el 13 de 10 de 2015, de <http://cofenac.org/documentos/Estudio-Calidad-Cafes-Robustas.pdf>
- Luis Lozada, F. P. (2009). *tostadora de cebada*. QUITO. Recuperado el 20 de abril de 2016, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1745/1/CD-2350.pdf>
- M. Beltrán, A. M. (s.f.). Tema 4. Extrusión. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
- mailxmail. (1995). *www. mailxmail.com*. Recuperado el 19 de mayo de 2016, de [www. mailxmail.com](http://www.mailxmail.com): <http://www.mailxmail.com/curso-calculo-componentes-transmisiones-mecanicas/coeficiente-seguridad-admisible-2>
- Maquinaria y Accesorios. (s.f.). Recuperado el 09 de mayo de 2016, de <http://myasa.mx/?a=604>
- Masvoltaje. (2016). *mavoltaje.com*. Recuperado el 25 de agosto de 2016, de [masvoltaje.com: http://masvoltaje.com/siemens-logo/1184-modulo-de-expansion-am2-pt100-alimentacion-12-24v-dc-2ea-pt100-50-200-grad-c-6940408100992.html](http://masvoltaje.com/siemens-logo/1184-modulo-de-expansion-am2-pt100-alimentacion-12-24v-dc-2ea-pt100-50-200-grad-c-6940408100992.html)
- Materias. (s.f). *Materias.fi.uba.ar*. Obtenido de [materias.fi.uba.ar](http://materias.fi.uba.ar): <http://materias.fi.uba.ar/7566/Automatizacion.pdf>
- Micro Industrias. (2016). *microindustrias.wordpress.com*. Recuperado el 27 de Mayo de 2016, de [microindustrias.wordpress.com](http://microindustrias.wordpress.com): <https://microindustrias.wordpress.com/>
- Miliarium. (s.f). *propiedades termicas*. Obtenido de [propiedades termicas](http://www.miliarium.com): <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>
- Módulo. (2015). Factores de Seguridad y diseño. En *Factores de Seguridad y diseño* (pág. 7). Recuperado el 09 de junio de 2016, de [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/68533/mod\\_resource/content/1/M%C3%B3dulo%20y%206%20%28Factor%20de%20Seguridad%20y%20criterios%20de%20f%20alla%29.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/68533/mod_resource/content/1/M%C3%B3dulo%20y%206%20%28Factor%20de%20Seguridad%20y%20criterios%20de%20f%20alla%29.pdf)



*monografias.com*. (22 de agosto de 2016). Obtenido de *monografias.com*:  
<http://www.monografias.com/trabajos75/controladores-programables/controladores-programables2.shtml>

Nisbett, R. G. (s.f.). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. En R. G. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (pág. 912). Recuperado el 05 de 04 de 2016, de <https://rafaelramirezr.files.wordpress.com/2015/03/disen-en-ingenieria-mecanica-de-shigley-8th-hd.pdf>

PROBAT. (2015). Los Básicos del nuevo sistema de tostación., (págs. 4-5). Recuperado el 16 de mayo de 2016, de [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjtm-OjgN\\_MAhUGWCYKHcuRBh8QFgg5MAU&url=http%3A%2F%2Fdrescher.com.ar%2Factive%2Fhtm%2Fnovedades%2Fnovedades\\_probats%2Fprobat\\_basic\\_presentacion.ppt&usg=AFQjCNFYUqUbo](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjtm-OjgN_MAhUGWCYKHcuRBh8QFgg5MAU&url=http%3A%2F%2Fdrescher.com.ar%2Factive%2Fhtm%2Fnovedades%2Fnovedades_probats%2Fprobat_basic_presentacion.ppt&usg=AFQjCNFYUqUbo)

quintana, E. A. (2010). *diseño de transmision por cadena*. Medellin, Colombia. Recuperado el 07 de abril de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/disen-transmision-cadena/disen-transmision-cadena.pdf>

Rafael Escobar, Miguel Arestegui, Ana Moreno, Liliana Sanchez. (2013). *CATALOGO DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE CAFÉ*. LIMA, PERÚ. Recuperado el 13 de Octubre de 2015, de [https://energypedia.info/images/d/d1/Maquinaria\\_para\\_Caf%C3%A9.pdf](https://energypedia.info/images/d/d1/Maquinaria_para_Caf%C3%A9.pdf)

RAMÍREZ, P. (2012). *Transferencia de Calor*. Loja: UNL.

Rangel, P. (2010). *es.slideshare.net*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de *es.slideshare.net*:  
<http://es.slideshare.net/Carpediem1004/azucares-ph>

Raúl Tarco, J. E. (2010). *Ingeniero de Mantenimiento*. Riobamba, Ecuador. Recuperado el 22 de agosto de 2016, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1120/1/25T00130.pdf>

Republic of Ecuador. (2006). Quito, Ecuador. Recuperado el 15 de agosto de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0285.2006.pdf>

- Restrepo, C. A. (2014). Pereira. Recuperado el 08 de 22 de 2016, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4346/6298A473.pdf?sequence=1>
- Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico. Recuperado el 17 de agosto de 2016
- Rocha, R. P. (2014). *Máquina Tostadora Rotatoria De Maní Para La Industria Artesanal Con Un Sistema Semiautomático*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Recuperado el 09 de Diciembre de 2015, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3743/1/04%20MEC%20052%20TE SIS.pdf>
- Ruiz, C. A. (2016). *sistema de producción de calor*. Recuperado el 04 de 22 de 2016, de [http://www.forofrio.com/images/fbfiles/files/05\\_2\\_Quemadores\\_de\\_gas\\_atmosfericos.pdf](http://www.forofrio.com/images/fbfiles/files/05_2_Quemadores_de_gas_atmosfericos.pdf)
- Ruiz, C. A. (s.f.). *forofrio.com*. Recuperado el 23 de mayo de 2016, de forofrio.com: [http://www.forofrio.com/images/fbfiles/files/05\\_2\\_Quemadores\\_de\\_gas\\_atmosfericos.pdf](http://www.forofrio.com/images/fbfiles/files/05_2_Quemadores_de_gas_atmosfericos.pdf)
- Ruiz, C. A. (s.f.). *forofrio.com*. Recuperado el 23 de mayo de 2016, de forofrio.com: [http://www.forofrio.com/images/fbfiles/files/05\\_2\\_Quemadores\\_de\\_gas\\_atmosfericos.pdf](http://www.forofrio.com/images/fbfiles/files/05_2_Quemadores_de_gas_atmosfericos.pdf)
- Salvador Escoda S.A. (2010). *Manual de Aislamiento en la Industria*. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de <http://www.salvadorescoda.com/tecnico/AI/AislamientoTermicoIndustrial.pdf>
- SCRIBD. (23 de 05 de 2013). *es.scribd.com*. Recuperado el 25 de 04 de 2016, de es.scribd.com: <https://es.scribd.com/doc/66692630/Area-Transversal-de-Un-Tubo>
- Serie de tecnología y diseño de ingeniería. (s.f.). Diseño sostenible de SolidWorks®. Recuperado el 14 de Octubre de 2015, de [https://www.solidworks.com/sw/docs/Sustainability\\_Travel\\_Mug\\_2011\\_ESP.pdf](https://www.solidworks.com/sw/docs/Sustainability_Travel_Mug_2011_ESP.pdf)
- SGAlimentos. (s.f.). *sgalimentos.com*. Recuperado el 06 de mayo de 2016, de [sgalimentos.com: http://sgalimentos.com/probat.html](http://sgalimentos.com/probat.html)

- SKF, C. g. (2006). *Selección de rodamientos*. Recuperado el 17 de agosto de 2016
- SlideShare. (2016). *es.slideshare.net*. Recuperado el 22 de agosto de 2016, de es.slideshare.net:  
<http://es.slideshare.net/borrecan/introduccion-a-logo-siemens>
- SlideShare. (2016). *in SlideShare*. Recuperado el 02 de mayo de 2016, de in SlideShare:  
<http://es.slideshare.net/xMorfe0x/teorias-de-falla-basadas-en-esfuerzos-estaticos-y-dinamico-presentation>
- SlideShare. (s.f.). *SlideShare*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de SlideShare:  
<http://es.slideshare.net/RobertoMojica/contenido-de-humedad-del-cafe>
- Solà, A. (s.f.). Sistema de tambor. *Tostado y Molido de Café*, 3-7. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/18.pdf>
- Tablas y Diagramas De Propiedades. (s.f.). Propiedades de metales solidos. En *tablas y diagramas de propiedades (sistema internacional)* (pág. 5). Obtenido de <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2012/01/tablas-cengel.pdf>
- THERMOCORP. (2014). *MATERIALES DE AISLAMIENTO TERMICO Y ARTICULOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL*. PERÚ. Recuperado el 20 de ABRIL de 2016, de <http://www.thermocerperu.com/portfolio/acero-inoxidable/>
- Tipán, A. O. (2012). *Ingeniero Mecánico*. Ambato, Ecuador. Recuperado el 28 de 07 de 2016, de <file:///C:/Users/Usuario-PC/Downloads/Tesis%20I.%20M.%20160%20-%20Heredia%20Tip%C3%A1n%20Alex%20Omar.pdf>
- Universidad de las Fuerzas Armadas. (s.f.). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR PARA PIEZAS DE CERÁMICA BLANCA MEDIANTE EL USO DE CONVECCIÓN FORZADA Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE AMBIENTE., (pág. 47). Obtenido de [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjZveDfy9HJAhUJ4iYKHQLFBOUQFggyMAU&url=http%3A%2F%2Frepositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F9504%2F3%2FT-ESPE-048571-D.pptx&usq=AFQjCNFs9jP0fPk\\_Tl7bWW5KBQHfk](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjZveDfy9HJAhUJ4iYKHQLFBOUQFggyMAU&url=http%3A%2F%2Frepositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F9504%2F3%2FT-ESPE-048571-D.pptx&usq=AFQjCNFs9jP0fPk_Tl7bWW5KBQHfk)
- Vargas, Á. V. (2007/2008). *Apuntes Logosoft! comfort*. Recuperado el 17 de julio de 2016, de [http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC\\_net\\_Apuntes+Logosoft.pdf](http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_Apuntes+Logosoft.pdf)

Vía Industrial. (20 de agosto de 2016). *viaindustrial.com*. Obtenido de *viaindustrial.com*:  
<http://viaindustrial.com.ec/subbusqueda.asp?subbusqueda=valvulas-solenoides>

*www.tutiendaelectricidad.com*. (2016). Recuperado el 22 de agosto de 2016, de *www.tutiendaelectricidad.com*:  
<http://www.tutiendaelectricidad.com/p-590/Pulsadores,%20selectores%20y%20pilotos./Pulsadores%20industriales%20met%C3%A1licos/Pulsador-industrial-doble-metalico-color-verderojo>

Zúñiga., C. A. (2015). *Armazones o Bastidores para Máquinas y Estructuras*. Costa Rica. Recuperado el 26 de Mayo de 2016, de [https://docs.google.com/document/d/1Apddpf84J\\_\\_Ru3Tirw1B5\\_dPkWlhFgXQYZQ-Q1Xk6OoI/edit?hl=en\\_US&pref=2&pli=1](https://docs.google.com/document/d/1Apddpf84J__Ru3Tirw1B5_dPkWlhFgXQYZQ-Q1Xk6OoI/edit?hl=en_US&pref=2&pli=1)

## **11. ANEXOS**

### **ANEXO: 1**

**Selección de la máquina de tostado de café mediante  
la Matriz de selección.**

## **Anexo A.1** Matriz de selección o de ponderación

### **Matriz de selección.**

Los factores para selección de la máquina mediante la matriz de selección o ponderación son: costo de máquina, Factibilidad, Mantenimiento, Manipulación, Calidad de tostado, Seguridad

**Costo de la máquina:** Que sean costos accesibles para los caficultores que se ubican en el sector Puyango.

**Mantenimiento:** Que haya facilidad de efectuar un plan de mantenimiento preventivo, programado y correctivo.

**Manipulación:** Que el conjunto de elementos que se encuentran en la máquina no sea tan robusta, con un tamaño adecuado para que sea fácil de transportar y que garantice un funcionamiento y durabilidad adecuada.

**Calidad de tostado:** Que cumple con los niveles de producción requeridos y con la garantía de que el producto es totalmente tostado con el color requerido para que tenga buena acogida en el mercado.

**Seguridad:** Se refiere a que el conjunto garantiza un alto nivel de seguridad, porque la persona que va a operar la máquina no está en contacto directo con elementos que afecten su salud y su integridad física.

Pasos a seguir para encontrar la máquina más adecuada para el diseño:

1. Se tiene como objetivo la elección de las máquinas de mayor acogida dentro del mercado para así seleccionar la más adecuada, los tipos de máquinas son los siguientes:
  - Sistema tambor (ST)
  - Sistema turbo o convección (STC)
  - Sistema lecho fluido (SLF)
  - Tostadoras continuas (TC)
  - Tostadoras para torrefacto (TT)
  - Tostadoras para tueste mixto (TM)

El funcionamiento y características de cada una de estas máquinas se explica de mejor manera en el apartado (3.1.5 SISTEMAS DE TUESTE), donde se mencionan mediante tablas los tiempos y temperaturas de cada una de estas máquinas.

2. Los criterios o factores que intervienen dentro de la selección de la máquina de acuerdo a la investigación realizada, se puede apreciar 5 factores que se consideraran para encontrar la mejor máquina, que son:
  - Costo de máquina (Cm)
  - Mantenimiento (Mt)
  - Manipulación (Map)
  - Calidad de tostado (Ct)
  - Seguridad (Se)
3. Comparación de criterios con respecto a los demás, creando una matriz de pares para luego realizar la sumatoria en forma horizontal y así encontrar el factor de ponderación. El factor de ponderación es igual a la suma dividido para el total este paso se lo aplica para cada criterio y se obtiene los resultado.

**Anexo A.2** Matriz de valoración de criterios con respecto a las máquinas.

**Tabla A.1** Matriz de selección de criterios de la máquina

Matriz de pares. Selección de criterios de máquinas							
	Cm	Mat	Map	Ct	Se	Suma	Factor de ponderación
Costo de la máquina (Cm)		5	1/5	5	5	<b>15</b>	0,125
Mantenimiento (Mat)	10		10	5	10	<b>35</b>	0,292
Manipulación (Map)	5	10		5	5	<b>25</b>	0,208
Calidad de tostado (Ct)	5	5	5		5	<b>20</b>	0,167
Seguridad (Se)	5	10	5	5		<b>25</b>	0,208
<b>TOTAL</b>	25	30	20	20	25	<b>120</b>	1,000

**Fuente.** Autor

4. Se realiza la comparación de las opciones de los tipos de máquinas con respecto a las demás dándole valores de cual es mucho mejor hasta mucho peor, para luego realizar la sumatoria de manera horizontal y encontrar cual es el peso de la opción realizando el mismo criterio para encontrar el Factor de ponderación. Estos resultados se aprecian de mejor manera en el anexo A.2

**Anexo A.3** Matriz de calificación de cada máquina.

**Tabla A.3** Matriz de comparación de los tipos de máquinas

Calificación de cada una de las alternativas según el valor de comparación y calificación								
	ST	STC	SLF	TC	TT	TM	SUMA	PESO DE LA OPCIÓN (PO)
Sistema tambor		10	5	5	10	10	40,00	0,234
Sistema turbo o convección	5	5	5	10	5	5	35,00	0,205
Sistema lecho fluido	5		1/5	5	5	5	20,20	0,118
Tostadoras continuas	5	5		5	10	10	35,00	0,205
Tostadoras para torrefacto	5	5	5		5	5	25,00	0,147
Tostadoras para tueste mixto	1/5	1/5	5	5		5	15,40	0,090
<b>TOTAL</b>	<b>20,2</b>	<b>25,2</b>	<b>20,2</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>170,60</b>	<b>1,000</b>

**Fuente.** Autor

- Por último se construye la matriz final, ubicando en las filas las opciones de los tipos de máquinas y en las columnas los criterios o factores considerados. Luego se multiplica el factor de ponderación FP por el peso de la opción PO respectivo. Luego se sumó cada fila para obtener el puntaje final para cada opción. Y al finalizar seleccionar la mejor opción con la máquina de mayor puntaje. Que fue el sistema a tambor y la tostadora continua como se observa en el anexo A.3, estas dos opciones se las tomara en cuenta en el análisis para realizar una comparación y luego seleccionar la mejor.

**Anexo A.4** Matriz final para la selección de máquina tostadora-enfriadora de café.

**Tabla A.4** Matriz de selección Final

	MATRIZ FINAL					
	Costo de la máquina	Mantenimiento	Manipulación	Calidad de tostado	Seguridad	Puntaje Final
Sistema tambor	0,029	0,068	0,049	0,039077765	0,049	<b>0,234</b>
Sistema turbo o convección	0,026	0,060	0,043	0,034193044	0,043	0,205
Sistema lecho fluido	0,015	0,035	0,025	0,019734271	0,025	0,118
Tostadoras continuas	0,043	0,060	0,043	0,034193044	0,043	<b>0,222</b>
Tostadoras para torrefacto	0,018	0,043	0,031	0,024423603	0,031	0,147
Tostadoras para tueste mixto	0,019	0,026	0,019	0,015044939	0,019	0,098

**Fuente.** Autor



## **ANEXO: 2**

### **Espesores comerciales de planchas de acero inoxidable.**

**Anexo B.1** espesores disponibles para el acero ASTM A36.

**Tabla B.1** espesores disponibles en catálogo.

REDUCCION DE FRACCIONES DE PULGADAS A MILIMETROS					
PULGADAS MILIMETROS		PULGADAS MILIMETROS		PULGADAS MILIMETROS	
1/128 = 0.20		25/64 = 9.92		27/32 = 21.43	
1/64 = 0.40		13/32 = 10.32		55/64 = 21.83	
3/128 = 0.60		27/64 = 10.72		7/8 = 22.23	
1/40 = 0.64		7/16 = 11.11		57/64 = 22.62	
1/32 = 0.79		29/64 = 11.51		29/32 = 23.02	
1/25 = 1.02		15/32 = 11.91		59/64 = 23.42	
3/64 = 1.19		31/64 = 12.30		15/16 = 23.81	
1/20 = 1.27		1/2 = 12.70		61/64 = 24.21	
1/16 = 1.59		33/64 = 13.10		61/32 = 24.61	
5/64 = 1.98		17/32 = 13.49		63/64 = 25.00	
3/32 = 2.38		35/64 = 13.89		1 = 25.40	
7/64 = 2.78		9/16 = 14.29		11/10 = 27.00	
1/8 = 3.18		37/64 = 14.68		11/8 = 28.60	
9/64 = 3.57		19/32 = 15.08		18/16 = 30.20	
5/32 = 3.97		39/64 = 15.48		11/4 = 31.70	
11/64 = 4.37		5/8 = 15.88		15/16 = 33.30	
3/16 = 4.76		41/64 = 16.27		13/8 = 34.90	
13/64 = 5.16		21/32 = 16.67		17/16 = 36.50	
7/32 = 5.56		46/64 = 17.07		11/2 = 38.10	
15/64 = 5.95		11/16 = 17.46		19/10 = 39.70	
1/4 = 6.35		45/64 = 17.86		15/8 = 41.30	
17/64 = 6.75		23/32 = 18.26		111/16 = 42.90	
9/32 = 7.14		47/64 = 18.65		13/4 = 44.40	
19/64 = 7.54		3/4 = 19.05		113/16 = 46.00	
5/16 = 7.94		49/64 = 19.45		17/8 = 47.60	
21/64 = 8.33		25/32 = 19.84		115/16 = 49.20	
11/32 = 8.73		51/64 = 20.24		2 = 50.80	
23/64 = 9.13		13/16 = 20.64			
3/8 = 9.53		53/64 = 21.03			

DIMENSIONES EN (mm)			PESOS
ANCHO	LARGO	ESPESOR	KG
1220	2440	2	46.74
1220	2440	3	70.10
1220	2440	4	93.47
1500	2440	4	114.92
1220	2440	5	116.84
1500	2440	5	143.66
1800	2440	5	172.39
1220	2440	6	140.21
1500	2440	6	172.39
1800	2440	6	206.86
1220	2440	8	186.94
1500	2440	8	229.85
1800	2440	8	275.82
1220	2440	10	233.68
1500	2440	10	287.31
1800	2440	10	344.77
1220	6000	12	689.54

Fuente. (DIPAC, 2016)

Anexo B.2 selección de espesores de planchas de acero inoxidable.

Tabla B.2 espesores de planchas de acero inoxidable

EL ACERO

**PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE**  
ASTM A240/A480

(ESPESOR) mm	ANCHO X LONGITUD mm	PESO APROX. (Kg)	304	316-L	430	ACABADO
0.4	1220x2440	9.4			*	2B o N° 4
0.5	1220x2440	11.8	*		*	2B o N° 4
0.6	1220x2440	14.2	*			2B
0.7	1220x2440	17.0	*		*	2B o N° 4
0.8	1220x2440	18.7	*			2B
0.9	1220x2440	21.03	*			2B
1.0	1220x2440	24.0	*			2B o N° 4
1.2	1220x2440	28.2	*		*	2B o N° 4
1.5	1220x2440	35.0	*			2B o N° 4
2.0	1220x2440	48.0	*	*		2B o N° 4
2.5	1220x2440	60.0	*	*		2B
3.0	1220x2440	71.0	*	*		2B
4.0	1220x2440	97.0	*	*		N°1
5.0	1220x2440	118.0	*	*		N°1
6.0	1220x2440	144.0	*	*		N°1
8.0	1220x2440	187.0	*	*		N°1
10.0	1220x2440	234.0	*			N°1
12.0	1220x2440	282.0	*			N°1

**Acabado 2B:** Planchas laminadas en frío, tratadas térmicamente, decapadas químicamente y tenue paso final en cilindros brillantes. Para acero 430, acabado 2B es brillante.

**Acabado N° 1:** Planchas laminadas en caliente, tratadas térmicamente, decapadas química y mecánicamente.

**Acabado N° 4:** Planchas esmeriladas con grit 180-220 por una cara, la otra cra en acabado 2B. LA cara esmerilada viene protegida con film de PVC.

Fuente. (DIPAC, 2016)

## **ANEXO: 3**

**Selección del coeficiente de corrección de la potencia  
e interpretación del diagrama para elección del tipo  
de polea.**

## Anexo C.1 coeficientes de corrección de la potencia

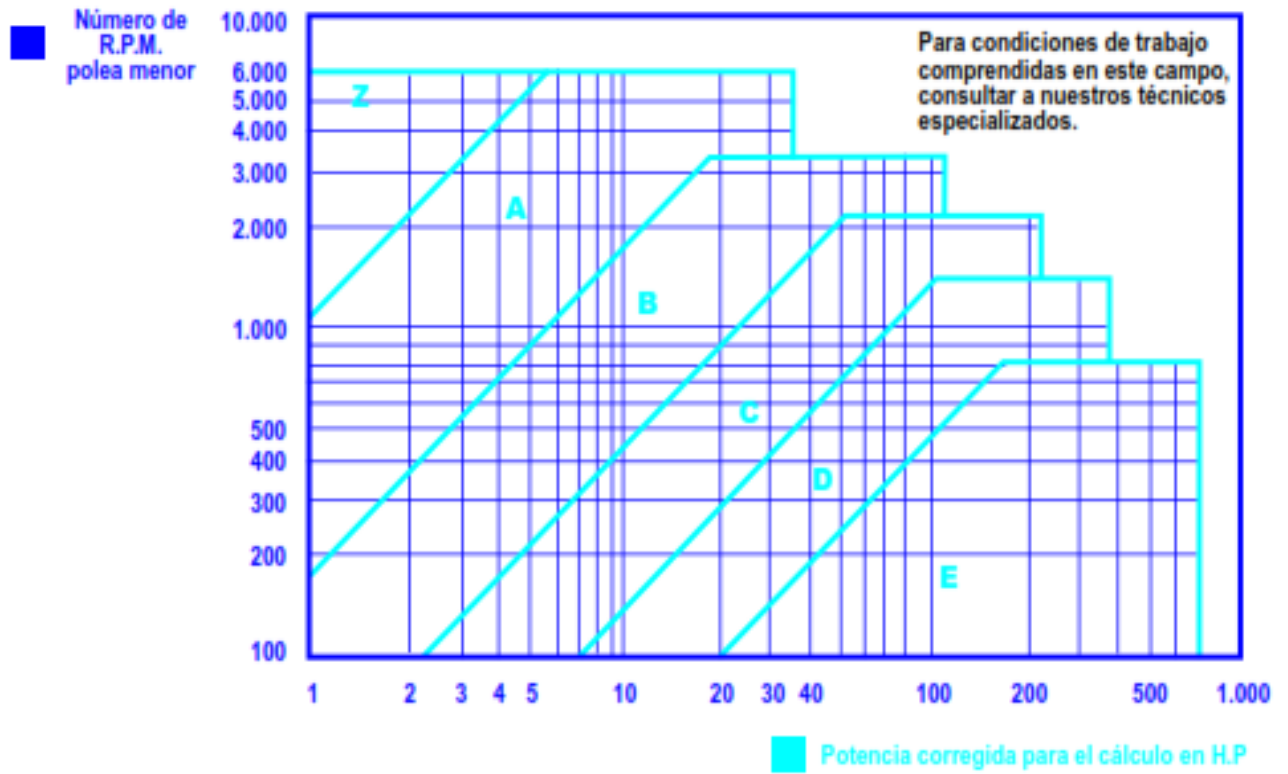
**Tabla C.1** tabla para la selección del coeficiente de corrección de la potencia

Tabla N° 3 - Coeficiente de corrección de la potencia						
Tipo de máquina conductora Tipo de máquina conducida	Motores de corriente alterna, torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos; fase partida. Motores de corriente continua, bobinado en shunt. Máquinas de combustión interna, cilindros múltiples.			Motores de corriente alternada, alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillado colector. Motores de corriente continua, bobinado en serie y bobinado compound. Máquina a combustión interna, monocilíndrica. Ejes en línea. Arranque directo y con embrague		
	Servicio Intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias	Servicio Intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias
<b>Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas. Sopladores hasta 10 HP. Transportadores livianos.</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>
<b>Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería. Sopladores de más de 10 HP, generadores. Línea a ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, punzadoras, prensa, guillotinas, bombas rotativas positivas. Máquinas de imprenta, zarandas vibradoras y giratorias.</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>
<b>Máquina de ladrillos y cerámicas, elevadores a cangilones. Generadores y excitatrices. Compresores a pistón, transportadores, molinos a martillos, molinos batidores para papel, bombas a pistón, sopladores positivos. Pulverizadores, desmenuzadoras, sierras y máquinas para elaboración de madera, máquinas textiles.</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>
<b>Trituradoras (giratorias, mandíbulas, bolas). Molinos (bolas, laminadores, barras). Calamandra para goma, bambury-extrusoras.</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>1.8</b>

Fuente. (Dunlop, 2016)

Anexo C.2 Diagrama para la selección del tipo de correa.

Tabla C.2 diagrama de selección del tipo de correa a usar



Fuente. (Dunlop, 2016)

Anexo C.3 Tabla de propiedades del tipo de correa A

Tabla C.3 selección de propiedades de la correa tipo A

TABLA N° 2 - SECCION A

Tabla N° 2 - Sección A													
N° R.P.M. De la polea menor	Prestación Base (en HP)												
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)												
	66	71	76	81	86	91	96	102	107	112	117	122	127
1160	0.54	0.69	0.84	0.99	1.13	1.28	1.42	1.56	1.70	1.84	1.98	2.12	2.26
1750	0.68	0.90	1.11	1.32	1.53	1.73	1.93	2.13	2.33	2.53	2.72	2.91	3.10
3450	0.85	1.21	1.57	1.91	2.25	2.57	2.88	3.19	3.48	3.76	4.02	4.28	4.52
200	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.48	0.51
400	0.26	0.32	0.38	0.43	0.49	0.55	0.60	0.66	0.71	0.77	0.82	0.88	0.93
600	0.35	0.43	0.52	0.60	0.68	0.76	0.84	0.92	1.00	1.08	1.16	1.23	1.31
800	0.43	0.53	0.64	0.75	0.85	0.95	1.06	1.16	1.26	1.37	1.47	1.57	1.67
1000	0.49	0.62	0.75	0.88	1.01	1.14	1.26	1.39	1.51	1.64	1.76	1.88	2.00
1200	0.55	0.71	0.86	1.01	1.16	1.31	1.46	1.60	1.75	1.89	2.04	2.18	2.32
1400	0.61	0.78	0.96	1.13	1.30	1.47	1.64	1.81	1.97	2.14	2.30	2.46	2.62
1600	0.65	0.85	1.05	1.24	1.43	1.62	1.81	2.00	2.18	2.37	2.55	2.73	2.90
1800	0.69	0.91	1.13	1.34	1.56	1.77	1.97	2.18	2.38	2.58	2.78	2.97	3.17
2000	0.73	0.97	1.21	1.44	1.67	1.90	2.12	2.35	2.57	2.78	2.99	3.20	3.41
2200	0.76	1.02	1.28	1.53	1.78	2.02	2.26	2.50	2.74	2.97	3.19	3.42	3.64
2400	0.79	1.07	1.34	1.61	1.88	2.14	2.39	2.65	2.89	3.14	3.38	3.61	3.84
2600	0.81	1.11	1.40	1.69	1.97	2.24	2.51	2.78	3.04	3.29	3.54	3.78	4.02
2800	0.83	1.14	1.45	1.75	2.05	2.34	2.62	2.90	3.17	3.43	3.69	3.94	4.18
3000	0.84	1.17	1.49	1.81	2.12	2.42	2.72	3.00	3.28	3.55	3.81	4.07	4.31
3200	0.85	1.19	1.53	1.86	2.18	2.49	2.80	3.09	3.38	3.66	3.92	4.18	4.42
3400	0.85	1.21	1.56	1.90	2.24	2.56	2.87	3.17	3.46	3.74	4.01	4.26	4.50
3600	0.85	1.22	1.59	1.94	2.28	2.61	2.93	3.23	3.52	3.80	4.07	4.32	4.56
3800	0.84	1.23	1.60	1.96	2.31	2.65	2.97	3.28	3.57	3.85	4.11	4.36	4.58
4000	0.83	1.22	1.61	1.98	2.33	2.67	3.00	3.31	3.60	3.87	4.13	4.36	4.58
4200	0.81	1.22	1.61	1.99	2.35	2.69	3.01	3.32	3.61	3.87	4.12	4.34	4.54
4400	0.78	1.20	1.60	1.98	2.35	2.69	3.01	3.31	3.59	3.85	4.08	4.29	4.47
4600	0.75	1.18	1.58	1.97	2.33	2.68	3.00	3.29	3.56	3.80	4.02	4.21	4.37
4800	0.72	1.15	1.56	1.95	2.31	2.65	2.96	3.25	3.50	3.73	3.93	4.09	4.23
5000	0.67	1.11	1.53	1.91	2.27	2.61	2.91	3.19	3.43	3.64	3.81	3.95	-
5200	0.63	1.07	1.48	1.87	2.23	2.55	2.84	3.10	3.33	3.51	3.66	-	-
5400	0.57	1.02	1.43	1.81	2.16	2.48	2.76	3.00	3.20	3.36	-	-	-
5600	0.51	0.96	1.37	1.75	2.09	2.39	2.65	2.87	3.05	3.18	-	-	-
5800	0.44	0.89	1.30	1.67	2.00	2.28	2.53	2.72	2.87	-	-	-	-
6000	0.37	0.81	1.21	1.57	1.89	2.16	2.38	2.55	-	-	-	-	-

Fuente. (Dunlop, 2016)



**Anexo C.4** Tabla del factor de corrección en función de la longitud de la correa.

**Tabla C.4** Factor de corrección en función de la longitud de la correa calculada

**TABLA N° 4 - FACTOR DE CORRECCION EN FUNCION DE LA LONGITUD DE LA CORREA**

Tabla N° 4		Sección de la correa				
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-
80	-	1.04	0.98	0.89	-	-
81	-	1.04	0.98	0.89	-	-
85	-	1.05	0.99	0.90	-	-
90	-	1.06	1.00	0.91	-	-
96	-	1.08	1.02	0.92	-	-
97	-	1.08	1.02	0.92	-	-
105	-	1.10	1.04	0.94	-	-

Fuente. (Dunlop, 2016)



**Anexo C.5** Tabla para el factor de corrección del arco de contacto de la correa.

**Tabla C.4** Factor de corrección en función del arco de contacto encontrado

**TABLA N° 5 - FACTOR DE CORRECCION EN FUNCION DEL ARCO DE CONTACTO**

Tabla N° 5	Factor de corrección	
	Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82
147°	0.91	0.83
144°	0.90	0.83
140°	0.89	0.84
137°	0.88	0.85
134°	0.87	0.85
130°	0.86	0.86

**Fuente.** (Dunlop, 2016)

## **ANEXO: 4**

### **Eje de transmisión.**

**Anexo D.1** Factores de seguridad para diferentes criterios de selección.

**Tabla D.1** Factor de seguridad de materiales dúctiles.

<b>MATERIALES DÚCTILES</b>	
<b>Factor de seguridad (N)</b>	<b>Criterios para selección de factor de seguridad.</b>
1.25-2	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
2-2.5	Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
2.5-4	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente
4-mas	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.
3-4	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
4-8	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca de cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

**Fuente.** (Robert L. Mott, 2006)

**Anexo D.2** Diámetros comerciales para los ejes de transmisión.

**Tabla D.2** selección del diámetro del eje de transmisión.

**EL ACERO**

**SAE 1018**  
Eje de transmisión - tolerancias h10-h11

**GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.

ANÁLISIS TÍPICO %

	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2 ") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7";8";9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

<i>Propiedad: Laminado en Frío</i>	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm <sup>2</sup>	min. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm <sup>2</sup>	51-71
Elongación, A <sub>5</sub>	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

**APLICACIONES**

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)
1/4	0,2
5/16	0,4
3/8	0,6
1/2	1,0
5/8	1,6
3/4	2,2
7/8	3,0
1	4,0
1 1/8	5,0
1 1/4	6,2
1 3/8	7,5
1 1/2	8,9
1 3/4	12,2
2	15,9
2 1/4	20,1
2 1/2	24,9
2 3/4	30,1
3	35,8
3 1/4	42,0
3 1/2	48,7
4	63,6
4 1/2	80,5
5	99,4
5 1/2	120,3
6	143,2
7	194,9
8	254,0
9	322,2
10	397,8

**35**

Fuente. (DIPAC, 2016)

## **ANEXO: 5**

### **Tamaño del grano de café.**

**Anexo E.1** Tabla de selección del tamaño del grano de café.

**Tabla D.2** selección tamaño del grano

REQUISITO	GRADO 1	GRADO 2	GRADO 3	GRADO 4	MÉTODO DE ENSAYO
Altitud	De estricta altura: Arriba de 1 200 msnm. De altura: Entre 800 y 1 200 msnm.	De zona baja o alta	De zona baja o alta	De zona baja o alta	-----
Humedad	11% mínimo 12,5 % máximo	11% mínimo 12,5 % máximo	11% mínimo 12,5 % máximo	11% mínimo 12,5 % máximo	INEN 286
Estado fitosanitario	Libre de todo insecto vivo y/o muerto, hongos y contaminantes sensoriales perceptibles				INEN 288
Forma	Grano normal	Grano normal	Grano normal	Grano normal	INEN 288
Color	Verde gris azulado	Verde gris azulado	Verde gris azulado	Verde a verde pálido	INEN 288
Número de defectos	Máximo 10 defectos secundarios en una muestra de 300 gramos	Máximo 15 defectos secundarios y sin defectos primarios en una muestra de 300 gramos	Máximo 23 defectos secundarios y sin defectos primarios en una muestra de 300 gramos	Máximo 45 defectos en una muestra de 300 gramos	INEN 289
Tamaño del grano	Mínimo 95% arriba de la zaranda #15.  Máximo 5% debajo de la zaranda #15.	Mínimo 85% arriba de la zaranda #18.  0% debajo de la zaranda #15.	Mínimo 95% arriba de la zaranda #15.  Máximo 5% debajo de la zaranda #15.	Mínimo 95% arriba de la zaranda #15.  Máximo 5% debajo de la zaranda #14.	INEN 290
Calidad de taza*	Acidez, aroma y sabor de medio alto a alto, mediano cuerpo y tueste homogéneo.	Taza limpia y libre de sabores extraños.	Taza limpia y libre de sabores extraños.	Taza limpia y libre de sabores extraños.	ISO 6668

**Fuente.** (Luis Duicela, 1988)

**Anexo E.2** Selección del diámetro de los agujeros de la plancha base del enfriador de café.

**Tabla E.2** selección de la malla según el tamaño del grano

<b>Numero de criba*</b>	<b>Dimensiones ISO (en mm)</b>
10	4.00
12	4.75
13	5.00
14	5.60
15	6.00
16	6.30
17	6.70
18	7.10
19	7.50
20	8.00

**Fuente.** (Luis Duicela, 1988)

## **ANEXO: 6**

### **Características del quemador atmosférico.**



## Anexo F.1 Quemador Atmosférico modelo PLT.

Tabla F.1 selección del quemador

**EM-3 G / EM-5 G / EM-8 G**  
**EM-15 G / EM-20 G**

**Quemador Gas 1 Marcha**  
**de 12 a 232 kW**



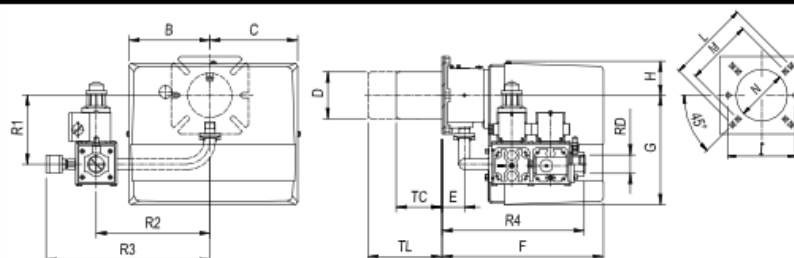
95/37 CEE Directiva de Máquinas  
90/269 CEE Directiva Aparatos de Gas  
73/23 CEE Directiva Baja Tensión  
89/336 CEE Directiva Compatibilidad Electromagnética



### Descripción Técnica

- Quemador compacto de gas, totalmente automático con funcionamiento a una marcha con regulación del aire por fijación manual. El quemador lleva incorporado el programador, motor, ventilador, regulación de aire, pieza intermedia para gas con cabezal de combustión adecuado para cada clase de gas a emplear.
- Vigilancia de llama por sistema de ionización.
- Control de funcionamiento de ventilador por presostato de aire.
- La rampa de gas se suministra totalmente montada, y compuesta por:
  - Dos electroválvulas de gas de regulación y seguridad.
  - Presostato de mínima de gas.
  - Filtro estabilizador de gas.

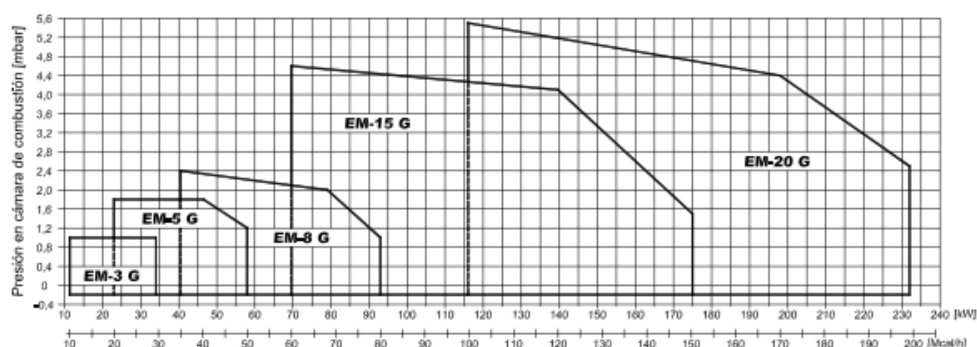
### Dimensiones del quemador



Dimensiones EM-3 G / EM-5 G / EM-8 G / EM-15 G / EM-20 G

Modelo	Dimensiones en mm																		
	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	TC	TL	R1	R2	R3	R4
EM-3 G	137	137	90	45	265	169	72	130	160	130	100	30	M8	85	145	128	200	254	244
EM-5 G	157	170	90	45	313	210	65	130	160	130	100	30	M8	85	145	128	200	254	244
EM-8 G	157	170	90	45	313	210	65	130	160	130	100	30	M8	85	145	133	220	318	275
EM-15 G	185	195	108	52	340	248	70	160	170	150	120	30	M8	130	250	168	280	378	308
EM-20 G	185	195	125	78	368	248	70	-	226	205	135	40	M10	160	280	173	280	378	334

### Curvas de potencia



⚠ **NOTA:** Los quemadores se suministran para Gas Natural. Para GLP u otro tipo de gas hay que especificarlo.

### Características técnicas

Modelo	EM-3 G	EM-5 G	EM-8 G	EM-15 G	EM-20 G
Potencia [kW]	11,5 - 34	23 - 58	40,5 - 93	70 - 174	116 - 232
Consumo máximo [Nm <sup>3</sup> /h G.N.]	1,2 - 3,4	2,3 - 5,8	4,1 - 9,4	7 - 17,4	11,6 - 23,2
P mín. entrada rampa G.N. [mbar]	11	16	17	20	26
Consumo máximo [Nm <sup>3</sup> /h G.L.P.]	0,5 - 1,3	0,9 - 2,3	1,6 - 3,6	2,7 - 6,5	4,5 - 9
P mín. entrada rampa G.L.P. [mbar]	18	31	28	32	23
Motor [kW]	0,050	0,075	0,075	0,11	0,20
Rampa de gas (RD)	R ½"	R ½"	R ¾" - FS 25	R 1" - FS 25	R 1" - FS 25
Alimentación eléctrica [V]	1 x 220 V 50Hz				

Fuente. (QUEMADORES)

Anexo F.2 Válvula solenoide

Tabla F.2 características de la válvula solenoide

Servicios Generales - 2/2 Normalmente Cerrada 1/8" y 1/4"

Diámetro de conexión (in)	Orificio Interno (in)	CV Factor de Flujo	Presión de operación diferencial (PSI)			Max. temp. del fluido (°F) ①	Modelo	Material del cuerpo	Material de sellos e internos	Voltaje de la bobina	Potencia eléctrica (W)	Aprobaciones		Kit de reconstrucción	Bobina de reemplazo	Peso aproximado (lbs)	
			min.	max.								UL	FM				
			aire	agua	aceite												
<b>2/2 Normalmente Cerrada</b>																	
1/8	7/64	0.19	0	135	126	80	180	U8256B045V	BR	FKM	120/60	6.3	☐	-	-	400117-225-D*	0.6
		0.35	0	185	180	120	180	8262H002	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238210-032-D*	2.3
	1/8	0.35	0	185	180	120	180	8262H002	BR	NBR	24/60	6.1	☉	☉	323581	238210-005-D*	2.3
		0.35	0	185	180	120	180	8262H002	BR	NBR	240/60,220/50	6.1	☉	☉	323581	238210-058-D*	2.3
		0.35	0	185	180	120	180	EF8262H002	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238214-032-D*	2.3
		0.35	0	130	110	95	180	8262H002	BR	NBR	24/DC	10.6	☉	☉	323587	238510-006-D*	2.3
1/4	3/64	0.06	0	750	750	725	180	8262H019	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238210-032-D*	2.3
	3/32	0.19	0	100	100	-	130	USM8260074	PL	NBR	120/60,110/50	6.5	☉	-	302973	186548-001-*	2.0
		0.21	0	370	330	160	180	8262H020	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238210-032-D*	2.3
		0.21	0	235	160	160	180	8262H020	BR	NBR	24/DC	10.6	☉	☉	323587	238310-006-D*	2.3
	1/8	0.35	0	185	180	90	180	8262H007	SS	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323583	238210-032-D*	2.4
		0.35	0	185	180	90	180	EF8262H007	SS	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323583	238214-032-D*	2.4
		0.35	0	185	180	90	180	8262H022	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238210-032-D*	2.0
		0.35	0	185	180	90	180	8262H022	BR	NBR	24/60	6.1	☉	☉	323581	238210-005-D*	2.0
		0.35	0	185	180	90	180	8262H022	BR	NBR	240/60,220/50	6.1	☉	☉	323581	238210-058-D*	2.0
		0.35	0	185	180	90	180	EF8262H022	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238214-032-D*	2.0
		0.35	0	185	180	90	180	8262H022V	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581-V	238210-032-D*	2.0
		0.35	0	130	110	90	180	8262H022	BR	NBR	24/DC	10.6	☉	☉	323587	238310-006-D*	2.0
		0.35	0	340	300	215	180	8262H232	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593	238610-032-D*	2.4
		0.35	0	340	300	215	180	EF8262H232	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593	238614-032-D*	2.4
	5/32	0.52	0	210	200	145	180	8262H202	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593	238610-032-D*	2.4
		0.52	0	210	200	145	180	8262H202	BR	NBR	240/60,220/50	10.1	☉	☉	323593	238610-058-D*	2.4
		0.52	0	210	200	145	180	EF8262H202	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593	238614-032-D*	2.4
		0.52	0	210	200	145	180	8262H202V	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593-V	238610-032-D*	2.4
		0.52	0	63	63	63	180	8262H202	BR	NBR	24/DC	11.6	☉	☉	323593	238710-006-D*	2.4
		0.73	0	100	100	100	180	8262H208	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593	238610-032-D*	2.4
		0.73	0	100	100	100	180	8262H208	BR	NBR	24/60	10.1	☉	☉	323593	238610-005-D*	2.4
		0.73	0	100	100	100	180	8262H208	BR	NBR	240/60,220/50	10.1	☉	☉	323593	238610-058-D*	2.4
		0.73	0	100	100	100	180	EF8262H208	BR	NBR	120/60,110/50	10.1	☉	☉	323593	238614-032-D*	2.4
		0.73	0	55	54	40	180	8262H013	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238210-032-D*	2.3
9/32	0.88	0	90	90	90	180	8262H212	BR	NBR	120/60,110/50	17.1	☉	☉	323593	238610-132-D*	2.4	
	0.88	0	36	36	33	180	8262H090	BR	NBR	120/60,110/50	6.1	☉	☉	323581	238210-032-D*	2.3	
5/16	0.88	5	125	125	-	180	8210B020	BR	NBR	120/60,110/50	6.5	●	-	302270	216099-003-D*	1.0	
	1.5	10	750	750	750	200	8223G021	BR	NYLON	120/60,110/50	10.1	-	-	302313	238610-032-D*	2.9	
	1.5	10	1500	1500	1500	200	8223G025	BR	NYLON	120/60,110/50	17.1	-	-	302314	238610-132-D*	2.9	

Fuente. (EXPRESS, 2015)

## **ANEXO: 7**

### **Características del motor.**

## Anexo G.1 Datos eléctricos sobre el motor

### Tabla G.1 tabla técnica del motor

#### Uso General

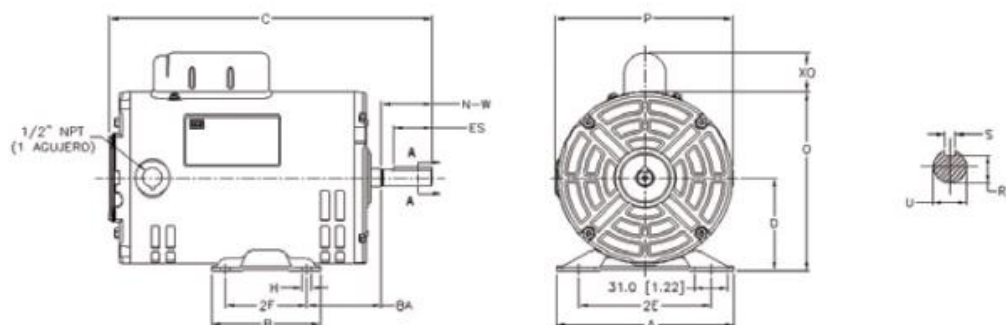
#### Datos Eléctricos

Potencia		Factor de Servicio	Polos	Armazón	Código de Referencia	Tensión V	RPM min <sup>-1</sup>	Corriente Nominal A	Corriente a Factor de Servicio A	Clave KVA/HP	Eficiencia Nominal %	Factor de Potencia pu
HP	kW											
0,25	0,187	1,35	2	56	.25360S1PA56	127/220	3510	6.28/2.35	6.50/2.70	R	52,5	0,44
		1,35	4	56	.25180S1P56	127/220	1745	5.50/2.50	5.80/2.80	P	50,5	0,52
0,33	0,249	1,35	2	56	.33360S1PA56	127/220	3510	7.21/2.70	7.40/3.10	P	55,0	0,57
		1,35	4	56	.33180S1P56	127/220	1750	6.40/2.50	7.00/3.00	P	52,5	0,57
0,50	0,373	1,25	2	56	.50360S1PA56	127/220	3515	9.10/3.70	9.70/4.60	N	59,5	0,58
		1,25	4	56	.50180S1P56	127/220	1740	8.00/3.80	8.70/4.30	N	57,5	0,63
0,75	0,560	1,25	2	56	.75360S1PA56	127/220	3500	11.50/5.00	12.55/5.85	M	62,0	0,61
		1,25	4	56	.75180S1P56	127/220	1750	12.5/5.50	13.10/6.10	P	59,5	0,59
1.0	0,746	1,25	2	56	001360S1P56	127/220	3515	13.00/6.20	14.00/7.30	M	64,0	0,70
		1,15	4	56	001180S1P56	127/220	1730	15.00/7.50	17.50/8.62	M	62,0	0,63
1,5	1,119	1,15	2	56	001560S1P56	127/220	3500	16.50/8.80	18.90/10.10	L	68,0	0,78
		1,15	4	56	001580S1P56	127/220	1730	20.20/9.37	21.30/10.60	M	66,0	0,66
2.0	1,492	1,15	2	56H	002360S1P56	127/220	3520	20.0/10.5	22.0/11.5	M	72,0	0,81
		1,15	4	56H	002180S1P56	127/220	1735	29.00/13.50	33.3/15.50	M	70,0	0,57

#### Datos Mecánicos

Potencia		Polos	Armazón	Código de Referencia	D	2E	2F	BA	H	U	N-W	R	ES Min.	S	C	P	O	XO (1)
HP	kW																	
0,25	0,187	2	56	.25360S1PA56	88.9 [3.50]	61.976 [2.44]	76.2 [3.00]	69.85 [2.75]	8.636 [0.34]	15.875 [0.6250]	47.752 [1.88]	13.1318 [0.517]	35.814 [1.41]	4.7752 [0.188]	267 [10.5]	147 [5.8]	161 [6.3]	37.5 [1.47]
		4	56	.25180S1P56											267 [10.5]	147 [5.8]	161 [6.3]	
0,33	0,249	2	56	.33360S1PA56											277 [10.9]	147 [5.8]	161 [6.3]	
		4	56	.33180S1P56											277 [10.9]	147 [5.8]	161 [6.3]	
0,50	0,373	2	56	.50360S1PA56											287 [11.3]	147 [5.8]	161 [6.3]	
		4	56	.50180S1P56											287 [11.3]	147 [5.8]	161 [6.3]	
0,75	0,560	2	56	.75360S1PA56											312 [12.2]	166 [6.5]	171 [6.7]	
		4	56	.75180S1P56											312 [12.2]	166 [6.5]	171 [6.7]	
1.0	0,746	2	56	001360S1P56											312 [12.2]	166 [6.5]	171 [6.7]	
		4	56	001180S1P56											312 [12.2]	166 [6.5]	171 [6.7]	
1,5	1,119	2	56	001560S1P56											322 [12.6]	166 [6.5]	171 [6.7]	
		4	56	001580S1P56											322 [12.6]	166 [6.5]	171 [6.7]	
2.0	1,492	2	56H	002360S1P56											352 [13.8]	166 [6.5]	171 [6.7]	
		4	56H	002180S1P56											362 [14.2]	166 [6.5]	171 [6.7]	

Todas las dimensiones están en mm [pulgadas]  
 (1) La distancia XO varía para motores de doble capacitor.



## **ANEXO: 8**

### **Selección de las dimensiones de las chavetas según el diámetro del eje.**

Anexo H.1 Dimensiones de la chaveta según el diámetro del eje de transmisión.

Tabla H.1 dimensiones de la chaveta y chavetero

**Chavetero para chavetas paralelas**

Diámetro del eje d		Sección de la chaveta b X h	Ancho b, tolerancia				Profundidad				Chafilán R1		
			Clase de ajuste del enchavetado				Eje h1		Cubo h2				
Más de	hasta		Nominal	Libre		Normal	Ajustado	Nominal	Toler.	Nominal	Toler.	Mfn.	Máx.
				Eje h9	Cubo D10	Eje n9	Cubo JS9						
10	12	4X4	4					2,5		1,8		0,08	0,16
12	17	5X5	5	+0,030	+0,078	0		3	+0,1	2,3	+0,1	0,16	0,25
17	22	6X6	6	0	+0,030	-0,030	±0,015	3,5	0	2,8	0	0,16	0,25
22	30	8X7	8	+0,036	+0,098	0		4		3,3		0,16	0,25
30	38	10X8	10	0	+0,040	-0,036	±0,018	5		3,3		0,25	0,40
38	44	12X8	12					5		3,3		0,25	0,40
44	50	14X9	14	+0,043	+0,120	0	±0,0215	5,5		3,8		0,25	0,40
50	58	16X10	16	0	+0,050	-0,043	-0,018	6		4,3		0,25	0,40
58	65	18X11	18					7	+0,2	4,4	+0,2	0,25	0,40
65	75	20X12	20					7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22X14	22	+0,052	+0,149	0	±0,026	9		5,4		0,40	0,60
85	95	25X14	25	0	+0,065	-0,052	-0,022	9		5,4		0,40	0,60
95	110	28X16	28					10		6,4		0,40	0,60
110	130	32X18	32					11		7,4		0,40	0,60
130	150	36X20	36					12		8,4		0,70	1,00
150	170	40X22	40	+0,062	+0,180	0	±0,031	13		9,4		0,70	1,00
170	200	45X25	45	0	+0,080	-0,062	-0,026	15		10,4		0,70	1,00
200	230	50X28	50					17		11,4		0,70	1,00
230	260	56X32	56					20	+0,3	12,4	+0,3	0,70	1,00
260	290	63X32	63					20	0	12,4	0	1,20	1,60
290	330	70X36	70	+0,074	+0,220	0	±0,037	22		14,4		1,20	1,60
330	380	80X40	80	0	+0,100	-0,074	-0,032	25		15,4		2,00	2,50
380	440	90X45	90					28		17,4		2,00	2,50
440	500	100X50	100	+0,087	+0,260	0	±0,0435	31		19,5		2,00	2,50
				0	+0,120	-0,087	-0,124					2,00	2,50

## **ANEXO: 9**

### **Selección rodamiento.**

Anexo I.1 Características del rodamiento que se utiliza en el diseño

Tabla I.1 selección de rodamiento

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas  
d 12 – 22 mm

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_L$	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm	kg	-	
12	21	5	1,43	0,67	0,028	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,25	0,98	0,043	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	3,4	2,36	0,10	60 000	38 000	0,022	* 6001
	30	8	3,07	2,36	0,10	56 000	34 000	0,023	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,060	* 6301
15	24	5	1,56	0,8	0,034	60 000	38 000	0,0074	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,025	* 16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,030	* 6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* 6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* 6302
17	26	5	1,68	0,93	0,039	56 000	34 000	0,0082	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,018	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,032	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,039	* 6003
	40	9	9,56	4,75	0,2	38 000	24 000	0,048	98203
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* 6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,12	* 6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,038	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,050	* 16004
	42	9	7,93	4,5	0,19	38 000	24 000	0,051	98204 Y
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,069	* 6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,096	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,40	6404
22	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,12	62/22
	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	63/22

\* Rodamiento SKF Explorer

Fuente. (SKF, 2006)



**ANEXO: 10**

## **Tipos de PLC logo!**

**Anexo J.1** Características técnicas de los tipos de Logo! De sus módulos centrales y sus módulos de ampliación.

**Tabla J.1** datos del autómata programable

SIEMENS

### Características técnicas

#### Módulo central

Símbolo	Nombre	Tensión de alimentación	Entradas	Salidas	Propiedades
	LOGO! 12/24 RC	12/24 V DC	8 digitales (1)	4 relés (10 A)	
	LOGO! 24	24 V DC	8 digitales (1)	4 transistores 24V / 0,3A	Sin reloj
	LOGO! 24RC (3)	24 V AC/ 24 V DC	8 digitales	4 relés (10A)	
	LOGO! 230RC (2)	115...240 V AC/DC	8 digitales	4 relés (10A)	

(1): Pueden utilizarse alternativamente: 4 entradas analógicas (0 ... 10V) y 4 entradas digitales rápidas de 5 KHz

(2): Versiones de 230 V AC: dos grupos de 4 entradas cada uno.

(3): Las entradas digitales pueden utilizarse con acción P o N.



SIEMENS

### Características técnicas

#### Módulos de ampliación


Símbolo	Nombre	Fuente de alimentación	Entradas	Salidas
	LOGO! DM 8 12/24R	12/24 V DC	4 digitales	4 relés (5A)
	LOGO! DM 8 24	24 V DC	4 digitales	4 transistores 24V / 0,3A
	LOGO! DM 8 24R (3)	24 V AC/DC	4 digitales	4 relés (5A)
	LOGO! DM 8 230R	115...240 V AC/DC	4 digitales (1)	4 relés (5A)
	LOGO! DM 16 24	24 V DC	8 digitales	8 transistores 24V / 0,3A
	LOGO! DM 16 24R	24 V DC	8 digitales	8 relés (5A)
	LOGO! DM 16 230R	115...240 V AC/DC	8 digitales (4)	8 relés (5A)
	LOGO! AM 2	12/24 V DC	2 analógicas 0 ... 10V ó 0 ... 20mA (2)	Ninguna
	LOGO! AM 2 PT100	12/24 V DC	2 Pt100 -50 °C a +200 °C	Ninguna
	LOGO! AM 2 AQ	24 V DC	Ninguna	2 analógicas 0 ... 10 V DC 0/4...20mA (5)



Características técnicas

LOGO! TD



Símbolo	Nombre	Tensión de alimentación	Display
	LOGO! TD	24 V AC/DC 12 V DC	LCD (128 x 64) Display de 4 filas

- Un único modelo admite ser alimentado con CA y CC.
- Cuando es conectado a una fuente de alimentación de CC, la polaridad es indistinta.

Fuente. (Logo, 2010)

**Anexo J.2** Datos técnicos: Logo! Contacto 24/230

**Tabla J.2** Datos técnicos

LOGO! Contact 24 y LOGO! Contact 230 son módulos de conmutación que permiten conectar directamente consumidores óhmicos de hasta 20 A y motores de hasta 4 kW (sin ruidos molestos ni zumbidos).

	<b>LOGO! Contact 24</b>	<b>LOGO! Contact 230</b>
Tensión de accionamiento	24 V c.c.	230 V AC; 50/60 Hz .
<b>Capacidad de conmutación</b>		
Categoría de uso AC-1: conexión de carga óhmica a 55°C Corriente de régimen para 400 V Potencia de consumidores de corriente trifásica para 400 V	20 A 13 kW	
Categoría de uso AC-2, AC-3: motores con anillo colector o rotor de jaula de ardilla Corriente de régimen para 400 V Potencia de consumidores de corriente trifásica para 400 V	8,4 A 4 kW	
Protección contra cortocircuito: Asignación tipo 1 Asignación tipo 2	25 A 10 A	
Cables de conexión	conductores delgados, con casquillos terminales para 1 hilo 2 x (0,75 a 2,5) mm <sup>2</sup> 2 x (1 a 2,5) mm <sup>2</sup> 1 x 4 mm <sup>2</sup>	
Dimensiones (AxAxP)	36 x 72 x 55	
Temperatura ambiente	-25 ... +55°C	
Temperatura de almacenaje	-50 ... +80°C	

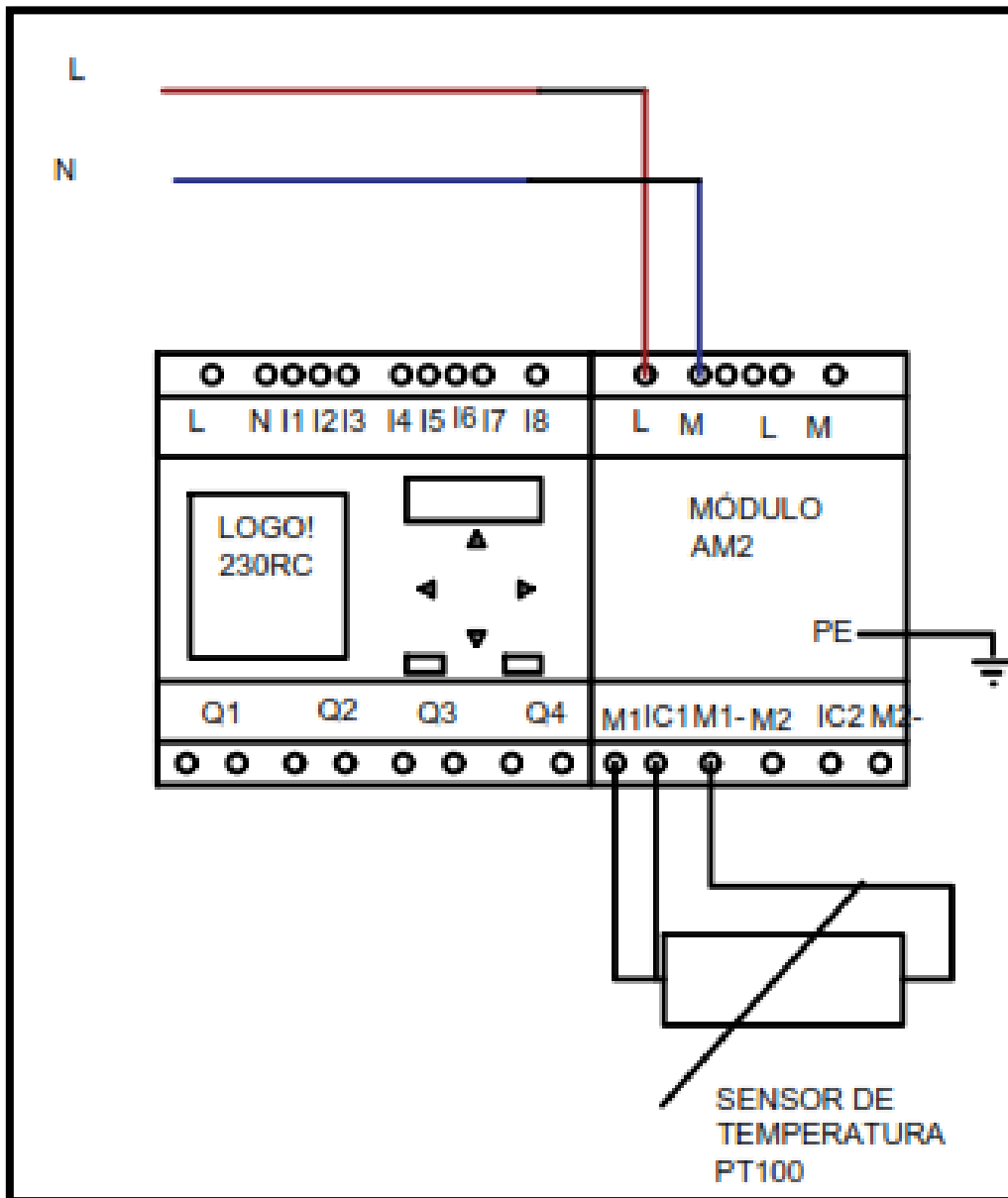
**Fuente.** (Logo, 2010)

**Anexo J.3** Diagrama de conexión del PT100 con el módulo de ampliación.

**Tabla J.3** diagrama de conexión del pt100

Conexión a 3 hilos.

En el módulo de conexión a 3 hilos se compensa la resistencia de los cables de medida y no influye en el resultado de la medida. Para que este resultado sea correcto, todos los cables tienen que tener la misma resistencia. Esto se consigue cuando los cables tienen la misma longitud y la misma sección.



Fuente. Autor

## Anexo J.4 sensor final de carrera

**Tabla J.5** Características técnicas del sensor final de carrera.

© Siemens AG 2008

**Interruptores de posición estándar**  
Caja metálica 40 mm  
Puntos de conmutación y fijación  
conforme a EN 50041, IP66/IP67

Aparato completo y  
Selección de módulos



		Vástago reforzado			Vástago de rodillo			Palanca sencilla		
										
		Vástago de acero inoxidable, con carrera excesiva ↓ $v_{máx.} = 1,5 \text{ m/s}$ Ⓢ			Rodillo de acero inoxidable, con carrera excesiva ++ $v_{máx.} = 1 \text{ m/s}$ Ⓢ			Palanca metálica Rodillo de plástico + $v_{máx.} = 2,5 \text{ m/s}$ Ⓢ		
1 NA/1 NC	normal	sin	1 x (M20 x 1,5)	Aparato completo	3SE5 112-0BC02	3SE5 112-0BD02	3SE5 112-0BE01			
				Interruptor básico	3SE5 112-0BA00	3SE5 112-0BA00	3SE5 112-0BA00			
				+ Cabeza de acción.	3SE5 000-0AC02	3SE5 000-0AD02	3SE5 000-0AE01			
			Conector M12, 5 polos (PE conect.)	Aparato completo	--	--	--			
				Interruptor básico	3SE5 114-0BA00-1AC5	3SE5 114-0BA00-1AC5	3SE5 114-0BA00-1AC5			
				+ Cabeza de acción.	3SE5 000-0AC02	3SE5 000-0AD02	3SE5 000-0AE01			
	brusca	sin	1 x (M20 x 1,5)	Aparato completo	3SE5 112-0CC02	3SE5 112-0CD02	3SE5 112-0CE01			
				Interruptor básico	3SE5 112-0CA00	3SE5 112-0CA00	3SE5 112-0CA00			
				+ Cabeza de acción.	3SE5 000-0AC02	3SE5 000-0AD02	3SE5 000-0AE01			
		Conector M12, 5 polos (PE conect.)	Aparato completo	--	--	--				
			Interruptor básico	3SE5 114-0CA00-1AC5	3SE5 114-0CA00-1AC5	3SE5 114-0CA00-1AC5				
			+ Cabeza de acción.	3SE5 000-0AC02	3SE5 000-0AD02	3SE5 000-0AE01				
2 LEDs, verde/amarillo 24 V DC	Conector M12, 5 polos		Aparato completo	--	--	--				
			Interruptor básico	3SE5 114-1CA00-1AF3	3SE5 114-1CA00-1AF3	3SE5 114-1CA00-1AF3				
			+ Cabeza de acción.	3SE5 000-0AC02	3SE5 000-0AD02	3SE5 000-0AE01				

Fuente. (SIEMENS, 2008)



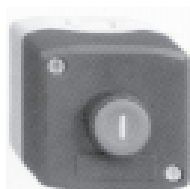
## Anexo J.6 Pulsadores a utilizar

**Tabla J.6** Datos técnicos de los pulsadores

### 4 Código de colores según IEC 73

#### Para componentes de comando

Color	Significado	Aplicación típica
Rojo	Acción en caso de emergencia	- Parada de emergencia. - Anti incendio.
	Parada o desconexión	- Parada general. - Parar uno o más motores.
Amarillo	Intervención	- Intervención para eliminar condiciones anormales o para evitar cambios no deseados.
Verde	Arranque - marcha	- Arranque general. - Arrancar uno o más motores.
Azul	Algún significado especial no cubierto por los colores arriba mencionados	- Un significado no cubierto por los colores rojo, amarillo y verde.
Negro Gris Blanco	Ningún significado específico asignado	- Puede ser utilizado para cualquier función, excepto para Pulsador con la sola función marcha o parada.



**XAL-D102**



**XAL-D334**

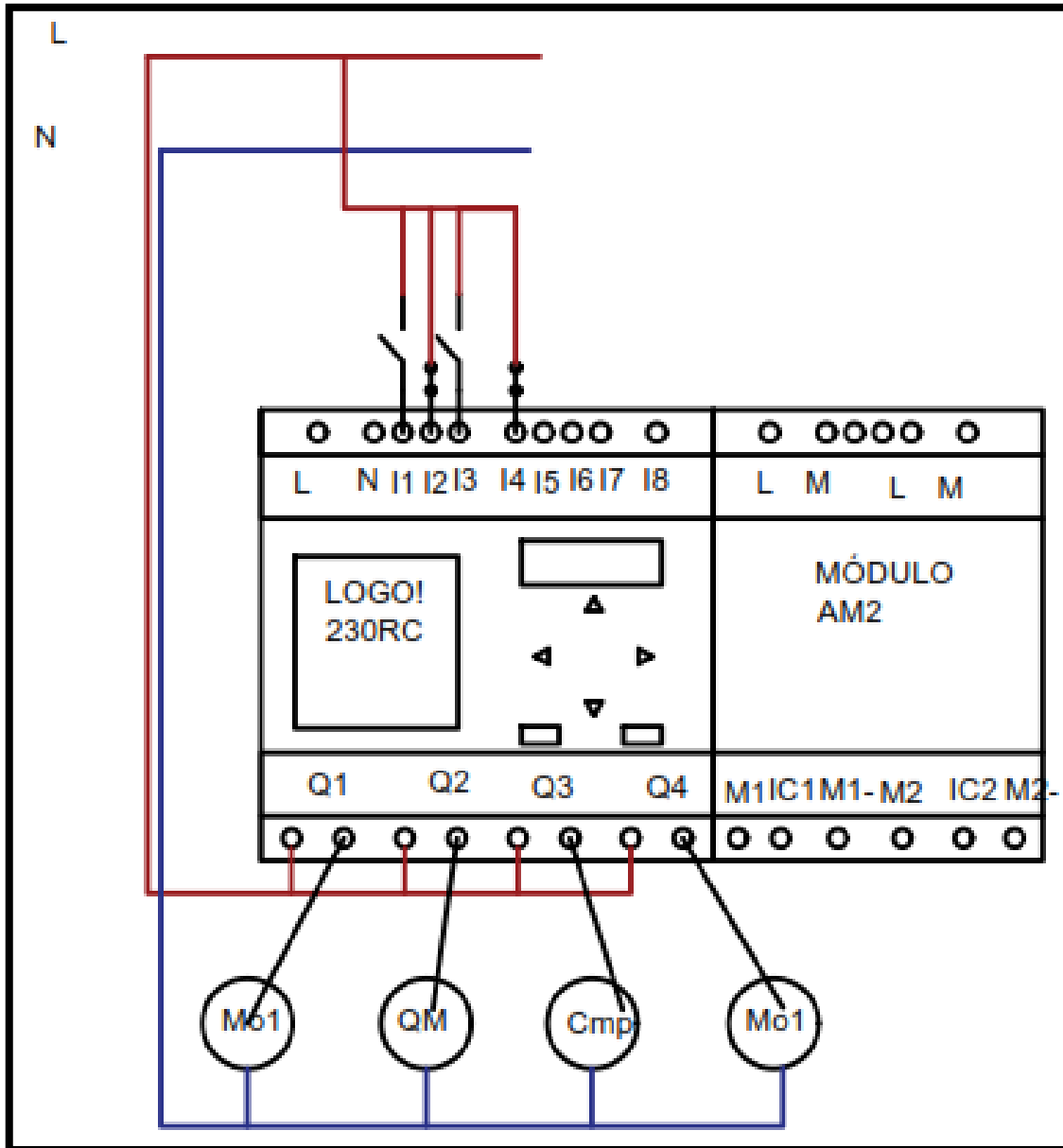
#### Funcion Marcha o Parada

Accionador	simbolo	Referencias
1 pulsador verde NA	I	XAL-D102
1 pulsador rojo NC	O	XAL-D112
1 Selectora		
2 pos. fijas NA	I-O	XAL-D134
1 pulsador verde NA		
1 pulsador rojo NC	I-O	XAL-D213
1 pulsador ↗flecha NA	↑	
1 pulsador rojo NC	O	
1 pulsador ↘flecha NA	↓	XAL-D324
1 pulsador ↗flecha NA	→	
1 pulsador rojo NC	O	
1 pulsador ↘flecha NA	←	XAL-D334
1 piloto rojo ≤ 120V	Led	
1 pulsador verde NA	Integrado.	
1 pulsador rojo NC	I-O	XAL-D363G



**Anexo J.7** Diagrama de conexión

**Tabla J.7** Diagrama de conexión del pulsador normalmente abierto que da arranque del motor 1 y 2, también abre la válvula solenoide para permitir el flujo de gas y así encender el quemador, y también permite que la de salida del café del tostador se abra.



Fuente. Autor

## Anexo J.8 Apreciación de características de un actuador lineal

**Tabla J.8** características de un actuador lineal.



**Cilindro norma ISO/CETOP  
Serie C85  
DIN-ISO 6432**



- Simple o doble efecto.
- Cilindros con amortiguación ajustable desde Ø 10 mm.
- Cuerpo del cilindro de material resistente a la corrosión.
- Dos opciones de montaje del detector posibles, banda o rail.
- Juntas especiales estándar para funcionamiento sin aceite y banda de baja fricción.

Cilindro estándar, doble efecto, imán integrado, tope elástico

Cilindro Ø (mm)	Carreras estándar (mm)	Referencia		Símbolo
		Tipo de montaje del detector		
		Montaje sobre rail	Montaje en banda	
8	10, 25, 40, 50, 80, 100	161CD85N8A	161CD85N8B	
10	(Máx. 400)	161CD85N10A	161CD85N10B	
12	10, 25, 40, 50, 80, 100,	161CD85N12A	161CD85N12B	
16	125, 160, 200, (máx. 400)	161CD85N16A	161CD85N16B	
20	10, 25, 40, 50, 80, 100,	161CD85N20A	161CD85N20B	
25	125, 160, 200, 250, 300 (máx. 1000)	161CD85N25A	161CD85N25B	

Carrera

Doble efecto, antigiro, imán integrado

Diámetro (mm)	Carreras estándar (mm)	Referencia		Símbolo
		Tipo de montaje del detector		
		Montaje sobre rail	Montaje en banda	
8	10, 25, 40, 50, 80, 100,	161CD85KN8A	161CD85KN8A	
10	(máx. 400)	161CD85KN10A	161CD85KN10A	
12	10, 25, 40, 50, 80, 100,	161CD85KN12A	161CD85KN12A	
16	125, 160, 200 (máx. 400)	161CD85KN16A	161CD85KN16A	
20	10, 25, 40, 50, 80, 100,	161CD85KN20A	161CD85KN20B	
25	125, 160, 200, 250, 300 (máx. 1000)	161CD85KN25A	161CD85KN25B	

Fuente. (SMC, 2015)

**ANEXO: 11**

**PLANOS**