

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TOSTADORA DE AJONJOLÍ DE 40 Kg/h DE CAPACIDAD

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

LUIS FERNANDO RODRÍGUEZ LUCAS

DIRECTOR: Ing. JAIME VARGAS T.

Quito, Agosto 2011.

DECLARACIÓN

Yo, Luis Fernando Rodríguez Lucas, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Luis Fernando Rodríguez Lucas

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Fernando Rodríguez Lucas, bajo nuestra supervisión.

Ingeniero Jaime Vargas T.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ingeniero Jorge Escobar L.
Colaborador

Ingeniero Orwield Guerrero
Colaborador

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis Padres, por su inmenso apoyo, incesante esfuerzo y por todo el amor que cada día me han demostrado.

Luis Fernando

AGRADECIMIENTO

A mi madre Herenia, porque toda su vida me ha demostrado todo su amor; a mi Papá Luis Humberto porque su esfuerzo ha sido un ejemplo de vida y sus consejos me han hecho recapacitar en momentos difíciles; a mi Abuelita Rosita porque ella me enseñó la dignidad de un trabajo. A mis seres queridos y grandes amigos que me apoyaron durante mi permanencia en la carrera.

Al ingeniero Jaime Vargas, por dirigir el presente proyecto, por su amistad y confianza durante toda la carrera. A los ingenieros Orwield Guerrero y Jorge Escobar, quienes han sido parte de mi crecimiento profesional y un gran aporte en la realización del presente proyecto.

Luis Fernando

RESUMEN

La presente tesis consta de seis capítulos, mediante los cuales se desarrolla el proyecto.

El capítulo primero contiene un estudio del ajonjolí, las variedades que existen en el mercado nacional, su importancia económica y social, sus principales usos y las etapas a las cuales es sometido el ajonjolí para su cosecha y tostado. El capítulo segundo contiene la prefactibilidad del proyecto que consta de la definición del problema, las restricciones y limitaciones, las especificaciones técnicas, los parámetros y especificaciones funcionales de la máquina.

El capítulo tercero contiene la factibilidad del proyecto, el cual presenta un estudio y selección de la alternativa más adecuada, finalizando con el desarrollo del protocolo de pruebas.

El capítulo cuarto presenta el diseño de todos los sistemas que permiten el funcionamiento de la máquina. Todas las piezas a diseñar y a seleccionar, están acorde con la tecnología existente en el país, considerando materiales y elementos de fácil adquisición en el mercado nacional. En éste capítulo se desarrollan los cálculos de mayor importancia en cada uno de los sistemas, así como la selección de componentes y accesorios de acuerdo a catálogos dados por las empresas constructoras.

El capítulo quinto se refiere a los procesos de fabricación de los elementos que han sido diseñados, el montaje de la tostadora y las pruebas de campo.

En el capítulo sexto se detalla el análisis de costos de materiales, procesos de fabricación y mano de obra utilizados en la construcción.

Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto desarrolla el diseño de una MÁQUINA TOSTADORA DE AJONJOLÍ que ayude al pequeño agricultor a tecnificar la obtención de este producto para su comercialización. Conjuntamente se realiza un análisis comparativo de diferentes sistemas, mecánicos y eléctricos.

Los aportes de los paquetes informáticos de diseño como Inventor, Autocad, SAP2000, complementan el diseño de la máquina, facilitando la visualización del conjunto en dos y tres dimensiones, así como en el cálculo estructural.

La metodología para la selección de las alternativas parte de la evaluación del proyecto, que permite dar una ponderación a los criterios de diseño para cada una de las alternativas.

Las conclusiones y recomendaciones sugieren la implementación del proyecto, en las zonas de producción de ajonjolí, ya que permite incrementar la competitividad del agricultor ecuatoriano, mediante la industrialización de las tecnologías de procesamiento de los productos alimenticios, con la finalidad de incentivar el desarrollo del sector agrícola.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO 1	1
	MARCO TEÓRICO	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	EL AJONJOLÍ.....	2
1.2.1	DESCRIPCIÓN DEL AJONJOLÍ	2
1.2.2	ORIGEN DEL AJONJOLI	3
1.2.3	REQUISITOS DE CLIMA, SUELO Y ABONOS PARA EL AJONJOLI ..	3
1.2.3.1	Requisitos climatológicos	3
1.2.3.1.1	Temperatura.....	3
1.2.3.1.2	Agua.....	4
1.2.3.2	REQUISITOS DEL SUELO	4
1.2.3.3	REQUISITOS DEL ABONO.....	5
1.2.3.3.1	Rotación de cultivos	6
1.2.4	PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	6
1.2.4.1	Plagas y medidas de control.....	8
1.3	MORFOLOGÍA DEL AJONJOLÍ.....	10
1.4	SEMILLA DE AJONJOLÍ	12
1.5	CONTENIDO PROTEINICO Y COMPOSICIÓN QUIMICA	13
1.5.1	CONTENIDO PROTEÍNICO	13
1.5.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA	14
1.6	IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	16
1.6.1	PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES.....	16
1.6.2	LA PRODUCCIÓN EN EL ECUADOR	17

1.6.2.1	Importancia del cultivo.....	17
1.6.2.2	Importancia Social.....	19
1.7	USO DEL AJONJOLÍ.....	20
1.7.1	BENEFICIOS DEL AJONJOLÍ.....	21
1.8	PROCESO DE POST-COSECHA, PARA LA ELABORACIÓN DE AJONJOLÍ TOSTADO.....	22
1.8.1	COSECHA Y TRATAMIENTO POST-COSECHA.....	22
1.8.1.1	Cosecha.....	22
1.8.1.2	Secado en el campo / trillado.....	23
1.8.1.3	Limpieza de Semillas.....	24
1.8.1.4	Almacenamiento.....	24
1.9	TOSTADO.....	25
1.9.1	DETALLE DEL PROCESO DE TUESTE.....	26
1.9.2	VARIABLES BASICAS DEL TUESTE.....	26
1.9.2.1	Temperatura.....	27
1.9.2.2	Humedad.....	27
1.10	ESTUDIO DE CAMPO.....	28
2	CAPÍTULO 2.....	31
	PREFACTIBILIDAD.....	31
2.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	31
2.1.1	SITUACIÓN INICIAL.....	31
2.1.2	SITUACIÓN FINAL.....	32
2.2	ESTUDIO DE LAS RESTRICCIONES DEL MEDIO.....	32
2.3	ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	33
2.3.1	PARÁMETROS FUNCIONALES.....	33

2.3.1.1	Sanidad	33
2.3.1.2	Ambiente de trabajo	34
2.3.1.3	Formación del operario.....	35
2.3.1.4	Capacidad	35
2.3.1.5	Presentación requerida	35
2.3.2	VIDA UTIL	35
2.3.3	MATERIALES	36
2.3.4	COSTO DE DISEÑO Y DESARROLLO	36
3	CAPÍTULO 3	37
	FACTIBILIDAD	37
3.1	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	38
3.1.1	ALTERNATIVA A: TOSTADORA POR TANDAS (SISTEMA DE TAMBOR).....	40
3.1.1.1	Etapas del Proceso (Concepto y Prestaciones)	41
3.1.1.2	Especificaciones de la Alternativa	43
3.1.1.3	Mantenimiento	44
3.1.1.4	Tecnología.....	44
3.1.1.5	Ventajas.....	44
3.1.1.6	Desventajas.....	45
3.1.2	ALTERNATIVA B: TOSTADORA CONTINUA (SISTEMA DE CALENTAMIENTO DIRECTO).	48
3.1.2.1	Etapas del Proceso (Concepto y Prestaciones)	49
3.1.2.2	Especificaciones de la Alternativa	53
3.1.2.3	Ventajas.....	54
3.1.2.4	Desventajas.....	54

3.2	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	57
3.2.1	PROTOCOLO DE PRUEBAS	59
3.2.1.1	Formato del Protocolo de Pruebas	60
4	CAPÍTULO 4	61
	DISEÑO.....	61
4.1	CÁLCULOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL TOSTADO POR TANDAS	63
4.2	SISTEMAS CONSTITUTIVOS DE LA TOSTADORA DE AJONJOLÍ.....	67
4.2.1	SISTEMA DE TOSTADO DEL AJONJOLÍ	67
4.2.1.1	Cilindro Tostador (Tambor).....	68
4.2.1.2	Selección del espesor del cilindro	70
4.2.1.3	Cálculo de temperaturas, espesores y energía del sistema de tostado de Ajonjolí	72
4.2.1.4	Selección de los quemadores.....	80
4.2.2	SISTEMA MOTRIZ DE LA CÁMARA DE TOSTADO	82
4.2.2.1	Selección del moto reductor	82
4.2.2.2	Inercia del eje motriz	83
4.2.2.3	Inercia del cilindro de tostado	84
4.2.2.4	Inercia de los volantes de la cámara de tostado.....	84
4.2.2.5	Inercia de la masa de ajonjolí en la tostadora por tandas	87
4.2.2.6	Selección de Catalinas y Cadenas	91
4.2.2.7	Dimensionamiento del eje de transmisión del cilindro de tostado	95
4.2.2.7.1	Diseño estático del eje de la catalina conducida	95
4.2.2.7.2	Diseño Dinámico del eje de la Catalina Conducida.....	105
4.2.2.8	Dimensionamiento de la lengüeta	110
4.2.2.9	Diseño del prisionero para la sujeción volante-eje	113

4.2.2.10 Selección de Rodamientos	115
4.2.2.10.1 Análisis Estático (Ciclos Bajos).....	116
4.2.2.11Diseño de los cordones de soldadura	118
4.2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	122
4.2.4 SISTEMA ELÉCTRICO DE MANDO.....	126
4.2.4.1 Diagrama de control	126
4.2.4.2 Diagrama de Potencia	127
5 CAPÍTULO 5	129
CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO DE LA MÁQUINA	
TOSTADORA DE AJONJOLÍ POR TANDAS	129
5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	129
5.1.1 MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS	129
5.1.2 OPERACIONES TECNOLÓGICAS.....	131
5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN.....	131
5.2.1 ESTRUCTURA.....	133
5.2.2 SISTEMA DE CALENTAMIENTO	134
5.2.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	135
5.2.4 SISTEMA DE CARGA.....	136
5.2.5 SISTEMA MOTRIZ.....	137
5.2.6 SISTEMA DE CONTROL	138
5.3 MONTAJE	139
5.4 PRUEBAS DE CAMPO	13940
6 CAPÍTULO 6	141
ANÁLISIS DE COSTOS	141
6.1 COSTO DE DISEÑO.....	141

6.2	COSTO DE MATERIALES.....	141
6.3	COSTO HOMBRE-MÁQUINA.....	144
6.4	COSTO DE MONTAJE	144
6.5	COSTO FINAL	145
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
	CONCLUSIONES	146
	RECOMENDACIONES	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 El ajonjolí (Sesamun orientale L.).....	2
Figura 1.2 Morfología del Ajonjolí.....	11
Figura 1.3 Estructura del Grano de Ajonjolí.....	12
Figura 1.4 Cápsula de Ajonjolí	13
Figura 1.5 Variables que afectan el proceso de tostado	26
Figura 1.6 Planta de Ajonjolí un mes de cultivo.....	28
Figura 1.7 Planta de Ajonjolí un mes y medio de cultivo.	29
Figura 1.8 Planta de Ajonjolí, dos meses de cultivo.	29
Figura 1.9 Planta de Ajonjolí, tres meses de cultivo, visita del Ing. Jaime Vargas	30
Figura 3.1 Diseño Preliminar del prototipo “Tostadora por tandas”	41
Figura 3.2 Esquema del proceso de tostado por tandas	42
Figura 3.3 Dimensiones generales de la alternativa.....	43
Figura 3.4 Calentamiento de la semilla por convección de aire caliente	48
Figura 3.5 Parámetros generales de la segunda alternativa: Tostadora Continua....	52
Figura 3.6 Vista en corte del cilindro giratorio: Alternativa Tostadora Continua.	53
Figura 3.7 Dimensiones generales para la alternativa tostadora continua.	53
Figura 4.1 Sistemas Constitutivos de la máquina tostadora de ajonjolí de tambor giratorio.....	54
Figura 4.2 Esquema de la aproximación de la forma del ajonjolí para el cálculo de su volumen	63
Figura 4.3 Esquema dimensiones generales del ajonjolí	63
Figura 4.4 Esquema de la cámara de combustión	68
Figura 4.5 Esquema del cilindro tostador.	68
Figura 4.6 Resistencia a la tracción en algunos metales.	70
Figura 4.7 Flujos de calor en el proceso de tostado.....	72
Figura 4.8 Capas externas al cilindro Tostador.	74
Figura 4.9 Circuito térmico del calor perdido.....	74
Figura 4.10 Capas internas desde la cámara de combustión.....	76

Figura 4.11 Capas internas desde la cámara de combustión.....	76
Figura 4.12 Geometría Básica de un quemador tipo corona.	81
Figura 4.13 Ubicación de los volantes en la cámara de tostado.	85
Figura 4.14 Ubicación de los volantes en la cámara de tostado.	87
Figura 4.15 Dimensiones de cadenas de rodillos estándar – Un solo cordón.....	91
Figura 4.16 Capacidad o Potencia nominal de cadenas de rodillos paso simple.	92
Figura 4.17 Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión.	96
Figura 4.18 Diagrama de fuerza cortante del eje.	98
Figura 4.19 Diagrama del momento flector del eje.....	99
Figura 4.20 Diagrama de fuerza cortante, momento flector y momento torsor del eje.....	100
Figura 4.21 Esfuerzos aplicados en la sección crítica.....	101
Figura 4.22 Esfuerzos a los que se someten los puntos críticos de la sección B-B.	101
Figura 4.23 Teoría de la Energía de la Distorsión.....	103
Figura 4.24 Diagrama de Variación de Esfuerzos en el tiempo.....	105
Figura 4.25 Diagrama de fatiga trazado con los valores de resistencia.	109
Figura 4.26 Dimensiones de la lengüeta.	111
Figura 4.27 Diagrama de cuerpo libre de la lengüeta.....	112
Figura 4.28 Prisioneros utilizados en la sujeción de la manzana.	113
Figura 4.29 Prisionero sometido a un esfuerzo de corte y a un momento de torsión.....	114
Figura 4.30 Valores orientativos para el factor de seguridad estático s	117
Figura 4.31 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 15 mm	118
Figura 4.32 Geometría de la Soldadura tipo filete.....	119
Figura 4.33 Diagrama Junta soldada manzana.....	120
Figura 4.34 Visualización de la Estructura en SAP 2000 v14.....	122
Figura 4.35 Simulación de cargas en SAP 2000 v14	123
Figura 4.36 Resumen de resultados del programa SAP 2000 v14.....	124
Figura 4.37 Factor de diseño estructura.....	125
Figura 4.38 Diagrama de control de la tostadora de ajonjolí	127
Figura 4.39 Diagrama de potencia de la tostadora de ajonjolí.	128

Figura 5.1 Diagrama de flujo de construcción de la estructura.....	133
Figura 5.2 Diagrama de flujo de construcción del sistema de calentamiento.....	134
Figura 5.3 Diagrama de flujo de construcción del sistema de enfriamiento	135
Figura 5.4 Diagrama de flujo de construcción del sistema de carga	136
Figura 5.5 Diagrama de flujo de construcción del sistema motriz	137
Figura 5.6 Diagrama de Flujo de construcción del sistema de Control.	138
Figura 5.7 Diagrama de Flujo para el Montaje.	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Enfermedades del Ajonjolí.....	6
Tabla 1.2 Parásitos y Medidas de Control.....	8
Tabla 1.3 Plagas de Almacenamiento.....	10
Tabla 1.4 Contenido de Nutrientes en el Ajonjolí en 100gr:	15
Tabla 1.5 Producción mundial de Ajonjolí	17
Tabla 2.1 Ambiente de Trabajo, condiciones externas.....	34
Tabla 2.2 Ambiente de Trabajo, condiciones internas.....	34
Tabla 2.3 Formación del operario.....	35
Tabla 3.1 Criterios de selección	38
Tabla 3.2 Dimensiones generales de la alternativa de tostado por tandas.	43
Tabla 3.3 Criterios de selección para alternativa tostadora por tandas.....	46
Tabla 3.4 Dimensiones generales de la alternativa Tostadora Continua.	54
Tabla 3.5 Criterios de selección para alternativa; Tostadora Continua.	55
Tabla 3.6 Selección de la alternativa; Tostadora Continua.	58
Tabla 4.1 Toma de dimensiones generales a una muestra de ajonjolí “Portoviejo 2”.....	64
Tabla 5.1 Designación de máquinas herramientas y equipos	129
Tabla 5.2 Designación de los instrumentos de medición y verificación.....	130
Tabla 5.3 Lista de Herramientas	130
Tabla 5.4 Operaciones Tecnológicas.....	131
Tabla 5.5 Simbología empleada en los diagramas de flujo	132
Tabla 5.6 Actividades de Montaje	139
Tabla 6.1 Costo de materiales a mecanizar	142
Tabla 6.2 Costo de materiales normalizados	142
Tabla 6.3 Costo de mecanizado.....	144
Tabla 6.4 Costo final de diseño y construcción	145

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESTUDIO DE CAMPO

ANEXO B: CONJUNTO CATALINA-CADENA

ANEXO C: SISTEMA DE CALENTAMIENTO

ANEXO D: MATERIALES USADOS

ANEXO E: PROFORMAS DE MATERIALES EMPLEADOS

ANEXO F: ESPECIFICACIONES DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

ANEXO G: SISTEMA DE CONTROL

ANEXO H: HOJAS DE PROCESOS

ANEXO I: PLANOS DE LA MÁQUINA

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

El ajonjolí es una planta de origen africano. En el Ecuador su explotación comercial se inicia en el año 1960, cuando el gobierno y la Asociación de productores de Aceites y Grasas introducen éste cultivo a la agricultura nacional. Con éste propósito se realizaron algunas importaciones de variedades de algunos países como: Venezuela, Colombia y Nicaragua, siendo estas: Aceitera, Precoz, Chino Rojo, Venezuela 51, etc. Las mismas que presentaron diversos grados de adaptación y comportamiento.

El cultivo se expande rápidamente estimándose que en el año 1965 se siembran aproximadamente unas 2 256 ha con rendimientos promedios de 700 kg/ha y en 1976, 3 837 ha¹, con rendimientos promedios de 950 kg/ha; posteriormente, éste cultivo se ha desplazado paulatinamente por otros de mayor rentabilidad como: soya, tabaco, hortalizas, etc.

Éste cultivo en nuestro país tiene importancia tanto económica como industrial. Existe un marcado déficit de materia prima para la producción de aceites refinados y confitería comestibles de uso humano, por lo que se recurre a las importaciones para satisfacer la demanda interna.

Además, la buena calidad y elevado porcentaje de aceite contenido en la semilla ($\pm 50\%$) hacen que éste cultivo tenga un lugar importante dentro de las oleaginosas de ciclo corto. También hay que considerar el subproducto de la misma que es rica

¹ Ing. Agro. Ernesto Haro, Departamento de Producción de Semillas. INIAP-Boliche

en proteínas de alta calidad y es utilizada en la elaboración de productos balanceados.

1.2 EL AJONJOLÍ

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL AJONJOLÍ

El Ajonjolí *Sesamum indicum L.* (*Sesamun orientale L.*) es una planta dicotiledonea que crece en forma recta, y alcanza una altura entre 1 y 2 metros. El período vegetativo generalmente es de 3 a 4 meses. La figura 1.1 muestra a la planta de ajonjolí a los 3 meses de crecimiento.



Figura 1.1 El ajonjolí (Fuente: www.nitrnuts.com)

La raíz principal del tronco es muy fuerte y posee raíces secundarias que forman una red que alcanzan hasta 1 metro de profundidad, el tallo es cuadrado y según el tipo presenta muchas o pocas ramificaciones.

El peso de mil granos es de 2,5 – 3,2 g. La semilla es blanca, amarilla, roja, marrón o negra. El tiempo de maduración es corto, de 80 a 130 días. La fase de floración y maduración se produce en la planta de abajo hacia arriba y dura varias semanas.

1.2.2 ORIGEN DEL AJONJOLI

El Ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) se considera que tiene su origen en Etiopía (África) y en regiones de países de diversificación secundaria como: India, Japón y China. Después del descubrimiento de América, es llevado a México, luego a países de Centro América con climas cálidos de zonas tropicales.

El sésamo es originario de la India y de África, desde donde llega a América transportada por los esclavos, quienes utilizan sus semillas para espesar y dar sabor a gran variedad de platos. En los estados sureños de EE.UU. y en el Caribe, donde es introducido por esclavos africanos, se lo conoce mayormente por su nombre africano: *benne*.

1.2.3 REQUISITOS DE CLIMA, SUELO Y ABONOS PARA EL AJONJOLI

Las zonas tropicales en transición hacia sub-tropicales aptas para el cultivo de algodón ofrecen las mejores condiciones climáticas para el cultivo de ajonjolí. Éste cultivo se encuentra entre las zonas de producción de palma africana y zonas productoras de soya.

1.2.3.1 Requisitos climatológicos

1.2.3.1.1 Temperatura

El ajonjolí requiere una temperatura alta y constante - el óptimo para el crecimiento, floración y maduración es de 26° - 30° C. El mínimo de temperatura de germinación se encuentra en 12°C, temperaturas por debajo de 18°C, influyen negativamente en la germinación. En un período de temperaturas altas de 40°C, la fecundación y la formación de la cápsula disminuye.

En regiones con vientos cálidos y fuertes la planta produce semillas más pequeñas y con menor porcentaje de aceite. Por tal motivo, el Ajonjolí se cultiva en regiones más frías en el verano y en zonas cálidas en los meses más fríos.

1.2.3.1.2 Agua

Con precipitaciones de 300-600 mm, distribuidas en forma óptima durante el periodo de crecimiento, se obtiene buenas cosechas. Distribución óptima quiere decir: Hasta la primera formación de botones florales 35%, floración principal 45%, periodo de maduración 20% y si es posible sequía durante la cosecha. La planta de ajonjolí es extremadamente delicada en cada estado de su crecimiento al estancamiento de agua. Por ello crece solamente en regiones con lluvias moderadas, o en zonas áridas con un control minucioso del riego. La planta a través de su raíz pivotante es muy resistente a la sequía y puede dar buenas cosechas solamente por el agua almacenada en el sub-suelo².

1.2.3.2 Requisitos del suelo

El ajonjolí se adapta a una gran variedad de tipos de suelos, lo ideal son suelos con buen drenaje, sueltos, areno-arcillosos, fértiles, y con un pH entre 5.4 y 6.7³.

Valores de pH más bajos influyen drásticamente en el crecimiento, sin embargo existen variedades que toleran un pH hasta de 8.0. Bajo riego o lluvia de verano, el ajonjolí crece mejor en suelos arenosos que en tierras pesadas debido a su baja tolerancia a retención de agua. No es recomendable cultivar ajonjolí en laderas, porque su cultivo exige una cama o surcos libres de malezas y su lento crecimiento en la primera etapa favorece la erosión.

² ARNON, I. (1972): Crop production in dry regions. Vol.2, Leonard Hill, London

³ RAMIREZ, R. y Ovalles, C.A. (1991): Relación del pH del suelo con el crecimiento, nutrición y producción de semilla del ajonjolí, Oléagineux, 46.

Son desfavorables los suelos pesados con agua estancada así como las que muestran salinidad. Concentraciones de sal que afectan poco al algodón provocan la muerte del ajonjolí⁴. Otros terrenos desfavorables son terrenos poco profundos (menos de 35 cm.) con un sub-suelo impermeable.

1.2.3.3 Requisitos del abono

Las posibilidades de abono más importantes en la producción ecológica del ajonjolí son:

- Utilización de abono verde, siembra de leguminosas dentro de la rotación de cultivos.
- Aplicaciones de abonos orgánicos y compost.

El abonamiento directo al ajonjolí no siempre es necesario, en suelos con buen contenido de humus puede realizarse esto con el precultivo. En caso de aplicaciones directas de abono, es suficiente incorporarlo un mes antes de la siembra en el momento de la preparación del terreno. Compost maduro se aplica en el momento de la siembra o durante el raleamiento en cantidades de aproximadamente 3 t/ha (aprox. 7 m³/ha).

El factor limitante para rendimientos altos de ajonjolí es la disponibilidad de fósforo. Deficiencias en fósforo son compensadas mediante aplicaciones de roca fosfórica y harina de huesos, antes de la preparación del terreno.

La formación de micorriza se estimula mediante:

- (1) Aplicación de pocas
- (2) cantidades de abonos fosfatados⁵ sobre suelos pobres de fosfato.
- (3) Aplicación de compost.

⁴ WEISS, E.A. (1989): Oilseed Crops. Longman, London

⁵ Tanto el reglamento para la agricultura ecológica de la Unión Europea 2092/91 como las normas básicas de IFOAM permiten solo el uso de fosfatos naturales.

1.2.3.3.1 Rotación de cultivos

Aplicaciones menores de abonos orgánicos ricos en nitrógeno, así como abonos semilíquidos, favorecen la mineralización de las sustancias orgánicas. Se las puede aplicar cuando las plantas han alcanzado 20cm de altura en cantidades correspondiente a 20 kg N/ha. La disponibilidad de potasio normalmente no causa problemas.

1.2.4 PLAGAS Y ENFERMEDADES

Lugares con condiciones húmedas propician las enfermedades bacteriales y fungosas. Para prevenir se elige suelos bien drenados, nivelados, sueltos y profundos, para evitar estancamiento de agua. La tabla 1.1 muestra las enfermedades del ajonjolí.

Tabla 1.1 Enfermedades⁶ del Ajonjolí

PATÓGENO FUNGOSO	MEDIDAS DE CONTROL
<i>Phytophthora</i> Blight	Rotación de cultivos, variedades resistentes, semillas sanas, aplicaciones de caldo bordelés (3:3:50) 3x cada 7 días contra infecciones secundarias y propagación.
Macrophomina phaseolina y Rhizoctonia Bataticola (Stem and root rot)	Contagio mediante semillas y suelo. Abono verde y estimulación de antagonistas (compost maduro), Uso de variedades resistentes o menos susceptibles (p.e. variedades con cáscara moradas)
Fusarium oxysporum (Fusarium Wilt)	Contagio mediante semillas y suelo. Variedades que no revientan son menos susceptibles. En caso de infección fuerte del suelo intervalo de siembra de mínimo 5 años.

⁶ Resumen según KOLTE, S.J. (1985): Diseases of annual edible oilseed crops. Vol2. CRC

Tabla 1.1 Enfermedades del Ajonjolí (Continuación).

PATÓGENO FUNGOSO	MEDIDAS DE CONTROL
Cercospora sesami (White Spot)	Contagio del patógeno mediante semillas y residuos de plantas en el suelo. Quema de residuos. Tratamiento con agua caliente: 30 minutos con 53°C. Uso de variedades resistentes.
Powdery Mildew 4 patógenos: a Oidium erysiphoides b Sphaerotheca fuliginea	Variedades resistentes, variedades tardías son menos susceptibles. Azufre mojable (0,2%) o aplicación de azufre en polvo 20 kg/ha el 45to y 65to día después de la siembra.
Corynespora Blight	Eliminación de residuos de plantas. Semillas limpias
Pseudomonas syringae pv. Sesami (Bacterial Leaf Spot)	Tratamiento con agua caliente: 10 min. Con 52°C. Durante 11 meses es posible el contagio mediante semillas. Variedades resistentes. Cultivo en períodos de menor humedad ambiental y precipitaciones.
VIROSIS	MEDIDAS DE CONTROL
Nicotiana 10 virus (Leaf Curl)	Variedades resistentes. Existen muchas plantas hospederas p.e. tabaco, tomate, papaya y se transmite mediante la mosca blanca Bemisia tabaci.
Phyllody "Mycoplasma-like-organism" (MLO)	Siembra cuando hay pocos vectores. Vector: Saltahojas (Homoptera) Orosius albicinctus. Variedades resistentes que florecen dentro de 40-50 días.

Fuente: Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico, Naturland

1.2.4.1 Plagas y medidas de control

Medidas importantes para la prevención de plagas endémicas:

- Rotación de cultivos bajo criterio de exclusión de plantas huéspedes.
- Siembra mixta para la diversificación de sistema agroecológico, así algunas plagas se desorientan y se favorecen los predadores. Ejemplo: En cultivos mixtos de ajonjolí con frejol-arroz, principalmente los frejoles o los granos son atacados por chinches y no las cápsulas de ajonjolí⁷.
- Cultivo de flores de color amarillo en la cercanía de la parcela de ajonjolí, por ejemplo girasol y caléndula. El color de la flor atrae a las plagas, las cuales se controla en forma preventiva.

La tabla 1.2 muestra algunos parásitos que afectan al cultivo de ajonjolí en el Ecuador.

Tabla 1.2 Parásitos y Medidas de Control⁸

Parásito	Medidas de control
Acherontia styx	Arar la tierra después de la cosecha para combatir el capullo.
Agrotis ssp. (gusano de la tierra)	Control temprano de maleza antes de la siembra. Trampas de luz contra polilla; preparado de tabaco, derris, neem, piretro.
Antigastra catalaunalia (Sesam- Blatt- Roller)	Variedades resistentes.

.../

⁷ CLUSA (1995): Producción ecológica de ajonjolí. Serie de documentos técnicos, Managua

⁸ STOLL, G. (1986): Naturgemäßer Pflanzenschutz mit hofeigenen Ressourcen in den Tropen und Subtropen. AGRECOL, Verlag Josef Margraf.

Tabla 1.2 Parásitos y Medidas de Control (Continuación).

Parásito	Medidas de control
<i>Asphondyla sesami</i> (avispa del ajonjolí)	Recoger y eliminar las agallas.
<i>Bemisia tabaci</i> (mosca blanca)	Extremo polífago. Se encuentra principalmente durante el tiempo de sequía. Preparados de fumigación de: ajo, piretro, sabadilla. (<i>Schoenocaulon officinale</i>); tabaco.
<i>Cyrtopeltis tenuis</i>	Orificios de la picadura propensos a las infecciones. En caso de emergencia, piretro.
<i>Diabrotica</i> ssp.	Preparación del terreno intensivo para eliminar pupas; preparados para fumigar de: <i>Mammea americana</i> ; ajo+cebolla+chile; extracto de tártago; neem.
<i>Estigmene acrea</i>	Uso de Baculovirus.
<i>Heliothis</i> ssp.	Causa infección secundaria. Trampas de luz antes de postura. Preparados de fumigación de: <i>Derris elliptica</i> ; ajo; neem; Piretro; <i>Ryania speciosa</i> .
<i>Myzus persicae</i>	Pulgón, vector para virus. Extracto alcohólico de <i>Melia azedarach</i> .

Fuente: Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico, Naturland

La aplicación de sustancia de amplio espectro como piretro y neem debe limitarse a casos de emergencia, dado que eliminan predadores naturales. Son preferibles otras medidas de control. Preparados de sabadilla son extremadamente tóxicos para las

abejas. Derris y piretro son tóxicos para los peces y pueden provocar enfermedades al entrar en contacto con la piel. La tabla 1.3 indica las plagas que afectan en el almacenamiento de ajonjolí.

Tabla 1.3 Plagas de Almacenamiento⁹

PARÁSITO	CONTROL
Ratas	Arbusto de limón (<i>Aloysia triphylla</i>) provoca presión alta letal en los roedores
<i>Tribolium castaneum</i> . escarabajo	Con Cúrcuma doméstica y menta (<i>Mentha spicata</i>) como polvo o aceite etérico.
<i>Trogoderma granarium</i>	Almacenamiento debajo de 20°C impide desarrollo de larvas, kalmus, ajo, neem.

Fuente: Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico, Naturland

1.3 MORFOLOGÍA DEL AJONJOLÍ

El ajonjolí es una planta rústica, de clima cálido, de días cortos y de rápido crecimiento. Sus principales características morfológicas, son:

Raíz. El sistema radical es bien desarrollado y fibroso. Está formado por una raíz principal pivotante, muy ramificada pero generalmente superficial.

Tallo. Según la variedad, puede ser simple o ramificada, lisa o pubescente con glándulas que secretan una sustancia viscosa. Es cuadrangular, de consistencia fibrosa y puede alcanzar una altura de 1 a 2 m.

Hojas. Son opuestas y alternas. Las hojas inferiores, comúnmente, son de forma acorazonada y partidas; las superiores, lanceoladas y enteras. Están cubiertas por pelos.

⁹ STOLL, G. (1986) Naturgemäßer Pflanzenschutz mit hofeigenen Ressourcen in den Tropen und Subtropen. AGRECOL, Verlag Josef Margraf

Flores. Son blancas, en forma de campana, de 2 a 4 cm de largo. Se forman en las axilas de las hojas, en número de una a tres, según la variedad. En un gran porcentaje se auto polinizan.

Frutos. Son cápsulas dehiscentes en la mayoría de las variedades. Pueden ser oculares, triloculares o tetraloculares, según la variedad.

Semillas. Son pequeñas, de 2 a 4 mm de largo, de forma achatada y de color variable: blanco, crema-rojizo, pardo o negro.

La figura 1.2 muestra la morfología del ajonjolí.

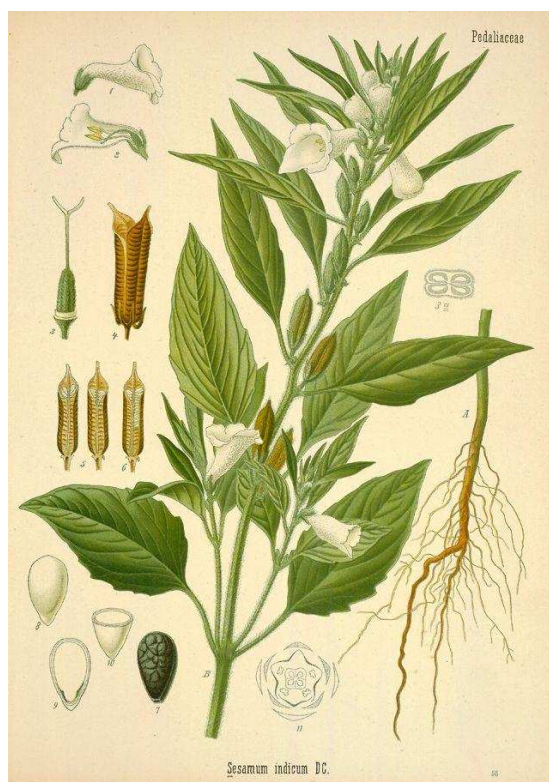


Figura 1.2 Morfología del Ajonjolí. (Fuente: Manuales para la educación agropecuaria. soya, ajonjolí y cártamo)

1.4 SEMILLA DE AJONJOLÍ

La estructura de la semilla de ajonjolí es rica en metionina (un aminoácido esencial para el organismo). Las grasas que contiene son 'grasas buenas', es decir, grasas insaturadas, lo que junto a su contenido en lecitina (componentes importantes que se encuentran en la estructura de todas las membranas celulares) convierte a las semillas de ajonjolí en un alimento que contribuye a reducir los niveles de colesterol sanguíneo. La figura 1.3 muestra la estructura del grano de Ajonjolí.

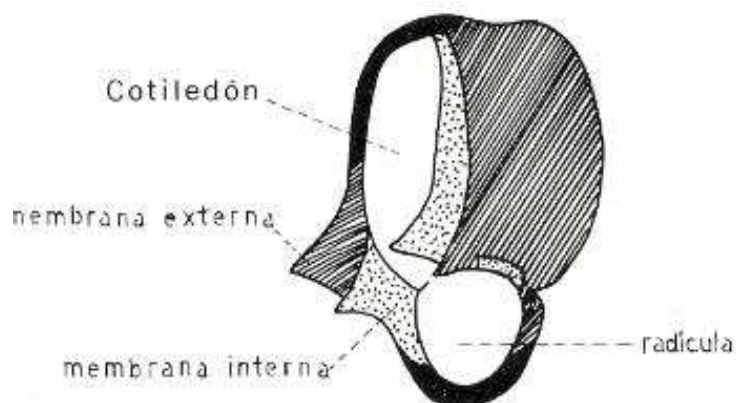


Figura 1.3 Estructura del Grano de Ajonjolí (Fuente: Agricultura orgánica en el Ecuador, Naturland)

Además, es fuente de diferentes minerales como el calcio, que interviene en la formación de huesos y dientes, el hierro, que desempeña numerosas e importantes funciones en el organismo, y el zinc, mineral que participa en el metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas. La semilla de sésamo posee también una buena cantidad de fibras, por lo que su consumo resulta beneficioso para la regulación de la función intestinal. La figura 1.4 muestra una cápsula de ajonjolí abierta.



Figura 1.4 Cápsula de Ajonjolí. (Fuente: www.websaludable.com)

Actualmente, las semillas de ajonjolí son una de las semillas oleaginosas más utilizadas en la cocina y repostería internacional, sobre todo en la oriental. Se emplea frecuentemente en la cocina como una especie de acompañamiento de platos y como producto elaborado hay aceite de ajonjolí utilizado en la cocina asiática.

1.5 CONTENIDO PROTEINICO Y COMPOSICIÓN QUIMICA

1.5.1 CONTENIDO PROTEÍNICO

Las grasas que contiene la semilla de ajonjolí son 'grasas buenas', es decir, grasas insaturadas, lo que junto a su contenido en lecitina convierte a las semillas de sésamo en un alimento que contribuye a reducir los niveles de colesterol sanguíneo. Igualmente son destacables sus muy altos niveles de calcio, hierro, así como de zinc (mineral que participa en el metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas).

Por cada 100 gramos de semillas de sésamo crudo:

- 598 calorías (Kcal)
- 20 g de proteína
- 58 g de grasas insaturadas
- 670 mg de calcio
- 10 mg de hierro
- 5 mg de zinc
- vitaminas de los grupos B y E

Contiene lignanos, incluyendo sesamina, un fitoestrógeno con propiedades antioxidantes y anti-cáncer. Entre los aceites comestibles de seis especies, el aceite de sésamo tiene el máximo contenido antioxidante. Las semillas de sésamo también tienen fitoesteroles asociados a reducidos niveles de colesterol en sangre.

Además, son fuente de diferentes minerales como el calcio, que interviene en la formación de huesos y dientes, el hierro, que desempeña numerosas e importantes funciones en el organismo, y el zinc. Las semillas de sésamo poseen también buenas cantidades de fibra, por lo que su consumo resulta beneficioso para la regulación de la función intestinal.

1.5.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

- El ajonjolí contiene proteínas de alta calidad en un 25% de su composición, además de ser ricas en metionina un aminoácido esencial.
- Es uno de los alimentos más concentrados de calcio, contiene por cada 100gr de ajonjolí 975mg de calcio, por esto se recomienda consumirlo en una dieta diaria.
- Contiene Hierro, que desempeña numerosas funciones en el organismo, recomendado consumir en periodos de debilidad o anemia.
- Contiene Zinc, mineral que participa en el metabolismo de hidratos de carbono, grasas y proteínas.

- Contiene compuestos antioxidantes naturales (sesamina y sesamolina) que protegen al organismo de la formación de radicales libres, que en mayor parte son los responsables del proceso de envejecimiento de las células.
- Capacidad para reducir el colesterol en la sangre, gracias a su contenido de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados.
- Contiene 2 sustancias llamadas lignanos (sesamolina y sesamin) especiales para regular el colesterol, ayuda en la prevención de la hipertensión y la humectación de la piel.
- Su consumo previene infarto de miocardio y trombosis arterial.
- Su alto contenido en fibra, lo convierte en un buen regulador intestinal.
- Colabora a la mejoría ante la rigidez de las articulaciones.
- Es un excelente complemento nutritivo para quienes están sometidos a gran actividad mental o intelectual y desean mantener un buen rendimiento.
- Contrarresta el insomnio, depresión nerviosa, melancolía, estrés, pérdida de la memoria, agotamiento mental, irritabilidad.
- Se le considera en algunos países como restaurador de la vitalidad y de la capacidad sexual, especialmente en los ancianos, mejorando su calidad de vida.
- Ayuda en estados como entrenamientos deportivos, embarazos, lactancia, convalecía después de intervenciones quirúrgicas mejorando la sobrecarga física.
- Su capacidad revitalizante se basa en los contenidos de vitamina E, y minerales como calcio, hierro, magnesio, cromo, cobre.

La tabla 1.4 indica el contenido de nutrientes en el ajonjolí por cada 100 gramos.

Tabla 1.4 Contenido de Nutrientes en el Ajonjolí en 100gr:

Nutriente	Ajonjolí
Azúcares Simples	0 gr
Fibra	12 gr
Proteína	18 gr

.../

Tabla 1.4 Contenido de Nutrientes en el Ajonjolí en 100gr (Continuación).

Nutriente	Ajonjolí
Fitoesteroles	714 mg
Calcio	945 mg
Fósforo	629 mg
Potasio	468 mg
Magnesio	361 mg
Hierro	15 mg
Sodio	11 mg
Zinc	8 mg
Cobre	4 mg
Selenio	3 mg

FUENTE: www.wikipedia.com

1.6 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

1.6.1 PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES

En la actualidad, el ajonjolí se cultiva en varios países de Asia, África y Europa. La producción mundial se calcula en cerca de dos millones de toneladas métricas, distribuidas en la siguiente forma:

Tabla 1.5 Producción mundial de Ajonjolí¹⁰

<i>Región</i>	<i>Toneladas</i>	<i>Rendimiento</i>
Asia	1 182 000.	274 kg/ha
África	549 000	342 kg/ha
América Central	138 000	512 kg/ha
América del Sur	89 000	486 kg/ha
Europa	4 000	407 kg/ha
América del Norte	1 000	706 kg/ha

FUENTE: Cultivos oleaginosos, Soya, Ajonjolí y Cartago

Los principales países productores de la América Latina, son México 127 000 ton; Venezuela 80 000 ton; Colombia 21 000 ton; y, Guatemala 13 000 ton. El ajonjolí es el cultivo oleaginoso cuya semilla tiene el más alto contenido de aceite: 45 a 50 %.

Contiene, además, un 35% de proteína y un 8% de carbohidratos y minerales. Además del aceite, muy apreciado en la alimentación humana por su calidad y finura, la pasta una fuente valiosa de proteína para la producción de alimentos concentrados para animales.

1.6.2 LA PRODUCCIÓN EN EL ECUADOR

1.6.2.1 Importancia del cultivo

El cultivo de Ajonjolí en nuestro país tiene importancia tanto económica como industrial. Existe un marcado déficit de materia prima para la producción de aceites refinados y confitería comestibles de uso humano, por lo que se recurre a las importaciones para satisfacer la demanda interna.

Además, la buena calidad y elevado porcentaje de aceite contenido en la semilla ($\pm 50\%$) hacen que este cultivo tenga un casillero importante dentro de las oleaginosas de ciclo corto. También hay que considerar el subproducto de la misma

¹⁰ Sánchez Alberto; Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria; México; 2009

que es rica en proteínas de alta calidad y es utilizada en la elaboración de productos balanceados.

Su explotación comercial inició en el año 1960, cuando el gobierno y la Asociación de productores de Aceites y Grasas introducen este cultivo a la agricultura nacional. Con éste propósito se realiza algunas importaciones de variedades de algunos países como: Venezuela, Colombia y Nicaragua, siendo estas: Aceitera, Precoz, Chino Rojo, Venezuela 51, etc. Las mismas que presentaron diversos grados de adaptación y comportamiento.

Dentro del mejoramiento genético, en 1966, se inicia con la variedad "Aceitera", se libera la "Aceitera seleccionada" y en 1967 la "Portoviejo 1", se forma por 21 líneas, y luego como producto de hibridaciones, la variedad "Portoviejo 2" (1974), formada por un compuesto de las líneas (BxA), provenientes del cruce de "Blanco" x "Aceitera", variedad que se destaca por sus rendimientos y por su rendimiento a la marchitez.

Más tarde, en 1979, se trata de modificar la arquitectura de la planta logrando obtener por separado líneas de plantas enanas, con frutos semidehiscentes y líneas con semillas de mayor peso. Lamentablemente, en la actualidad, la investigación de éste cultivo está un poco detenida porque la superficie de siembra ha decrecido y se considera que el cultivo de ésta oleaginosa está siendo desplazado por otros de mayor rentabilidad.

Las plantas de la variedad "Portoviejo 2" se caracterizan por presentar, en condiciones normales de humedad y fertilidad de suelo, un ciclo vegetativo de 95 días y un crecimiento aproximado de 2 m; tallo mediano grueso fuerte y resistente al volcamiento; hojas lanceoladas de margen liso; flores blancas con tintes morados en número promedio de tres por axila foliar; frutos dehiscentes en número de 100-120 por planta (tres por axila), se presentan a partir de los 0.55 m de altura y tienen un tamaño entre 0.028 y 0.030 m conteniendo en su interior entre 70 y 75 semillas.

1.6.2.2 Importancia Social

El cultivo de ajonjolí tiene una innegable importancia en países de la región andina debido a los siguientes factores:

- No existen limitaciones agroecológicas para el incremento del área del cultivo, por tratarse de una especie adaptada a regiones tropicales y subtropicales.
- En la región existe información tecnológica suficiente, así como experiencia que abarca desde selección de variedades hasta la mecanización de la cosecha.
- El cultivo no es desconocido en los países de la región andina, siendo tradicional el uso de sus productos, sea a escala casera como de pequeñas industrias locales.
- La calidad de los productos y subproductos del ajonjolí lo diferencia de otras oleaginosas sea por la composición de la semilla como de su aceite, características que los colocan entre productos privilegiados y de uso exclusivo.
- El cultivo de ajonjolí se adapta a condiciones de clima y suelo bajo los cuales otros cultivos no prosperan, ampliando así las posibilidades de su explotación.
- En la región andina hay disponibilidad abundante de tierras por lo cual el incremento de ajonjolí no competirá con otros cultivos ya establecidos.
- El cultivo de ajonjolí ofrece una alternativa más de trabajo y de producción, contribuyendo así al mejoramiento socio-económico de la población.
- Comparativamente, con otros cultivos, el ajonjolí no es exigente en cuanto a insumos e inversiones, más bien ayuda a un aprovechamiento más integral de los medios de producción.

- En general, el ajonjolí no se produce en países industriales, lo cual crea una posibilidad más para su comercialización.

1.7 USO DEL AJONJOLÍ

El sésamo o ajonjolí se usa actualmente en las cocinas de casi todo el mundo, no sólo por su aroma y delicioso sabor, sino que además es muy saludable por su aporte en grasas insaturadas (alrededor de un 55%), entre ellas la lecitina (más que la soja), por lo que estas semillas son muy adecuadas para regular los niveles de colesterol.

Las semillas de ajonjolí aportan además hierro, proteínas, calcio, zinc y también fibra, así que estimula la digestión, aumenta la inmunidad natural y es un estupendo reconstituyente.

Se encuentra a las semillas de ajonjolí crudas o tostadas, blancas o negras son las más comunes en el mercado Ecuatoriano, pero hay más variedades y con ellas se puede, además de dar sabor a los platos, hacer cantidad de productos que mantienen sus valorables cualidades, como el aceite de ajonjolí, que se obtiene tras su prensado en frío. Insustituible en ensaladas y otras elaboraciones, preferiblemente en crudo para aprovechar todas sus características.

También se obtiene la sal de ajonjolí, donde las semillas se trituran con sal después de tostarlas. El Zatar (zahtar) es una mezcla que se elabora con semillas de ajonjolí triturado, tomillo y zumaque (unas bayas de color rojo oscuro que se pueden sustituir por pimienta).

Se recomienda comprar el ajonjolí crudo y tostarlo en el momento en el que se va a consumir, se tuesta fácilmente en una sartén sin engrasar y es cuando desprende lo mejor de sí mismas, un aroma increíble y un sabor único.

1.7.1 BENEFICIOS DEL AJONJOLÍ

Las propiedades del aceite de ajonjolí, contenida en sus semillas, también conocidas como semillas de sésamo, aportan innumerables beneficios al organismo. Entre ellos, ayuda a disminuir el colesterol, previene el agotamiento físico y mental, la pérdida de memoria, el estrés, la depresión, el insomnio y otros problemas nerviosos. Además posee hierro y calcio, por lo que su consumo está recomendado en casos de anemia y también, para determinadas enfermedades óseas.

Entre los beneficios del ajonjolí, se destaca su capacidad para reducir el colesterol en la sangre, gracias a su alto contenido en lípidos y ácidos grasos esenciales como omega 3 y 6, además de lecitina, sustancia que evita que las grasas se adhieran a las paredes de las arterias.

Sus propiedades, su alto contenido en fibra, lo convierten en un buen regulador intestinal. Por otra parte, el ajonjolí es un poderoso energizante, especialmente recomendado para deportistas y para quienes estén expuestos a tareas agotadoras, tanto físicas como mentales o a situaciones de estrés.

La pérdida de memoria, la depresión y el insomnio, entre otros problemas nerviosos, también se benefician con el consumo de semillas de ajonjolí. Además, su contenido en hierro y calcio, le otorga excelentes propiedades en casos de anemia y para determinadas enfermedades óseas.

Por todas estas razones, incorporar semillas de ajonjolí en una dieta balanceada puede constituir una estrategia ideal para prevenir y aliviar, gran número de trastornos.

1.8 PROCESO DE POST-COSECHA, PARA LA ELABORACIÓN DE AJONJOLÍ TOSTADO

1.8.1 COSECHA Y TRATAMIENTO POST-COSECHA

El ajonjolí pasa por distintas etapas antes de ser comercializado, se lo denomina proceso de post-cosecha y se detalla en el siguiente diagrama de flujo.

1.8.1.1 Cosecha

Se debe iniciar tan pronto las cápsulas estén secas y han empezado a abrirse, se efectúa en forma manual. La pureza de la variedad facilita el proceso debido a la maduración uniforme. En caso de maduración desuniforme se realiza 2-3 cosechas.

Las plantas se cortan o se rompen a una altura de 10 a 15 cm, se las cosecha antes de que maduren las cápsulas, en caso contrario hay una pérdida alta de semillas, debido a que las cápsulas se rompen al momento de madurar. El momento óptimo de cosecha (madurez fisiológica) llega, cuando:

- Las primeras cápsulas inferiores adquieren una coloración marrón y revientan.
- El tallo amarillea.
- Las hojas comienzan a caerse.
- La floración termina.
- Las hojas se amarillean.

A medida que se cortan las plantas, se agrupan en pequeños haces de diez a quince plantas, que se amarran y se dejan sobre el terreno entre diez a veinticuatro horas, para que se sequen. Posteriormente, los pequeños haces se amontonan en grupos de diez a quince, de manera que se forman torres cónicas,

con 30 ó 40 cm de diámetro en la parte superior y se colocan sobre el terreno.

A los quince días después del corte, los haces están listos para la trilla. Esta puede hacerse a mano sacudiendo y golpeando las plantas sobre una lona para sacar las semillas de las cápsulas o con una trilladora mecánica.

La limpieza de la semilla se hace por medio de cribas con perforaciones circulares de 84 cm de diámetro o manualmente, venteando la semilla sobre la lona.

1.8.1.2 Secado en el campo / trillado

La cosecha del ajonjolí generalmente se realiza en forma manual, posteriormente se lo seca durante 2-3 días en manojos, ahí las hojas se secan rápidamente y se caen.

De ésta manera el amarre en gavillas se facilita. Se los acomoda posteriormente de tal forma que las cápsulas estén soleadas directamente. Las gavillas deberían ser de tamaño pequeñas (diámetro 15 cm., en la parte baja 45 a 80 cm.). Con esto se logra:

- El secado en menos tiempo
- Mejor circulación de aire y calor
- Reducción del contagio con hongos debido a la disminución de humedad.
- Facilidad al voltearlo para sacudirlas
- Zarandeo y trillado completo, poca pérdida.

El secado de las gavillas no debe sobrepasar los 15 días. Cuando la gavilla se encuentra totalmente seca, ésta se voltea sobre una lona fuerte, se zarandea y se trilla con palos. La lona debe tener mínimo 6 m² para evitar la contaminación con piedras y tierra. De ésta manera se mantiene la calidad alimenticia y de almacenamiento. Se evita el contagio de las semillas con enfermedades típicas del

suelo. En algunos casos se zarandea la primera vez a los 10 a 12 días y una segunda vez al transcurso de otros 5 días.

1.8.1.3 Limpieza de Semillas

Directamente después de la cosecha, se realiza la limpieza de las semillas de ajonjolí mediante zarandas y aire, de hojas, tallos, y restos de cápsulas y se la seca rápidamente. Esto puede ser al sol sobre una plataforma plana y limpia de cemento.

En lugares donde no se logra disminuir la humedad hasta el valor crítico de 6% mediante el secado al sol, debe realizarse el secado en forma artificial.

En lugares con alta humedad ambiental el ajonjolí vuelve a absorber humedad y corre el riesgo de enmohecimiento. Bajo estas condiciones se debería almacenar el ajonjolí solamente durante un tiempo corto o en cambio depositarlo en recipientes cerrados herméticamente.

1.8.1.4 Almacenamiento

Un almacenamiento duradero y eficaz presupone buenas instalaciones, condiciones de higiene y de vigilancia. En las estructuras cerradas (graneros, almacenes y contenedores herméticos), conviene controlar ante todo la limpieza, la temperatura y la humedad. Los daños causados por los depredadores y por los mohos pueden también afectar los materiales de las instalaciones y causar pérdidas no solamente cuantitativas sino también en la calidad y el valor alimenticio de los productos.

Una vez empacado, el ajonjolí se almacenará en espacios protegidos del sol, a temperaturas bajas (menos de 18° C.) y baja humedad ambiental. Bajo condiciones óptimas de almacenamiento el ajonjolí puede almacenarse aprox. 1 año.

Si se almacenan en un depósito mixto, los productos convencionales y biológicos serán debidamente separados para evitar confusiones. La mejor forma de lograrlo es adoptando las siguientes medidas:

- Información y capacitación específica del personal
- Marcación específica de los silos, paletas, tanques, etc. que se encuentran en los depósitos
- Hacer distintivos usando colores (p.ej.: verde para producto ecológico)
- Efectuar por separado el control de ingresos y egresos (Libro de almacén)

1.9 TOSTADO

El tostado del ajonjolí consiste en un proceso térmico recomendado para el consumo de la semilla. Con este proceso, el ajonjolí obtiene un mejor sabor y aroma además mejora sus propiedades nutritivas y curativas como disminuir el colesterol de la sangre, prevenir el agotamiento mental y la pérdida de memoria.

Este proceso depende de varios factores, entre los más representativos están: la humedad de las semillas, temperaturas de precalentamiento, calentamiento y tueste, condiciones ambientales, tipo de ajonjolí a tostar.

El proceso de tostado del ajonjolí se lo realiza en un sartén normal e incluso en un pequeño horno a temperaturas bajas. El comportamiento del ajonjolí es similar al del maíz por su alto contenido interno de aceite natural por lo que se recomienda tapar la sartén con el fin de evitar la pérdida de semillas.

1.9.1 DETALLE DEL PROCESO DE TUESTE

Toda semilla seca mejora su sabor después de ser tostada para lo cual este proceso se efectúa en un tostador cilíndrico, que rota sin parar para que los granos, en movimiento continuo, sean tostados uniformemente. Cada clase de grano tiene un tiempo y tipo de tostado óptimos, cuyas variables como el porcentaje de humedad, el tiempo y la temperatura de tostado alteran el sabor final del grano.

1.9.2 VARIABLES BASICAS DEL TUESTE

Las variables básicas que afectan el proceso de tostado son: temperatura, humedad y tiempo. La figura 1.5 muestra el comportamiento de la semilla de ajonjolí ante variaciones de temperatura.

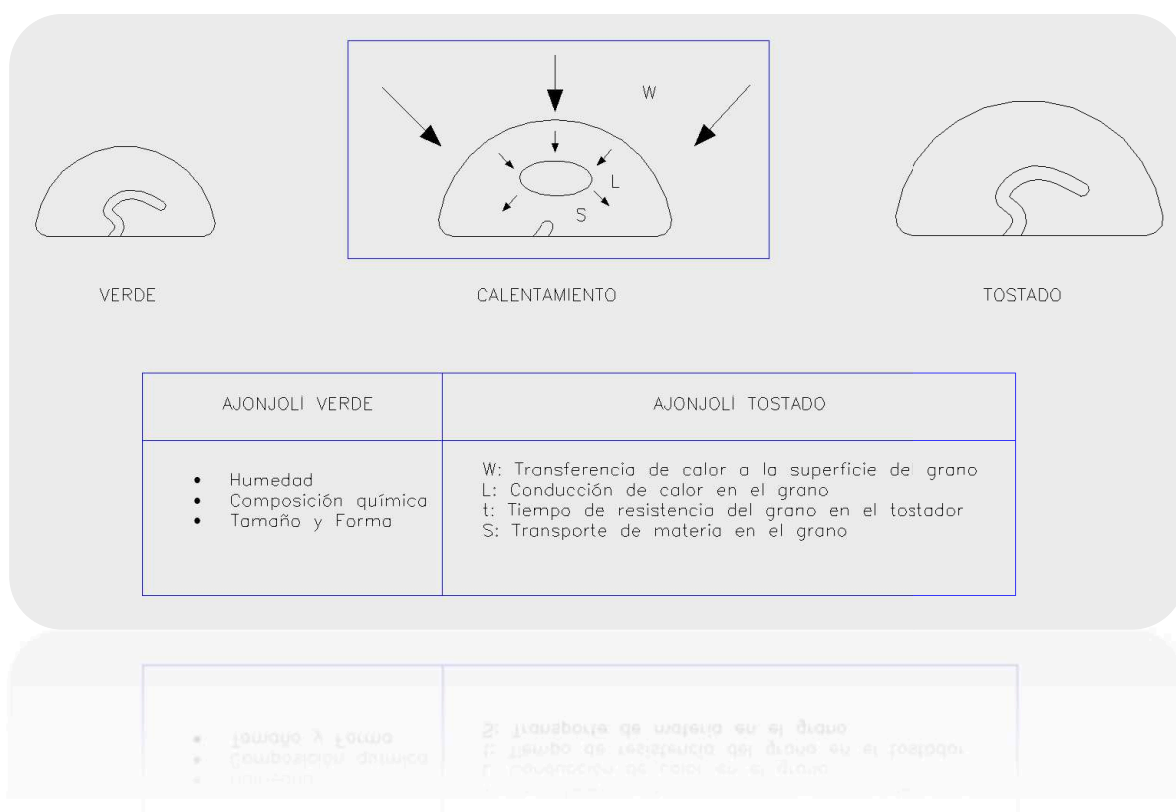


Figura 1.5 Variables que afectan el proceso de tostado (Fuente: Propia)

Las variables más importantes para el proceso de tostado de ajonjolí se describen a continuación:

1.9.2.1 Temperatura

Depende del tipo de máquina de tostar, del tiempo de tueste y de la intensidad de color requerido. En una primera fase, el ajonjolí pierde humedad. Esta parte del proceso es la que influye menos en el gusto final. En una segunda fase, se origina la expansión de la semilla de ajonjolí y empieza la creación de los gases. La tercera fase es la más lenta, pues es la que confiere básicamente al sabor final al producto. Un descuido en la elevación de temperatura del proceso aumenta la velocidad de tostado provocando un cambio de propiedades de la semilla. De igual manera, al disminuir la temperatura aumenta considerablemente el tiempo de calentamiento de la semilla, produciendo un efecto de cocción, sin llegar al grado de tostadura.

1.9.2.2 Humedad

Se entiende como contenido de humedad de la semilla el valor expresado en porcentaje (en base húmeda) de la masa del agua en relación con la masa total. La masa total es la suma del agua y de los sólidos constituyentes, durante el tostado cada una de las semillas cede su calor al aire que lo rodea, al inicio, la humedad de la superficie de la semilla se transfiere fácilmente al aire. A medida que transcurre el tostado se inicia una migración de agua desde el interior al exterior para sustituir la humedad pérdida en la superficie (difusión). El aumento de la temperatura origina un aumento de la presión de vapor de agua, el cual es eliminado por medio de extractores.

Para la obtención de un buen tostado el ajonjolí se debe precalentar la tostadora a una temperatura adecuada, para luego accionar el moto reductor.

1.10 ESTUDIO DE CAMPO

El diseño de la máquina tostadora de ajonjolí debe basarse en datos reales de la semilla como composición química, contenido de humedad, densidad, tamaño y peso, la cual debe ser sembrada en el tipo suelo correspondiente a la provincia de Manabí. Debido a este requerimiento se realiza un estudio de campo que consiste en sembrar cierta cantidad de semillas para obtener una muestra confiable para el diseño de la máquina.

El estudio de campo se realizó en la provincia de Manabí, localidad “Correagua”, en el cual se siembra 20 semillas de ajonjolí tipo “Portoviejo 2”, se contrata a una persona para que se encarga del cuidado del cultivo y su posterior cosecha.

La ventaja supuesta del estudio de campo está en que se obtuvo semillas de ajonjolí en el suelo de la provincia que tiene la necesidad de tecnificar el proceso de tostado, lo que le da una alta confiabilidad al diseño de la máquina.

Las figuras 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9 muestran el estudio de campo realizado.



Figura 1.6 Planta de Ajonjolí un mes de cultivo.



Figura 1.7 Planta de Ajonjolí un mes y medio de cultivo.



Figura 1.8 Planta de Ajonjolí, dos meses de cultivo.



Figura 1.9 Planta de Ajonjolí, tres meses de cultivo, visita del director del proyecto.
(Fuente: Propia)

En el anexo A se observa un resumen del estudio de campo realizado en la Provincia de Manabí con una tabla que contiene las dimensiones generales de una muestra de las semillas de ajonjolí obtenidas.

CAPÍTULO 2

PREFACTIBILIDAD

El estudio de prefactibilidad es una evaluación preliminar de la viabilidad técnica y económica de la tostadora de ajonjolí. Consiste en una breve investigación sobre los factores que afectan al proyecto, se realiza la definición del problema, se establecen las limitaciones, restricciones y se determinan las especificaciones generales de la tostadora de ajonjolí.

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1.1 SITUACIÓN INICIAL

El cultivo de ajonjolí en el Ecuador empieza en el año 1960 cuando el Gobierno y la Asociación de productores de Aceites y Grasas realiza la importación de algunas variedades como la Aceitera, precoz y Venezuela 51. Debido al marcado déficit de materia prima para la elaboración de aceites refinados comestibles de uso humano el cultivo de ajonjolí tuvo una buena acogida, posteriormente éste cultivo es desplazado paulatinamente por otros de mayor rentabilidad como: soya, tabaco, hortalizas, etc.

Actualmente en el País, la siembra de ajonjolí se ha intensificado en la Provincia de Manabí donde tiene una gran importancia como cultivo de transición, la manera de consumo de ésta oleaginosa es tostada donde es aprovechada para decorar en panadería y en dulces tradicionales de la provincia.

La comunidad de “Correagua” perteneciente al cantón Sucre (Provincia de Manabí) requiere una máquina para tostar ajonjolí; para aprovechar el cultivo de esta semilla como siembra de tipo secundario, es decir, se la realiza después de la cosecha de

productos primarios como el arroz y la yuca, así se optimiza en la totalidad del año, la capacidad del suelo local para realizar cultivos rotativos.

El proceso de tueste manual implica un precio final elevado, baja productividad ocasionada por pérdidas en el proceso y por tiempos muertos. En consecuencia los pequeños y medianos productores comercializan el grano sin proceso alguno al no tener la posibilidad de una máquina que mejore las cualidades del ajonjolí.

2.1.2 SITUACIÓN FINAL

Máquina para tostar ajonjolí dirigida a satisfacer las necesidades de la pequeña y mediana industria.

2.2 ESTUDIO DE LAS RESTRICCIONES DEL MEDIO

Para el estudio de las restricciones del medio se considera los siguientes factores:

TIEMPO: La máquina a diseñarse debe ser capaz de tostar 40 Kg de ajonjolí en una hora, esta velocidad es necesaria para cumplir con la demanda en la región.

DESGATE DE MATERIALES: La tostadora de ajonjolí es una máquina agrícola las cuales tienen la particularidad en cuanto a su uso, de presentar períodos de trabajo relativamente cortos y largos períodos de almacenamiento, en un ambiente altamente corrosivo como el de la Provincia de Manabí ocasiona variación de dimensiones y propiedades de los materiales constitutivos de la máquina.

MANTENIMIENTO: La máquina deber tener un mínimo de piezas móviles, las mismas que tendrán un fácil acceso y limpieza para el empleado. Se prevé un mantenimiento preventivo programado.

COSTO: La inversión inicial para la compra de la máquina debe amortizarse lo más pronto posible con el incremento de producción de ajonjolí tostado con relación al tueste artesanal.

FISICAS: Se debe tomar en cuenta la forma y el peso de la máquina para una fácil instalación, operación y transporte.

TECNOLÓGICAS: Los elementos constitutivos de la máquina deben estar disponibles en el mercado local, es decir no deben ser elementos especiales que se conseguirían bajo pedido, porque el costo se incrementaría considerablemente. La operación de la máquina debe ser simple lo que evita una capacitación intensiva del empleado.

SEGURIDAD: La máquina trabaja con altas temperaturas por lo que se debe considerar un equipo de protección para la persona encargada de su operación y elementos con aislamiento térmico para la máquina.

2.3 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

La especificación del producto es la manifestación explícita del conjunto de determinaciones, características o prestaciones que debe guiar su diseño y desarrollo.

2.3.1 PARÁMETROS FUNCIONALES

2.3.1.1 Sanidad

El diseño de la máquina tostadora de ajonjolí va orientado a la industria alimenticia por ésta razón debe cumplir con los requisitos de salubridad emitidos por el Ministerio de Salud, para ello, los elementos constitutivos de la máquina que estén

en contacto directo con las semillas de ajonjolí no deben producir focos de oxidación en ningún momento de su vida útil.

2.3.1.2 Ambiente de trabajo

Para que la máquina realice un tostado uniforme en todo el producto es necesario conocer las condiciones ambientales de la provincia de Manabí, se hace referencia a éste lugar porque en la actualidad es donde se reúne la mayor producción de ajonjolí en el país, en la tablas 2.1 y 2.2 se muestran las condiciones externas e internas del ambiente de trabajo.

Tabla 2.1 Ambiente de Trabajo, condiciones externas

Condiciones Externas	
Altitud	220-450 m.s.n.m
Clima	Tropical Húmedo
Temperatura	22-34 °C
Humedad Relativa	76%

Fuente: INIAP

Tabla 2.2 Ambiente de Trabajo, condiciones internas

Condiciones Internas	
Iluminación ^a	400 lux
Ventilación ^b	40 cfm/persona
Temperatura ^b	20 °C
Humedad relativa ^b	50 %

^a **FUENTE:** Ordenanzas municipales 3457 art. 188

^b **FUENTE:** ASHRAE, Cálculo de cargas de calentamiento y enfriamiento.

2.3.1.3 Formación del operario

Los requisitos que deben poseer los operarios designados al manejo y control de la máquina se especifican en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Formación del operario

Operario	
Grado de Instrucción	Primaria
Destrezas	Manuales, físicas.
Capacidad	Levantar y ubicar el producto

Fuente: Estimación Propia

2.3.1.4 Capacidad

La tostadora debe tener la capacidad de procesar 40 Kg en una hora de operación, valor que se obtiene del estudio de campo realizado en la comunidad de Correagua (Provincia de Manabí). Ver Anexo A.

2.3.1.5 Presentación requerida

El ajonjolí tostado no debe presentar un color negro, ya que esto muestra que ha sido quemado, en cuyo estado no es agradable al gusto de los clientes. El color recomendado para un tostado gourmet es un color café oscuro, para un tostado medio es un color caoba y para un tostado liviano es el color canela, estos tipos de tostado se obtiene en base al tiempo de permanencia de la semilla en el tostador.

2.3.2 VIDA UTIL

La vida útil comprende el tiempo proyectado en el cual la máquina opera con todas las funciones para las que fue diseñada, sin presentar riesgo para sus operarios.

Depende de muchas variables, pero una de ellas, quizás la más importante, es el mantenimiento que recibe la máquina durante este periodo de tiempo.

La vida útil prevista para la tostadora es de 10 años, periodo para el cual se tiene una fiabilidad del 99.9%.

2.3.3 MATERIALES

Los materiales principales para la construcción de la tostadora son los siguientes:

- ACERO LAMINADO ASTM 36
ACERO INOXIDABLE AISI 304

2.3.4 COSTO DE DISEÑO Y DESARROLLO

Para obtener un costo de diseño y desarrollo se estima un porcentaje de 20-25% del costo de la máquina aproximadamente (2500 USD). Esto es aproximadamente 600 dólares.

CAPÍTULO 3

FACTIBILIDAD

En este capítulo se analizan las alternativas o soluciones necesarias para llevar a cabo los objetivos del proyecto. Se considera los siguientes factores:

a) Disponibilidad Técnica

Si se dispone del equipo y herramientas para llevar a cabo la construcción de la máquina, de no ser así, si existe la posibilidad de generarlos o crearlos en el tiempo requerido por el proyecto.

b) Disponibilidad Económica

Si se dispone del capital en efectivo o de los créditos de financiamiento para invertir en el proyecto.

c) Disponibilidad Humana u Operacional

Se refiere a que debe existir el personal capacitado para llevar a cabo el proyecto y así mismo, deben existir usuarios finales dispuestos a emplear los servicios generados por el sistema desarrollado.

d) Disponibilidad de tiempo

Se refiere a que se debe verificar que se cumplan los plazos entre lo planeado y lo real

e) Disponibilidad legal

Se refiere a que el desarrollo del proyecto o sistema no debe infringir alguna norma o ley establecida a nivel local, municipal, estatal o federal.

3.1 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En el estudio de alternativas se establecen las posibles soluciones para el problema planteado.

En la tabla 3.1 se establecen los criterios de selección, así mismo como las ponderaciones de cada uno de los parámetros, de acuerdo a las características del proyecto. El valor ponderado de la tabla se establece para cada criterio, según la importancia que tiene en la solución del problema.

Tabla 3.1 Criterios de selección

CRITERIOS DE SELECCIÓN		
CRITERIOS	DETERMINACIONES	POND
I. Concepto	¿Responde a las funciones y prestaciones especificadas? ¿Su funcionamiento es simple y eficaz? ¿Es fácil y económico de materializar?	0.12
II. Prestaciones	El conjunto y sus componentes proporcionan: ¿Resistencia y durabilidad adecuadas? ¿Deformaciones admisibles? ¿Estabilidad de funcionamiento? ¿Posibilidad de expansión? ¿Vida (fatiga, corrosión) y prestaciones adecuadas?	0.08
III. Seguridad	¿El conjunto y sus componentes ofrecen seguridad? ¿Se han considerado las perturbaciones externas? ¿Cumple las directivas de seguridad?	0.08

.../

Tabla 3.1 Criterios de selección (Continuación).

CRITERIOS DE SELECCIÓN		
CRITERIOS	DETERMINACIONES	POND
IV. Ergonomía	¿Se ha tenido en cuenta la relación hombre-máquina? ¿Se han evitado las situaciones de fatiga o estrés?	0.02
V. Entorno	¿Los consumos son adecuados? ¿Se ha previsto el fin de vida?	0.05
VI. Producción	¿Se han analizado los procesos de fabricación? ¿Se han evaluado los útiles necesarios? ¿Qué partes tienen que subcontratarse?	0.09
VII. Calidad	¿Se ha previsto un funcionamiento robusto? ¿Qué verificaciones hay que hacer y cuando?	0.09
VIII. Montaje	¿Los procesos de montaje son simples? ¿Se ha pensado en su automatización?	0.07
IX. Transporte	¿Se ha considerado el transporte interno y externo? ¿Se tiene que poder desmontar? ¿Con qué herramientas?	0.05
X. Operación	¿Se han considerado todos los modos de operación?	0.07
XI. Mantenimiento	¿Se ha estudiado que tipo de mantenimiento se requiere? ¿Se han facilitado las reparaciones?	0.10

.../

Tabla 3.1 Criterios de selección (Continuación).

CRITERIOS DE SELECCIÓN		
CRITERIOS	DETERMINACIONES	POND
XII. Costos	¿Se mantienen los costos dentro de los límites previstos? ¿Qué costos adicionales aparecen y porqué?	0.10
XIII. Plazos	¿Se cumplen los plazos previstos? ¿Se prevén modificaciones que alteren estos plazos?	0.08
		1.0

Para poder evaluar los criterios presentados en la tabla 3.1 se requiere realizar una serie de cálculos, los mismos que son simples y generalizados para cada alternativa, ya que los cálculos detallados se presentan en la parte de diseño para la alternativa seleccionada.

Las alternativas para la solución del problema son:

ALTERNATIVA A: Tostadora por Tandas (Sistema de Tambor)

ALTERNATIVA B: Tostadora Continua (Sistema de Calentamiento Directo)

3.1.1 ALTERNATIVA A: TOSTADORA POR TANDAS (SISTEMA DE TAMBOR)

En esta alternativa se realiza el proceso de tostado transportando aire caliente por el exterior de un bombo en movimiento, con esto se obtiene una gran uniformidad del tueste del grano, tanto en el núcleo como en la superficie, debido al reparto uniforme del aire caliente en toda la masa del ajonjolí que está girando dentro del bombo, como se observa en la figura 3.1

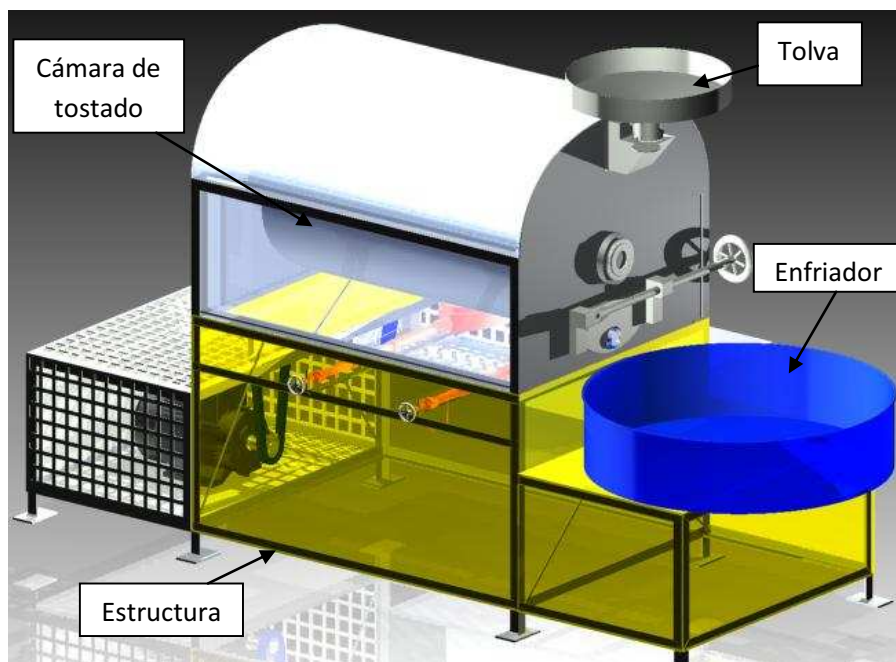


Figura 3.1 Diseño Preliminar del prototipo “Tostadora por tandas” (Fuente: Propia)

3.1.1.1 Etapas del Proceso (Concepto y Prestaciones)

Este sistema es el más extendido, utilizado por la mayoría de tostadores de tamaño medio o pequeño, se tuesta por aire caliente entre 5 a 10 minutos, la cantidad de aire caliente se mantiene constante o varía según las características de la tostadora, escalonando su temperatura durante todo el proceso. Este aire es relativamente seco, con un contenido de gases de escape de 18 g por m³ ¹¹. Este sistema es óptimo para tostar ajonjolí de diferentes características y permite realizar tuestes oscuros. Las variables como el porcentaje de humedad, el tiempo y la temperatura de tostado alteran el sabor final del grano.

En la figura 3.2 se muestra un esquema del proceso de tostado por tandas.

¹¹ Albert Solá Tostado y Molido de Café y semillas similares

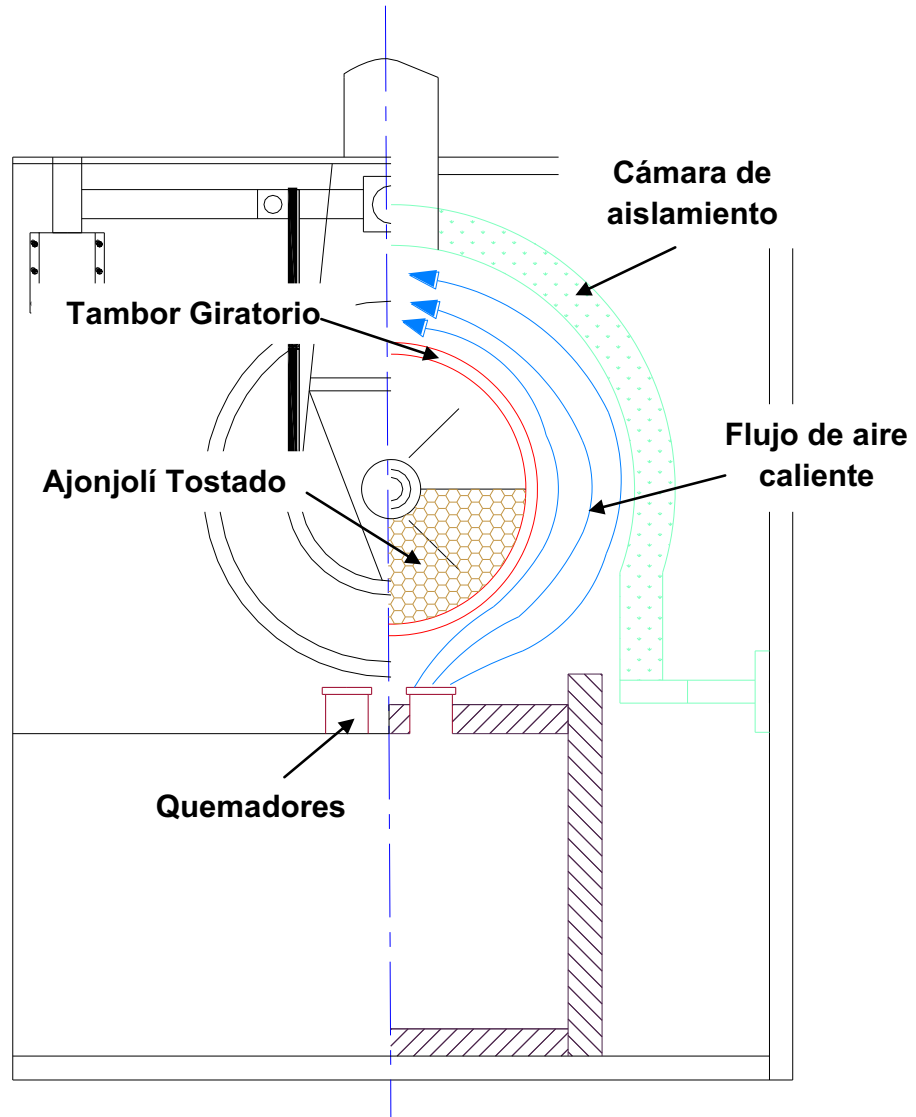


Figura 3.2 Esquema del proceso de tostado por tallas (Fuente: Propia)

3.1.1.2 Especificaciones de la Alternativa

Para poder calificar esta alternativa es necesario establecer las características principales de la misma, como sus dimensiones generales, de forma que permita tener una idea general de la máquina como se observa en la figura 3.3.

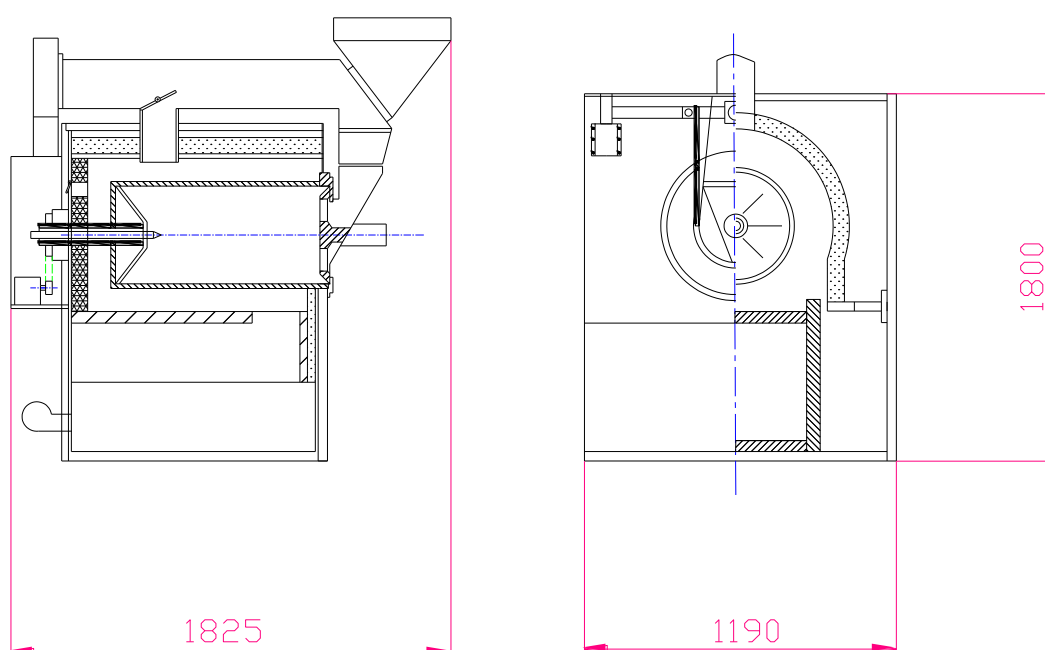


Figura 3.3 Dimensiones generales de la alternativa

La tabla 3.2 muestra las dimensiones generales y el peso de la alternativa de tostado por tandas basadas en las dimensiones de máquinas de similares características.

Tabla 3.2 Dimensiones generales de la alternativa de tostado por tandas.

Largo	1825 mm
Ancho	1190 mm
Alto	1800 mm
Peso	600 Kg

Fuente: <http://www.discaf.com/catalogos/TN-8-GAS.pdf>

3.1.1.3 Mantenimiento

El mantenimiento previsto para ésta solución es un mantenimiento preventivo debido a varias partes de esta máquina están disponibles en el mercado local por lo que es posible predecir los fallos posibles en base a su vida útil y operación, obteniendo una maximización de la vida de la máquina conservando los elementos en condiciones seguras de funcionamiento. Para los fallos imprevistos se deberá realizar un mantenimiento correctivo procurando realizar una reparación definitiva para que el fallo no se repita.

3.1.1.4 Tecnología

Esta alternativa plantea el uso de sistemas mecánicos disponibles en el mercado local por lo que no encárese el diseño, también se utilizará sistemas eléctricos para el control de la temperatura de tueste, como termocuplas, integrados y amplificadores los que también están disponibles en el mercado local. Cabe señalar que en el diseño de ésta solución se dejará abierta la posibilidad de automatizar en un futuro el proceso.

3.1.1.5 Ventajas

Las ventajas que presenta el sistema de tueste por tandas son:

- Se obtiene un tueste homogéneo mediante el giro del tambor y un flujo constante de aire caliente proveniente de los quemadores.
- El tambor giratorio se halla situado en el interior de una doble cámara de naturaleza termoaislante.
- El espacio físico es ocupado menor y más ordenado en comparación con al proceso actual de tostado, lo que permite un aumento en la productividad.
- El hogar de la máquina tostadora está montado en posición extraíble del conjunto de la máquina facilitando las labores de mantenimiento.

- La cámara comunica superiormente con un conducto de salida de humos que comunica con un canal de aspiración, al que se halla conectado un grupo aspirador
- Se puede adaptar fácilmente un sistema de automatización para mejorar la calidad en el tostado.

3.1.1.6 Desventajas

- Bajo control visual debido a que el tueste se realiza en una estructura cerrada aunque se disponga de un saca muestras, la desventaja estaría si se emplea otra variedad de ajonjolí diferente a la analizada para este proyecto.
- El proceso no es continuo por lo que se obtendrá una productividad menor a la obtenida con las tostadoras continuas o las de lecho fluido.
- Debido a los componentes utilizados en ésta alternativa se necesitará un grado de instrucción del operador sobre su mantenimiento, por lo que sería un egreso adicional al costo.
- El rendimiento disminuye por la necesidad de obtener de nuevo las condiciones iniciales en el interior del tambor, para permitir una nueva carga de material, con la consiguiente pérdida de tiempo en el proceso de tostado.

Con esta información se contestan las preguntas que se presentan en la tabla 3.1 de criterios de selección.

En la tabla 3.3 se muestra un resumen de la evaluación de cada uno de los criterios de selección para la alternativa A

Tabla 3.3 Criterios de selección para alternativa tostadora por tandas

CRITERIOS	EVALUACIÓN CUALITATIVA	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
I. Concepto	Se garantiza un tostado total. Su funcionamiento es simple Su costo depende de los elementos a utilizar.	7
II. Prestaciones	El conjunto y sus componentes proporcionan: Una configuración robusta que garantiza un funcionamiento y durabilidad adecuada.	9
III. Seguridad	El conjunto garantiza un alto nivel de seguridad porque el operario no está en contacto directo con elementos que afecten su salud	7
IV. Ergonomía	Se facilita el trabajo al operario.	8
V. Entorno	Las fuentes de energía requeridas para el funcionamiento son: gas y electricidad. Las cuales están disponibles en el lugar de operación.	6

.../

Tabla 3.3 Criterios de selección para alternativa tostadora por tandas (continuación).

CRITERIOS	EVALUACIÓN CUALITATIVA	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
VI. Producción	Con esta se tiene un gran número de alternativas para procesos de fabricación.	6
VII. Calidad	Se cumple con los niveles de producción requeridos y con la garantía de que el producto es totalmente tostado.	8
VIII. Montaje	El montaje requiere de conocimiento técnico, además permite una automatización.	6
IX. Transporte	Se requiere de transporte pesado para el ensamblaje de la máquina.	5
X. Operación	Se han analizado todos los modos de operación.	9
XI. Mantenimiento	Se requiere de un plan de mantenimiento preventivo, programado y correctivo.	7
XII. Costos	Los costos se mantienen dentro de los límites.	6
XIII. Plazos	Si se cumplen los plazos previstos.	8

Fuente: Propia

3.1.2 ALTERNATIVA B: TOSTADORA CONTINUA (SISTEMA DE CALENTAMIENTO DIRECTO).

Esta alternativa se refiere a una tostadora que gira continuamente, tiene la facilidad de enfriar los productos tostados en la misma máquina, en una segunda zona destinada para ello.

Tanto el tostado como el enfriado posterior de las semillas de ajonjolí, se producen mediante convección de aire caliente o frío respectivamente, permitiendo controlar y regular según las necesidades el tipo de tueste a efectuar, pudiendo actuar también sobre la velocidad de giro del tambor. La figura 3.4 muestra un esquema del funcionamiento de esta alternativa.

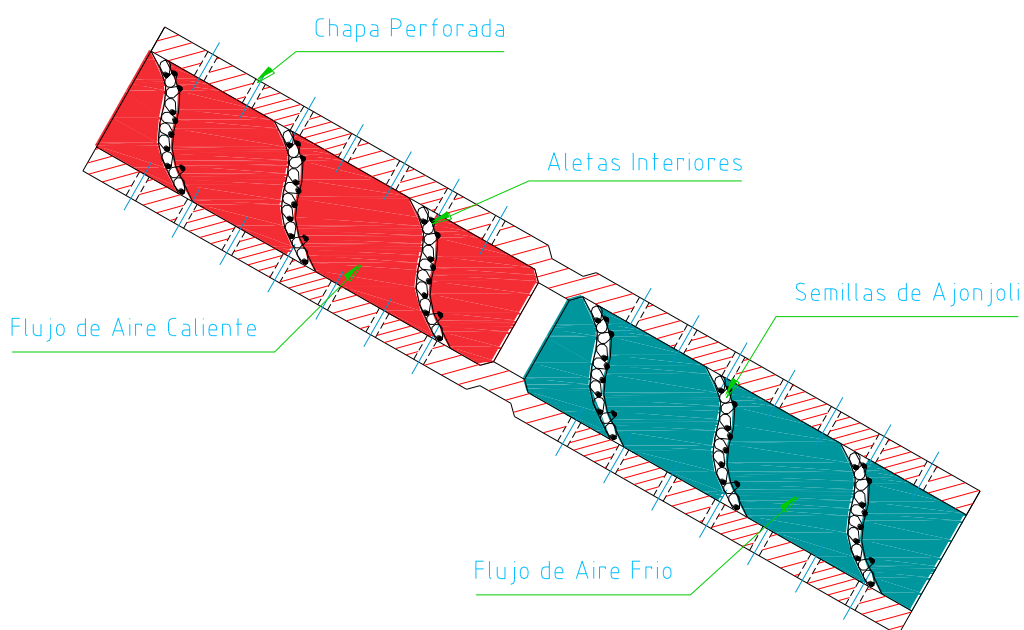


Figura 3.4 Calentamiento de la semilla por convección de aire caliente.

(Fuente: Propia)

3.1.2.1 Etapas del Proceso (Concepto y Prestaciones)

El material a tostar se introduce por una boca de entrada, para pasar en una primera fase al tramo de tostado por aire caliente, seguida por una segunda fase de enfriado asimismo por aire frío ambiental, permitiendo su descarga sobre el elemento transportador que le permitirá llevar el producto terminado hasta un lugar adecuado.

El cilindro giratorio de chapa perforada presenta interiormente una serie de salientes a modo de hélice, que provocan el movimiento del material en sentido axial mientras exista un giro del cilindro, de tal forma que se puede producir todo el proceso de tueste y enfriado a la vez, y por tanto obtener una cantidad de producto terminado constante.

Un reductor variable de velocidad, acoplado al motor de accionamiento de las ruedas inferiores que provocan el giro del tambor, permite el control de dicha velocidad, [por lo que se puede regular el tiempo durante el cual el material sufre el proceso de tueste-enfriado, para posibilitar un tueste rápido y superficial, lento y en profundidad o cualquiera de las combinaciones deseadas en función del producto a obtener.

El proceso de tueste se efectúa gracias a un ventilador que permite la convección del aire ambiental hacia un calentador de cualquier tipo, el cual hace alcanzar al aire la temperatura deseada, efectuando el tostado del producto por su paso a través de los orificios que presenta el cilindro giratorio hacia su interior y posteriormente en sentido inverso por la aspiración producida por el mismo ventilador en su parte trasera, de tal forma que el tostado es producido por un doble paso de aire caliente.

El paso siguiente del proceso es el de enfriado del material, producido por el paso forzado de aire ambiental a través del perforado del cilindro, aspirado por depresión y enviado hacia un ciclón de recogida de partículas, que evita la contaminación del ambiente.

A la salida del cilindro giratorio se ha previsto un transportador para el material ya tostado y enfriado, aunque es posible la colocación de cualquier máquina envasadora, cinta transportadora o similares.

Entre la parte inicial de tostado y la final de enfriado se prevé una cortina de aire de separación, que permitirá un control de temperatura en cada una de las zonas sin los problemas que comportaría una zona intermedia de excesiva longitud.

Se comprende mejor ésta alternativa, al describir cada una de sus partes principales, en la figura 3.5 se muestra en vista frontal de la instalación con todos sus componentes, en ella se puede apreciar el esquema de funcionamiento de la tostadora giratoria continua. Sus partes principales son: Un cilindro giratorio (1) con aletas interiores de forma que permitan el arrastre del material a tostar por todo su interior; una boca de entrada (2) permite la introducción de las semillas de ajonjolí en el interior del cilindro, el cual es accionado preferentemente mediante un motor eléctrico (4), a cuyo eje se acopla un reductor variable de velocidad (5) para permitir el gobierno de la velocidad de giro de un eje (25), solidario a unas ruedas inferiores (24) de accionamiento del cilindro.

Una carcasa (3) sostiene el conjunto formado por el cilindro y los distintos conductos y accionamientos, se prevé un conducto de aspiración (7) de aire caliente procedente del interior del cilindro una vez realizado el tostado, aspirado por un ventilador (8), e impulsado de nuevo a través de un conducto (9) que desemboca en un ciclón (10) recogedor de partículas procedentes del tostado, y dotado de una esclusa (11) con una salida (12) de vaciado. Una vez el aire ha sido liberado de impurezas se junta con el necesario procedente de una entrada exterior (13) regulada por un elemento de ajuste (30), para pasar a través de un conducto de impulsión (14), ser calentado mediante un elemento calefactor (16) y ser enviado por la salida (15) hasta el cilindro giratorio, para entrar en el realizado el tueste, y repetirse el ciclo.

Se puede apreciar en el detalle (33) como las paredes del cilindro (1) se forma en base a chapa perforada, para permitir el paso del aire a su a través, y por lo tanto también a través del material a tostar o posteriormente a enfriar.

Una vez realizado el tueste del material pasará a una segunda parte (17) del cilindro, separada por una cortina de aire al final del conducto de aire caliente (7), provocada por una reducción del diámetro interior de dicho cilindro para permitir un perfecto control sobre las temperaturas en cada una de las partes. A partir de ese momento se fuerza una aspiración de aire por medio de un ventilador (19), el cual provoca una depresión en el decantador (18), para llevar el aire aspirado hasta un segundo ciclón (20), dotado asimismo de una esclusa (21) y un recipiente (22) para recogida de partículas.

Inferiormente al cilindro giratorio se dispone una bandeja (6) para recogida y aprovechamiento posterior de los residuos de tamaño menor al perforado del cilindro.

En el extremo del cilindro se prevé la colocación de un transportador (23) para llevar el producto ya tostado y enfriado al lugar deseado, así como también puede colocarse la boca de entrada de una empacadora, o cualquier otro medio de almacenaje o transporte.

En la figura 3.6 puede observarse la dirección que sigue el aire caliente en su entrada a interior del cilindro por el conducto (15), marcado por las flechas (26 y 28), y el sentido de giro del mismo cilindro, marcado por la flecha (27), producido gracias a la acción de las ruedas inferiores (24), y que provoca la situación del material a tostar (29) en la entrada de aire, permitiendo un mejor aprovechamiento de su capacidad calorífica.

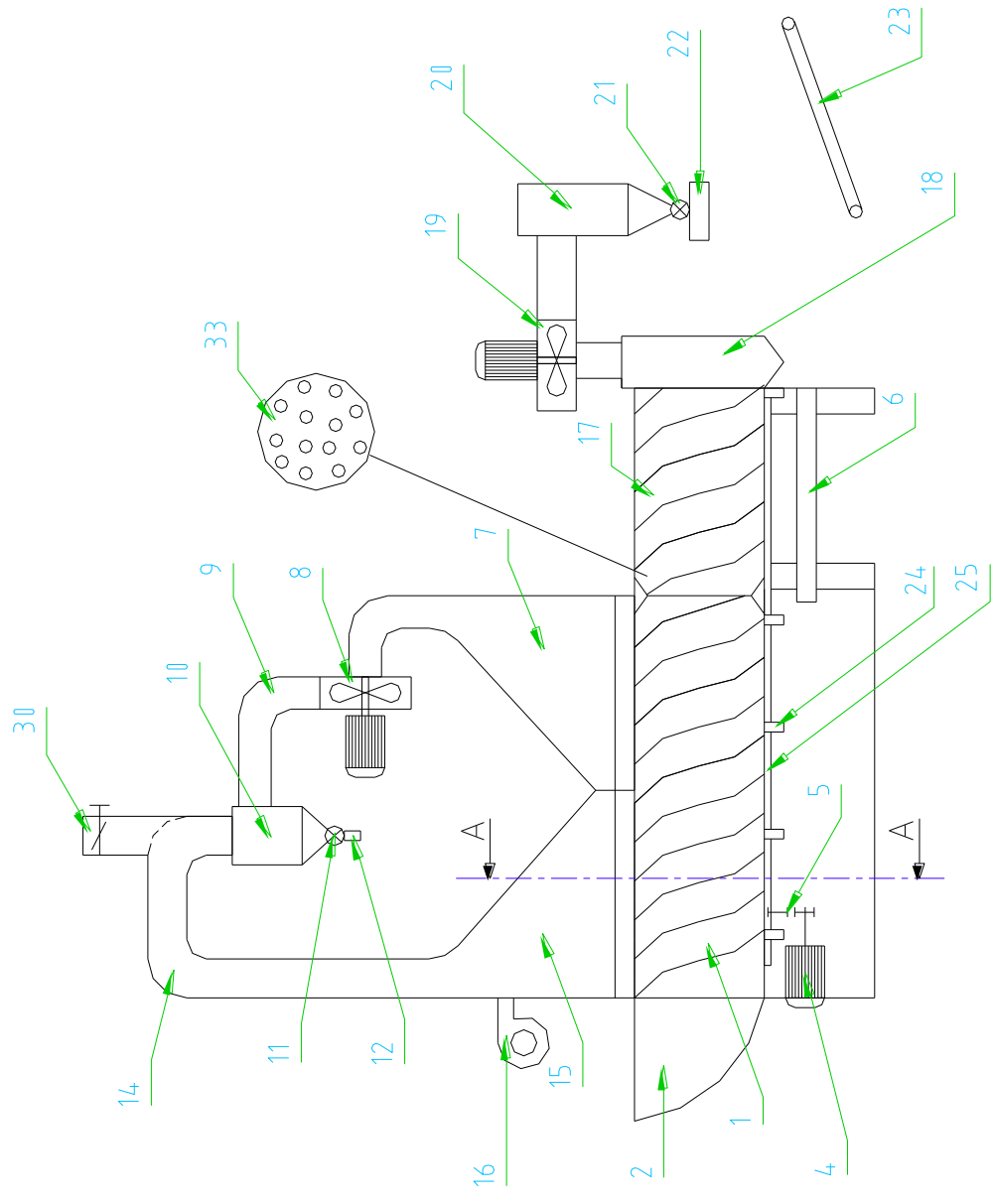


Figura 3.5 Parámetros generales de la segunda alternativa: Tostadora Continua

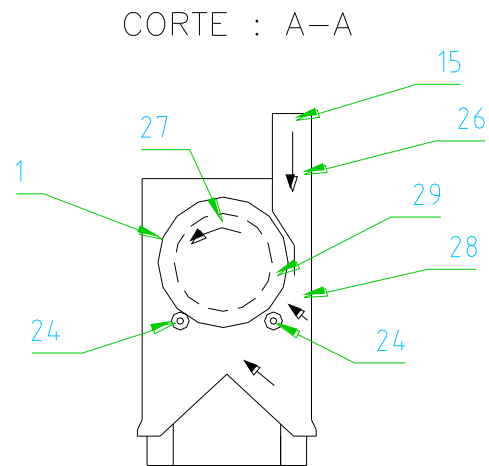


Figura 3.6 Vista en corte del cilindro giratorio: Alternativa Tostadora Continua.

3.1.2.2 Especificaciones de la Alternativa

Los parámetros generales de espacio, se determinan en la figura 3.7 y en la tabla 3.4 en base a la disponibilidad de espacio.

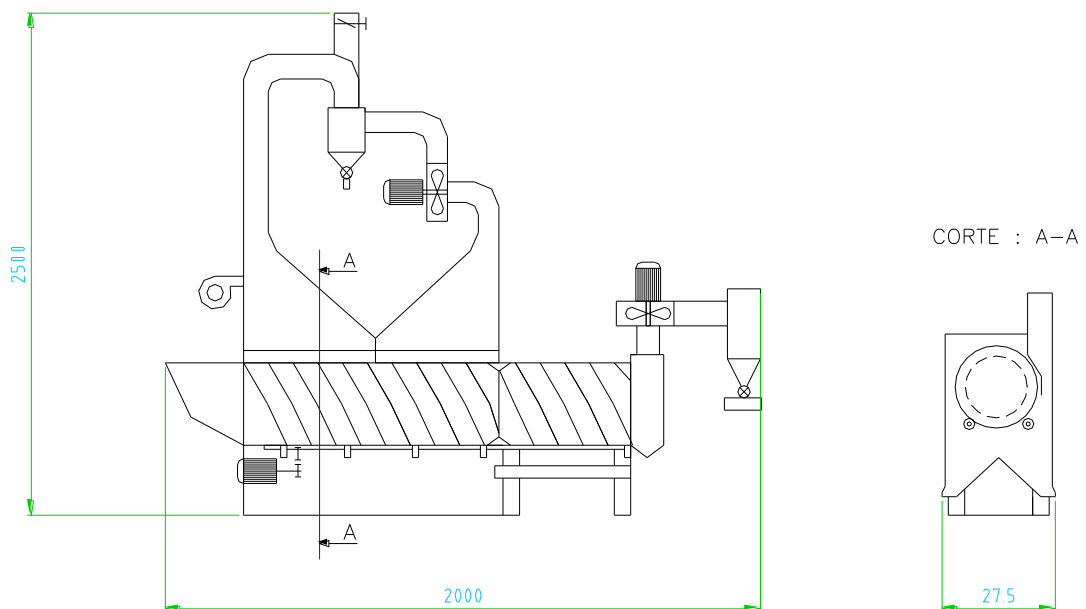


Figura 3.7 Dimensiones generales para la alternativa tostadora continua.

Tabla 3.4 Dimensiones generales de la alternativa Tostadora Continua.

Altura	2500 mm.
Ancho	27.5 mm.
Largo	2000 mm.

3.1.2.3 Ventajas

- La máquina permite la entrada del material continuamente y se obtiene asimismo continuamente el material ya tostado.
- Mayor rendimiento y economía
- La máquina realiza tostados mas uniformes con la facultad de variar el grado de tueste según la variación de la velocidad de giro del tambor giratorio.
- Posibilidad de realizar el proceso de tostado y de enfriamiento del material en el mismo elemento de la máquina.
- En el extremo del cilindro se prevé la colocación de un transportador para llevar el producto ya tostado y enfriado al lugar deseado, así como también puede colocarse la boca de entrada de una empacadora, o cualquier otro medio de almacenaje o transporte.

3.1.2.4 Desventajas

- La principal desventaja de ésta alternativa es la sobre producción obtenida por un proceso continuo, en nuestro país la demanda de ajonjolí tostado no tiene valores elevados, se usa la semilla para confitería y para extracción de su aceite en el mercado local.
- El tamaño de la máquina dificulta el mantenimiento e instalación de la misma.
- Mayor capacitación del recurso humano para operar la máquina.
- En ésta máquina el aire se calienta alrededor de 400 °C lo que representa un costo elevado por calentamiento.

En la tabla 3.5 se presenta un resumen de la evaluación de cada uno de los criterios de selección para esta alternativa.

Tabla 3.5 Criterios de selección para alternativa; Tostadora Continua.

CRITERIOS	EVALUACIÓN CUALITATIVA	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
I. Concepto	<p>Se garantiza un tostado total de gran uniformidad.</p> <p>Su funcionamiento es complejo (necesita mayor capacitación de los operarios).</p> <p>El aislamiento necesario incrementa el costo del equipo.</p>	6
II. Prestaciones	<p>El conjunto y sus componentes proporcionan:</p> <p>Una configuración compleja al tener los procesos de calentamiento y enfriamiento juntos.</p> <p>Posibilidad de corrosión por las condiciones ambientales y de operación normal.</p>	7

.../

Tabla 3.5 Criterios de selección para alternativa; Tostadora Continua (Continuación).

CRITERIOS	EVALUACIÓN CUALITATIVA	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
III. Seguridad	El conjunto garantiza un nivel de seguridad aceptable.	8
IV. Ergonomía	Se disminuye la cantidad de trabajo al operario.	9
V. Entorno	Las fuentes de energía requeridas para el funcionamiento son: gas y electricidad.	6
VI. Producción	Se tiene un número limitado de alternativas para procesos de fabricación.	7
VII. Calidad	Se cumple con los niveles de producción requeridos y se verifica la temperatura en el comienzo de los dos procesos calentamiento y enfriamiento.	6
VIII. Montaje	El montaje requiere de conocimiento técnico, además permite una automatización en el control de temperatura y en la velocidad de giro del cilindro perforado.	5

.../

Tabla 3.5 Criterios de selección para alternativa; Tostadora Continua (Continuación).

CRITERIOS	EVALUACIÓN CUALITATIVA	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
IX. Transporte	Se requiere de transporte mediano para el ensamblaje de la máquina.	7
X. Operación	La operación es sencilla.	3
XI. Mantenimiento	Se requiere de un plan de mantenimiento preventivo, programado y correctivo.	8
XII. Costos	Los costos se mantienen dentro de los límites.	7
XIII. Plazos	Si se cumplen los plazos previstos.	9

3.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Mediante las tablas 3.3 y 3.5, se desarrolla la tabla 3.6, con la cual se determina la alternativa adecuada para la solución del problema planteado.

Tabla 3.6 Selección de la alternativa; Tostadora Continua.

CRITERIOS	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	POND.
Alternativa A	7,00	9,00	7,00	8,00	6,00	6,00	8,00	6,00	5,00	9,00	7,00	6,00	8,00	I 0,12
Alternativa B	6,00	7,00	8,00	9,00	6,00	7,00	6,00	5,00	7,00	3,00	8,00	7,00	9,00	II 0,08
	13,00	16,00	15,00	17,00	12,00	13,00	14,00	11,00	12,00	12,00	15,00	13,00	17,00	III 0,08
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	IV 0,02
Alternativa A	0,54	0,56	0,47	0,47	0,50	0,46	0,57	0,55	0,42	0,75	0,47	0,46	0,47	V 0,05
Alternativa B	0,46	0,44	0,53	0,53	0,50	0,54	0,43	0,45	0,58	0,25	0,53	0,54	0,53	VI 0,09
														VII 0,09
														VIII 0,07
														IX 0,05
														X 0,07
														XI 0,10
														XII 0,10
														XIII 0,08
														1,00
RESULTADO														
Alternativa A	0,52													
Alternativa B	0,48													

De la tabla 3.6 se puede concluir que el método de tostado de ajonjolí más adecuado es el sistema de tambor (tostado por tandas, alternativa A).

3.2.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Las pruebas que se efectúan a la máquina están orientadas a comprobar las especificaciones de la misma, así como su correcto funcionamiento.

Los aspectos a verificar en las pruebas a la tostadora son los siguientes:

Dimensiones Básicas.- Se toman las medidas generales de largo, ancho y altura de la tostadora, utilizando un flexómetro.

Velocidad Angular.- Utilizando un cronómetro y de manera visual se verifica el número de revoluciones por minuto del tambor rotatorio.

Temperatura.- Para realizar ésta prueba la máquina debe haber trabajado sin carga durante 5 minutos. Con la ayuda de una termocupla (Pt-1000) se toma la temperatura de la cámara de tueste, la cual se registra en el PLC incorporado. Esta prueba se realiza 3 veces con un intervalo de tiempo de 3 minutos.

Tiempo de Tueste.- Una vez que la cámara de tueste se encuentre a la temperatura de trabajo, se permite el paso del grano y se toma el tiempo de tueste de 20 Kg de ajonjolí.

Enfriamiento del grano.- Una vez tostado el grano se abre la compuerta de salida permitiendo la fuga del mismo hacia el enfriador, con la ayuda de un cronómetro y un termómetro se registra cuanto tiempo de demora el ajonjolí en llegar a la temperatura ambiente.

Juntas empernadas y soldadas.- Inspección visual de todas las juntas empernadas y soldadas de la máquina tostadora, revisando que estén dentro de la tolerancia permitida y que no exista porosidad excesiva en la soldadura.

A continuación se muestra el formato del protocolo de pruebas.

3.2.1.1 Formato del Protocolo de Pruebas

PROTOCOLO DE PRUEBAS				
TOSTADOR POR TANDAS DE AJONJOLÍ				
NOMBRE DEL VERIFICADOR				
FECHA				
PRUEBAS A REALIZARSE				
DIMENSIONES GENERALES				
Dimensiones	Herramienta Usada	Resultado	Aceptación	
			Si	No
ALTURA (mm)				
ANCHO (mm)				
LARGO (mm)				
TEMPERATURA DE TUESTE				
Temperatura	Herramienta Usada	Resultado	Aceptación	
			Si	No
1(°C)				
2(°C)				
3(°C)				
VELOCIDAD DE GIRO				
Tueste 20 Kg	Herramienta Usada	Resultado	Aceptación	
			Si	No
Minutos				
ENFRIAMIENTO DEL GRANO				
Enfriamiento 20 Kg	Herramienta Usada	Resultado	Aceptación	
			Si	No
Minutos				
JUNTAS EMPERNADAS Y SOLDADAS				
Tipo de junta	Estado		ACEPTACIÓN	
	Regular	Óptimo	Si	No
Empernada				
Soldada				
Observaciones :				

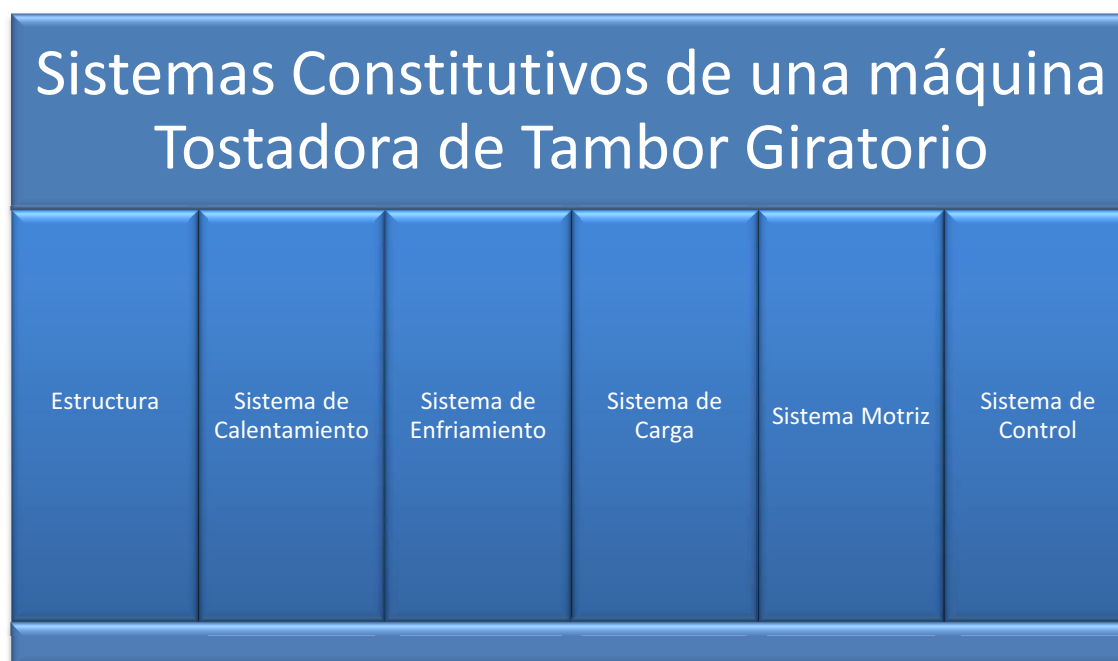
CAPÍTULO 4

DISEÑO

Para el diseño es recomendable dividir a la máquina en sistemas, para cada sistema se realiza su respectivo diseño y selección de elementos normalizados.

La figura 4.1 muestra los sistemas de la máquina tostadora de ajonjolí de tambor rotatorio.

Figura 4.1 Sistemas Constitutivos de la máquina tostadora de ajonjolí de tambor giratorio



Fuente: Propia

El prototipo debe cumplir con las siguientes funciones:

- Tener el precalentamiento adecuado antes de accionar el moto reductor.
- Mantener la temperatura de tostado constante durante un tiempo adecuado.

- Poseer un control digital con cuadro de mando con amplia información del proceso, siguiendo un programa seleccionado (receta) y con la posibilidad de intervención manual.
- Tener doble aislamiento en la cámara de tostado para evitar grandes pérdidas por transferencia de calor y reducir el riesgo de quemaduras a los operarios dando mayor seguridad de operación.

Las diferentes partes de la tostadora de ajonjolí son:

Tambor.- Es un cilindro de acero inoxidable AISI 304 adecuado para la industria de alimentos e intercambiadores de calor, el tambor al girar concéntricamente permite un tueste continuo a una temperatura adecuada.

Bastidor.- Forma un recinto cerrado en cuyo interior está montado todos los componentes de la máquina.

Cámara de combustión.- Es el espacio que rodea al tambor, por donde circula el aire caliente proveniente de los quemadores evitando al máximo las pérdidas de calor mediante un aislamiento térmico.

Sistema Motriz.- Consta de un eje donde se soporta el tambor, montado en cojinetes y accionado a través de una transmisión por un grupo motor.

Tolva de Alimentación.- es una caja en forma de tronco de pirámide o de cono invertido y abierta por debajo, la cual permite introducir el ajonjolí al tambor de una forma continua y regulable.

Sistema de Control.- Es un control digital con cuadro de mando con amplia información del proceso, siguiendo un programa seleccionado (receta) y con la posibilidad de intervención manual.

4.1 CÁLCULOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL TOSTADO POR TANDAS

Para el cálculo se toma como referencia la semilla de ajonjolí tipo “Portoviejo 2” la misma que es la más difundida en el país, se emplean los datos de volumen y peso promedio:

Volumen Promedio : Para obtener una aproximación del volumen de cada semilla de ajonjolí se considera a cada grano como un paralelepípedo truncado. En la figura 4.2 se muestra un esquema de la aproximación de la forma del ajonjolí.



Figura 4.2 Esquema de la aproximación de la forma del ajonjolí para el cálculo de su volumen (Fuente: Propia)

Se tomaron diez semillas de ajonjolí para realizar un muestreo estadístico simple de sus dimensiones (largo, ancho, profundidad) que se detallan en la figura 4.3.

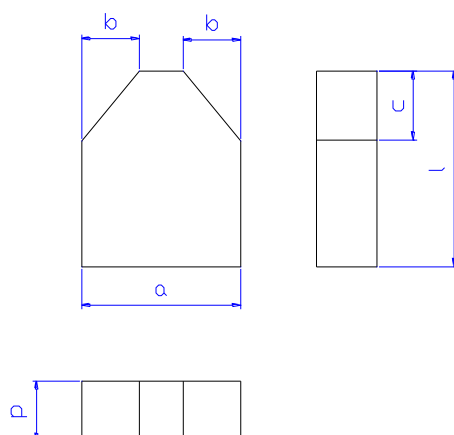


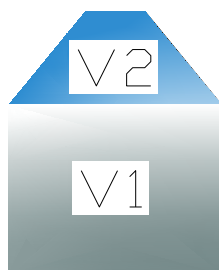
Figura 4.3 Esquema dimensiones generales del ajonjolí

Tabla 4.1 Toma de dimensiones generales a una muestra de ajonjolí "Portoviejo 2".

Ajonjolí tipo "Portoviejo 2"					
Muestra	a [mm]	b [mm]	c [mm]	l [mm]	p [mm]
1	1,96	0,48	1,08	3,28	0,8
2	2,2	0,64	0,68	2,96	1
3	2,02	0,59	0,92	3,58	0,98
4	1,82	0,37	1,1	3,36	0,96
5	1,38	0,29	0,8	3,2	0,88
6	1,98	0,7	1	3,16	0,8
7	1,6	0,37	0,78	3,1	1,18
8	2,08	0,51	1,18	3,38	0,98
9	1,78	0,39	0,78	3,6	0,98
10	1,98	0,59	0,68	2,8	0,92
Promedio	1,88	0,49	0,90	3,24	0,95

Fuente: Propia

Con estos datos se calcula el volumen promedio de cada semilla de ajonjolí:



$$V_{total} = V_1 + V_2$$

Ec. (4.1)

Donde:

$$V_{total} = \text{Volumen de una semilla de ajonjolí [m}^3\text{]}$$

$$V_1 = \text{Volumen del prisma rectangular [m}^3\text{]}$$

$$V_2 = \text{Volumen del prisma truncado [m}^3\text{]}$$

$$V_{total} = [a * (l - c) * p] + \left[\frac{(a+(a-2b))*c}{2} * p \right]$$

$$V_{total} = [1.88 * (3.24 - 0.9) * 0.95] + \left[\frac{(1.88 + (1.88 - 2 * 0.49)) * 0.9}{2} * 0.95 \right]$$

$$V_{total} = 5.37 \text{ mm}^3 = 5.37 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Peso Promedio : 2.5-3.2 g / 1000 semillas ¹²

Con los resultados anteriores se puede obtener la densidad del ajonjolí:

$$\rho_{AJONJOLI} = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde:

$\rho_{AJONJOLI}$ = Densidad de una semilla de ajonjolí [g/cm³]

m = Masa de 1000 semillas de ajonjolí [g]

V = Volumen de 1000 semillas de ajonjolí [cm³]

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{2.5 + 3.2}{2} \text{ g}}{1000 * (5.37 * 10^{-3}) \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 0.5307 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Por lo tanto el volumen para cada tanda de 20 kg es:

$$V_{TANDA} = \frac{m_{tanda}}{\rho_{ajonjoli}} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

V_{TANDA} = Volumen ocupado por cada tanda de ajonjolí [m³]

¹² Asociación Naturland, 2000

m_{tanda} = Masa de cada tanda de ajonjolí [g]

$\rho_{AJONJOLI}$ = Densidad de una semilla de ajonjolí [g/cm³]

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{20 \cdot 10^3 \text{ g}}{0.5307 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 37686.08 \text{ cm}^3 = 0.03768 \text{ m}^3$$

El volumen disponible del tambor giratorio es 0.12 m³ que corresponde al volumen de un cilindro de diámetro de 50 cm y de 60 cm de longitud.

Para un tiempo de tostado de 15 minutos por cada 20 Kg de ajonjolí y 10 minutos destinados al enfriamiento del mismo, la velocidad de tostado es:

$$v = \frac{m_{tanda}}{t_{proceso}} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde:

v = Velocidad de Tostado

m_{tanda} = Masa de cada tanda de ajonjolí [g]

$t_{proceso}$ = Tiempo de tostado y enfriado de cada tanda [h]

$$v = \frac{20 \text{ Kg}}{25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}$$

$$v = 48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Lo que sobrepasa en 8 Kg al requerimiento de diseño de la máquina.

4.2 SISTEMAS CONSTITUTIVOS DE LA TOSTADORA DE AJONJOLÍ

Para el dimensionamiento de los diferentes elementos de la tostadora de ajonjolí, se ha dividido a la máquina en los siguientes sistemas.

- Estructura.
- Sistema de calentamiento.
- Sistema de enfriamiento.
- Sistema de carga.
- Sistema Motriz.
- Sistema de Control.

A continuación se hace un estudio de cada uno de los elementos mecánicos a seleccionar o dimensionar.

4.2.1 SISTEMA DE TOSTADO DEL AJONJOLÍ

Este sistema se basa en un tambor giratorio montado sobre un eje que le transmite su movimiento, éste 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.

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.

La figura 4.4 muestra las partes del sistema de tostado.

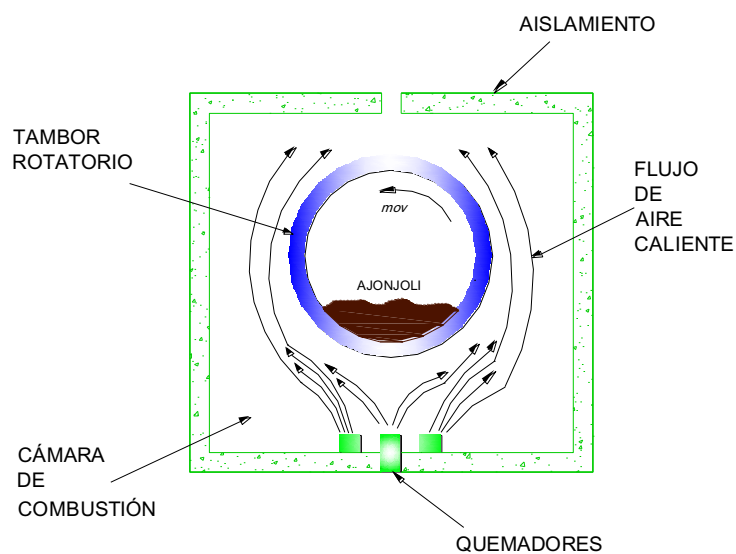


Figura 4.4 Esquema de la cámara de combustión. (Fuente: Propia)

4.2.1.1 Cilindro Tostador (Tambor)

La capacidad nominal de la tostadora es de 24 [kg] por cada 30 [min], el cilindro de tueste es de acero inoxidable AISI 304, éste va solidario a un eje motriz acoplado a un volante que le da sustentación para que el cilindro gire como se muestra en la figura 4.5.

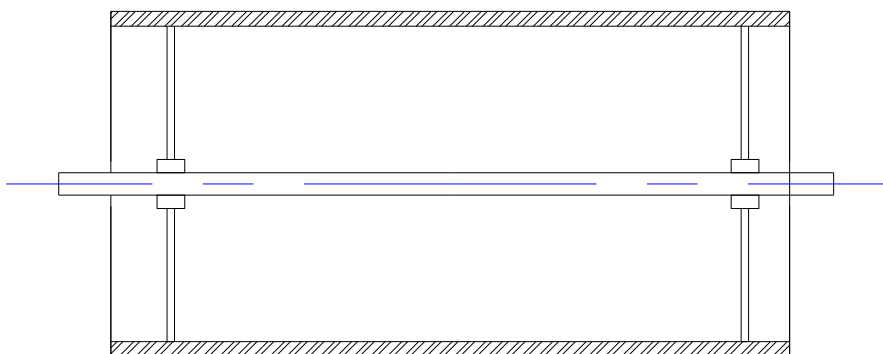


Figura 4.5 Esquema del cilindro tostador. (Fuente: Propia)

El cilindro tostador es construido a partir de un plancha de acero AISI 304, debido a que éste material es un acero inoxidable austenítico el cual facilita la transferencia de calor y es ideal para la cocción de alimentos. (Anexo E)

Las dimensiones de la cámara de tostado son determinadas por la cantidad de producto a tostar por lo que para que exista una transferencia de calor correcta es necesario que la cámara de tostado tenga un volumen superior a la tanda de 20 kg de ajonjolí.

La densidad del ajonjolí almacenado en estado flojo¹³ es 0.5307 [g/cm³]

El volumen que ocupa cada tanda de ajonjolí de 20 [kg] es igual a la relación de su masa por la densidad del ajonjolí, es decir:

$$V_{TANDA} = \frac{m_{tanda}}{\rho_{Ajonjoli}} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Donde:

$$V_{TANDA} = \text{Volumen ocupado por cada tanda de ajonjolí [m}^3\text{]}$$

$$m_{tanda} = \text{Masa de cada tanda de ajonjolí [g]}$$

$$\rho_{AJONJOLI} = \text{Densidad de una semilla de ajonjolí [g/cm}^3\text{]}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{20 \cdot 10^3 \text{ g}}{0.5307 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 37686.08 \text{ cm}^3 = 0.03768 \text{ m}^3$$

Debido a que el tostado la semilla se expande hasta un 50% de su volumen original¹⁴ entonces el V_2 sería el siguiente:

$$V_2 = V + 0.5V \quad \text{Ec. (4.6)}$$

$$V_2 = 0.057 \text{ [m}^3\text{]}$$

¹³ Determinación estadística de la densidad del ajonjolí tipo Portoviejo 2.

¹⁴ Determinación experimental del tostado óptimo de la semilla de ajonjolí.

Las semillas de ajonjolí ocupan la parte inferior del cilindro de tostado debido al giro de este entonces el volumen real es el siguiente:

$$V_{Real} = 1.6V_2 \quad \text{Ec. (4.7)}$$

$$V_{Real} = 0.0912 [m^3]$$

Realizando un proceso iterativo se determina el diámetro y la longitud más acorde con el volumen obtenido anteriormente.

Diámetro del tambor: 0.4 [m]

Longitud del tambor: 0.8 [m]

4.2.1.2 Selección del espesor del cilindro

El material empleado para la construcción de la cámara de tostado es el acero inoxidable AISI 304 cuyas propiedades mecánicas se detallan en la figura 4.6:

Number	Material	Condition	Strength (Tensile)					Strain Strength, Exponent m	Fracture Strain ϵ_f
			Yield S_y MPa (kpsi)	Ultimate S_u MPa (kpsi)	Fracture, σ_f MPa (kpsi)	Coefficient σ_a MPa (kpsi)			
1018	Steel	Annealed	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1)†	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Steel	Annealed	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130)†	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Steel	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106)†	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Steel	Q&T 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273)†	0.041	0.81	
4142	Steel	Q&T 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255)†	0.048	0.43	
303	Stainless steel	Annealed	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221)†	1410 (205)	0.51	1.16	
304	Stainless steel	Annealed	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233)†	1270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aluminum alloy	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2)†	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aluminum alloy	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3)†	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aluminum alloy	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102)†	882 (128)	0.13	0.18	

Figura 4.6 Resistencia a la tracción en algunos metales.

(Fuente: Tabla A-22, Shigley's Mechanical Engineering Design)

De la Figura 4.6 se obtiene la resistencia a la fluencia y la resistencia última a la fractura del acero AISI 304.

$$S_y = 276 \text{ MPa} = 2812.28 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ MPa} = 5793.29 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

La presión ocasionada por el ajonjolí en la pared interna del cilindro tostador es la siguiente:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde:

P : Presión que ejerce el ajonjolí sobre las paredes del cilindro tostador [kg/cm^2]

F : Peso del ajonjolí [Kg]

A : Área que abarca el ajonjolí dentro del cilindro.

$$P = \frac{20 \text{ Kg}}{712.5 \text{ cm}^2} = 0.0281 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Considerando a la cámara de tostado como un cilindro de pared delgada los esfuerzos que provoca el ajonjolí son los siguientes:

$$\sigma_{tra} = \frac{P \cdot d_i}{2 \cdot t} \quad \text{Ec. (4.9)}$$

$$\sigma_{lon} = \frac{P \cdot d_i}{4 \cdot t} \quad \text{Ec. (4.10)}$$

El espesor de la plancha de acero AISI 304 empleada para la cámara de tostado es de 2 [mm].

$$\sigma_{tra} = \frac{0.0281 \cdot 40}{2 \cdot 0.2} = 2.81 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_{lon} = \frac{0.0281 \cdot 40}{4 \cdot 0.2} = 1.41 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Se puede observar que los esfuerzos son muy bajos y el material AISI 304 de 2 [mm] de espesor sobrepasa cualquier requerimiento.

4.2.1.3 Cálculo de temperaturas, espesores y energía del sistema de tostado de Ajonjolí

Se hace un análisis de transferencia de calor por conducción unidireccional en estado estable para encontrar las temperaturas superficiales en el proceso así como también los espesores de los cilindros del sistema de tostado.

En el sistema de tostado de ajonjolí (Por tandas) 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 ajonjolí, el otro flujo es la energía que se dirige a los exteriores como calor perdido en el sistema, como se aprecia en la figura 4.7.

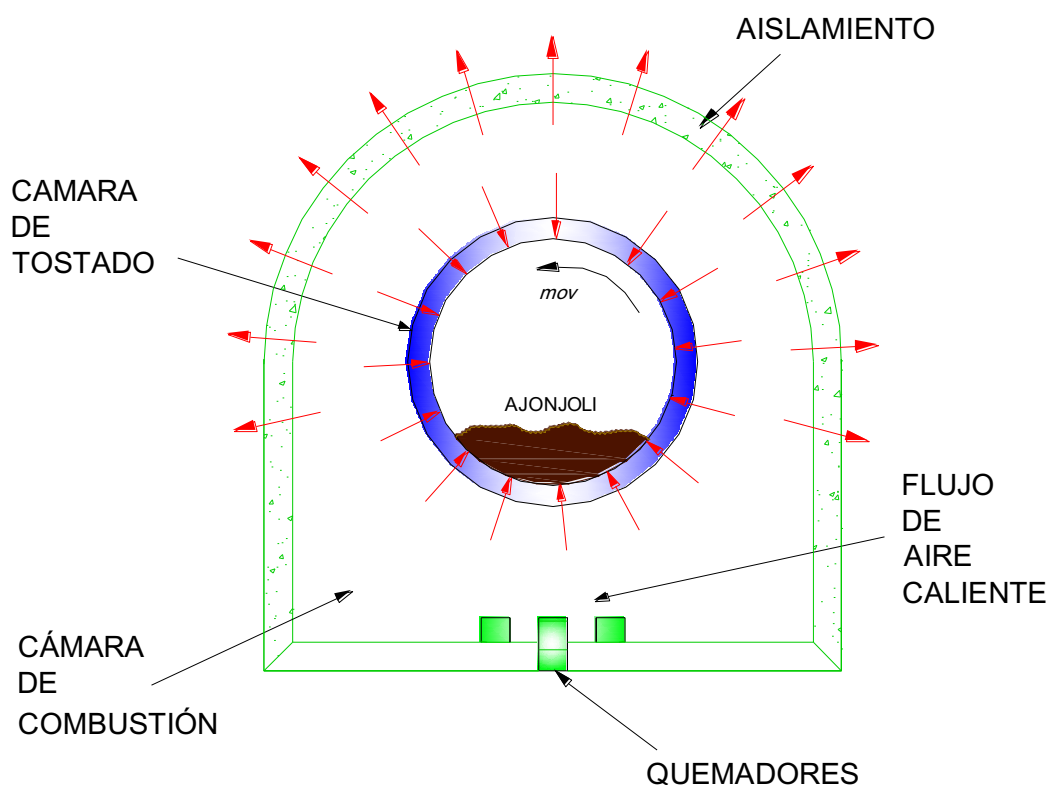


Figura 4.7 Flujos de calor en el proceso de tostado. (Fuente: Propia)

Para calcular el flujo de calor aprovechado y perdido por el sistema se utiliza la ecuación de resistencia térmica tanto para conducción y convección en cilindros¹⁵.

Resistencia térmica por convección:

$$R_{t,conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Donde:

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

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

A = Área transversal al flujo de calor, [m²]

Resistencia térmica por conducción para cilindros:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad \text{Ec. (4.12)}$$

Donde:

$R_{t,cond}$ = Resistencia térmica por conducción, [°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°C]

En la figura 4.8 se esquematiza los diferentes elementos que intervienen en el flujo de calor perdido a los alrededores.

¹⁵ Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera De Witt, cuarta edición, págs.77-93

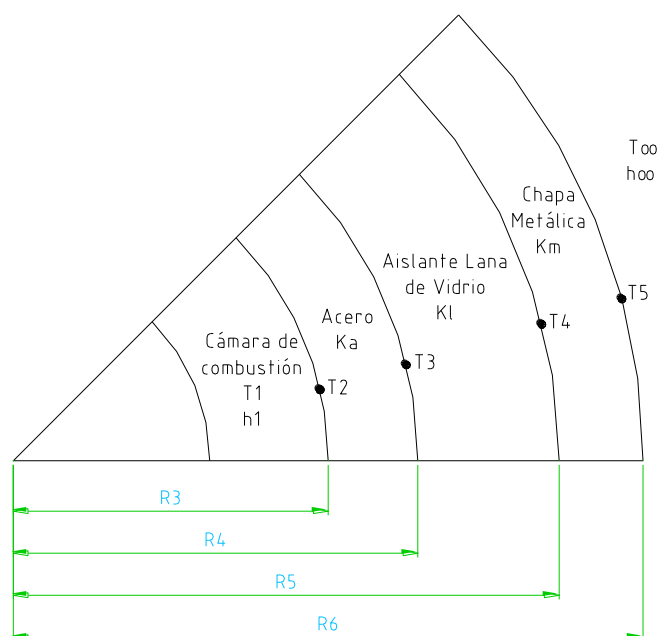


Figura 4.8 Capas externas al cilindro Tostador. (Fuente: Propia)

Para una mejor comprensión de cómo se transfiere el calor a los exteriores del cilindro tostador se esquematiza un circuito térmico, tal como se esquematiza en la figura 4.9.

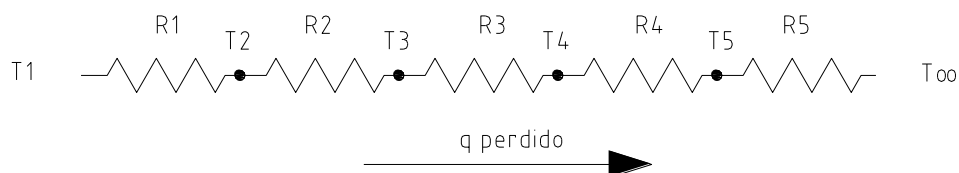


Figura 4.9 Circuito térmico del calor perdido. (Fuente: Propia)

Utilizando las ecuaciones de resistencia térmica 4.11 y 4.12 se obtiene la resistencia térmica de las pérdidas de calor:

$$R_{T,1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad \text{Ec. (4.13)}$$

$$R_{T,1} = \frac{1}{h_1 \cdot A_1} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi \cdot K_a \cdot L} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{2\pi \cdot K_l \cdot L} + \frac{\ln(r_6/r_5)}{2\pi \cdot K_m \cdot L} + \frac{1}{(h_{\infty} + h_r) \cdot A_2} \quad \text{Ec. (4.14)}$$

Donde:

A_1 : Área transversal al flujo de calor a la entrada del aislante, 1.36 [m²]

A_2 : Área transversal al flujo de calor del exterior de la chapa metálica, 1.68 [m²]

h_1 : Coeficiente de convección en la cámara de combustión, 5 [W/m²°C]¹⁶

h_{∞} : Coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente, 5 [W/m²°C]¹⁷

h_r : Coeficiente de radiación a la temperatura ambiente, 11 [W/m²°C]⁴

K_a : Conductividad térmica para acero inoxidable, 14.9 [W/m°C]¹⁸

K_l : Conductividad térmica de la lana de vidrio, 0.046 [W/m°C]¹⁹

K_m : Conductividad térmica para la chapa metálica, 60.5 [W/m°C]²⁰

r_3 : Radio interior lámina de acero inoxidable, 0.2732 [m]

r_4 : Radio exterior lámina de acero inoxidable, 0.2746 [m]

r_5 : Radio interior de la chapa metálica, 0.3746 [m]

r_6 : Radio exterior de la chapa metálica, 0.375 [m]

L : Longitud de la cámara de combustión, 1[m]

Reemplazando estos valores en la ecuación 4.14 se obtiene la resistencia $R_{T,1}$:

$$R_{T,1} = 1.26 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$$

En la figura 4.9 se esquematiza los diferentes elementos que intervienen en el flujo de calor aprovechado por la cámara de tostado.

¹⁶ Diseño y construcción de una tostadora de café, Guerrero Eduardo, EPN, 2002, Pág. 46

¹⁷ Diseño y construcción de una tostadora de café, Guerrero Eduardo, EPN, 2002, Pág. 47

¹⁸ Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 827

¹⁹ Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 834

²⁰ Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 827

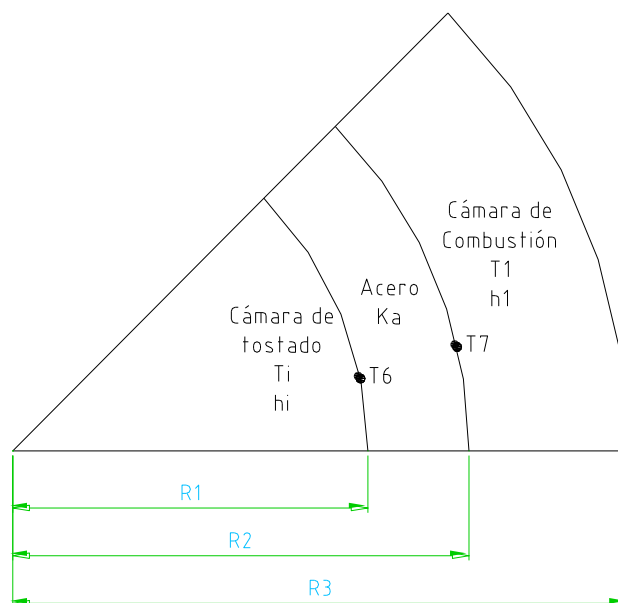


Figura 4.10 Capas internas desde la cámara de combustión. (Fuente: Propia)

Para una mejor comprensión de la transferencia de calor en la cámara de tostado se esquematiza un circuito térmico en la figura 4.11.

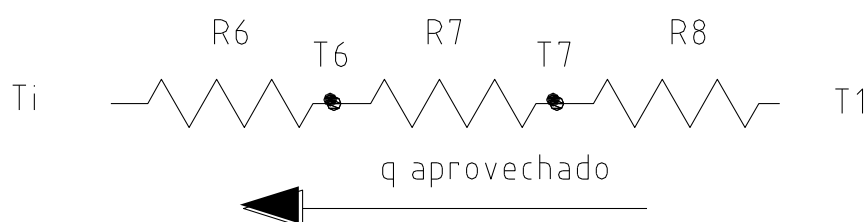


Figura 4.11 Capas internas desde la cámara de combustión. (Fuente: Propia)

Utilizando las ecuaciones de resistencias térmicas 4.11 y 4.12 se llega a la ecuación de resistencia térmica al calor aprovechado en la cámara de tostado:

$$R_{T,2} = R_6 + R_7 + R_8 \quad \text{Ec. (4.15)}$$

$$R_{T,2} = \frac{1}{h_i * A_3} + \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi * K_a * L} + \frac{1}{(h_1) * A_4} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

Donde:

A_3 : Área transversal al flujo de calor en la pared interna de la cámara de tostado, $1.26 [m^2]$

A_4 : Área transversal al flujo de calor en la pared externa de la cámara de tostado, $1.27 [m^2]$

h_i : Coeficiente de convección en la cámara de tostado, $18 [W/m^2\text{°C}]^{21}$

h_1 : Coeficiente de convección en la cámara de combustión, $5 [W/m^2\text{°C}]^{22}$

K_a : Conductividad térmica para acero inoxidable, $14.9 [W/m\text{°C}]^{23}$

r_1 : Radio interior lámina de acero inoxidable, $0.2732 [m]$

r_2 : Radio exterior lámina de acero inoxidable, $0.2746 [m]$

Reemplazando estos valores en la ecuación 4.16 se obtiene la resistencia $R_{T,2}$:

$$R_{T,2} = 0.0201 \left[\frac{\text{°C}}{W} \right]$$

Para conocer la cantidad de flujo de calor necesario para el tostado, se utiliza la ecuación 4.17:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{ter}} \quad \text{Ec. (4.17)}$$

Donde:

q : Flujo de Calor, [W]

ΔT : Variación de Temperaturas, [°C]

²¹ Diseño y construcción de una tostadora de café, Guerrero Eduardo, EPN, 2002, Pág. 46

²² Diseño y construcción de una tostadora de café, Guerrero Eduardo, EPN, 2002, Pág. 46

²³ Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 827

R_{ter} : Resistencia Térmica, [°C/W]

Para aplicar la ecuación 4.13, es necesario encontrar las diferentes temperaturas para obtener el calor aprovechado y perdido respectivamente, entonces se utiliza la ecuación 4.14 para calcular el flujo másico de ajonjolí en la tostadora:

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t} \quad \text{Ec. (4.18)}$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico de ajonjolí, [Kg/s]

m : Masa de ajonjolí a tostar en un determinado tiempo, 20 [Kg]²⁴

Δt : Variación de tiempo que tarda el ajonjolí en tostarse, 900[s]²⁵

Con estos se procede a calcular el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{20\text{Kg}}{900\text{s}} = 0.022 \text{ Kg/s}$$

Con el flujo másico y con el calor específico a presión constante del ajonjolí, se puede encontrar la cantidad de energía necesaria para tostar el ajonjolí desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de tostado de 250°C.

$$q_{aprov} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{amb}) \quad \text{Ec. (4.19)}$$

Donde:

q_{aprov} : Calor necesario para tostar el ajonjolí sin pérdidas, [W]

\dot{m} : Flujo másico del ajonjolí, 0.022 Kg/s

C_p : Calor específico a presión constante para el ajonjolí, 1.63 $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$ ²⁶

T_i : Temperatura de tostado dentro de la cámara de tostado, 250°C²⁷

²⁴ Determinación experimental del tiempo óptimo de tostado (Anexo 2)

²⁵ Determinación experimental del tiempo óptimo de tostado (Anexo 2)

²⁶ http://www.engineering toolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html

T_{amb} : Temperatura ambiente provincia de Manabí, 28°C²⁸

Al colocar estos datos en la ecuación 4.20, se obtiene:

$$q_{aprov} = 7960.92 \text{ W}$$

Este valor indica la energía que se debe suministrar al ajonjolí para que este pase de una temperatura de 28°C a 250°C y permanecer constante para que el ajonjolí se tueste uniformemente.

Con la energía necesaria para tostar el ajonjolí y la resistencia térmica al flujo de calor a la cámara de tostado, se puede encontrar la temperatura a la que se debe encontrar el cilindro de tostado aplicando la ecuación 4.13 para el flujo de calor.

$$q_{aprov} = \frac{(T_1 - T_i)}{R_{T,2}} \quad \text{Ec. (4.20)}$$

Donde:

q_{aprov} : Calor necesario para tostar el ajonjolí, 7960.92 [W]

T_1 : Temperatura de la cámara de combustión.

T_i : Temperatura de la cámara de tostado, 250°C

$R_{T,2}$: Resistencia térmica hacia la cámara de tostado, 0.0201 $\left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right]$

Al despejar la temperatura de la cámara de combustión y aplicar los valores anteriormente encontrados, se obtiene el siguiente valor:

$$T_1 = 410^\circ\text{C}$$

²⁷ Determinación experimental del tiempo óptimo de tostado (Anexo 2)

²⁸ Condiciones externas, INIAP

Obtenida la temperatura de la cámara de combustión, se puede encontrar el flujo de calor que se pierde por los alrededores aplicando la ecuación 4.17.

$$q_{perd} = \frac{(T_1 - T_{\infty})}{R_{T,1}} \quad \text{Ec. (4.21)}$$

Donde:

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

T_1 : Temperatura de la cámara de combustión, 410°C

T_{∞} : Temperatura ambiente, 28 [°C]

$R_{T,1}$: Resistencia térmica hacia el exterior, 1.26 $\left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right]$

$$q_{perd} = 303.2 \text{ [W]}$$

La suma del calor aprovechado y el calor perdido, es la energía que deben suministrar los quemadores sin considerar la eficiencia de los mismos.

$$q_{total} = q_{aprov} + q_{perd} \quad \text{Ec. (4.22)}$$

$$q_{total} = 7960.92 + 303.2 = 8264.12 \text{ [W]}$$

4.2.1.4 Selección de los quemadores

Para la máquina tostadora de ajonjolí se utilizan quemadores atmosféricos debido a que las mezclas de gas y aire se encuentran a la presión atmosférica cuando se produce la combustión, además tienen un buen control de temperatura y en el mercado ecuatoriano esta opción demuestra gran versatilidad.

Un quemador atmosférico tipo corona se compone principalmente de un inyector de gas, el cual en función de la presión de la línea de combustible y de la configuración del agujero de salida, induce el combustible y aire primario en un venturi, seguido de un

tubo circular en el cual la mezcla reactiva es distribuida en forma de corona, la mezcla sale a través de pequeños agujeros en los cuales las llamas son estabilizadas.

El proceso de inducción de aire primario acontece en función de una acción combinada de efectos difusivos y advectivos ejercidos por el combustible que sale del inyector, a presión, en el aire entorno al él. Estos efectos fluido-dinámicos dependen de las condiciones de presión, densidad del combustible y de la geometría del inyector.

La estrangulación del fluido a su paso por el venturi genera una caída de presión axial, induciendo aire al interior del quemador, después de la garganta del venturi, el fluido comienza a recuperar presión estática debido a la expansión del área de flujo, hasta un valor superior al de la presión atmosférica en un punto localizado antes de los pequeños agujeros, lo anterior permite salida de mezcla reactiva por los agujeros en los cuales se forman las llamas.

La Figura 4.12 muestra un quemador tipo corona, para aplicación industrial.

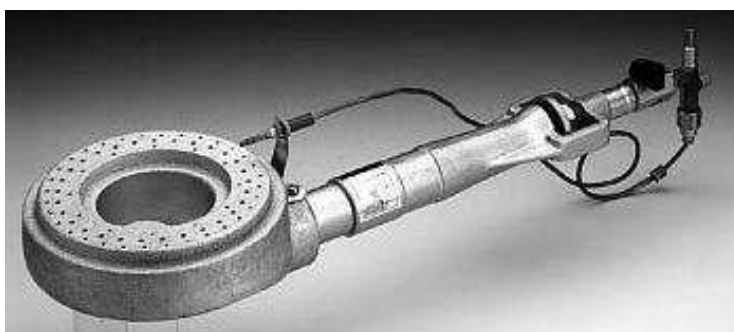


Figura 4.12 Geometría Básica de un quemador tipo corona.

(Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira²⁹)

La energía de activación se consigue mediante un ignitor que enciende la mezcla aire-combustible. La regulación de gas se obtiene por regulación de presión en el inyector. La regulación de aire (Con gas a presión constante) se puede conseguir:

²⁹Leonel Cansino, Análisis numérico de la combustión en un quemador atmosférico tipo corona de aplicación industrial, 2007.

- Variando la sección de entrada de aire, por obturación de los orificios por donde entra, mediante discos roscados, anillo móvil o capuchón deslizante.

La evacuación de los gases de la combustión se realiza por las partes laterales descubiertas de la estructura del prototipo. Lo más frecuente es que únicamente se module la válvula de gas, dejando una posición fija la entrada de aire en la puesta en marcha³⁰.

Para la tostadora de ajonjolí se debe seleccionar dos quemadores que situados en la parte inferior de la cámara de tostado proporcionen 4132.06 [W] cada uno, con un ignitor y una válvula de seguridad.

4.2.2 SISTEMA MOTRIZ DE LA CÁMARA DE TOSTADO

El sistema motriz es el encargado de dar rotación constante al cilindro de tostado para que el ajonjolí pueda deslizarse en toda la cámara en un tiempo determinado.

Este sistema motriz consta de las siguientes componentes:

- Moto reductor
- Cadenas y Catalinas
- Eje del cilindro tostador

4.2.2.1 Selección del moto reductor

El moto reductor acciona al eje motriz de la tostadora por medio de un conjunto cadena-catalina que le da la velocidad de giro adecuada para que el ajonjolí se pueda tostar de una forma uniforme en toda la extensión del cilindro.

Para la selección del moto reductor es necesario conocer la cantidad de inercia que debe vencer el motor para que se produzca momento en el cilindro de tostado.

Para conocer el momento del cilindro de tostado, se utiliza la ecuación 4.23

³⁰ PDF, Quemadores, Ricardo García San José, Ingeniero Industrial, Noviembre 2001.

$$\Sigma M = \Sigma I * \alpha \quad \text{Ec. (4.23)}$$

Donde:

M: Momento, [N*m]

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

α : Aceleración angular, [rad/s²]

La ecuación 4.24 muestra que la inercia es la sumatoria de todas las inercias de los diferentes elementos que conforman el cilindro de tostado:

$$\Sigma I = I_{eje} + I_{cil} + I_{vol} + I_{ajonjoli} \quad \text{Ec. (4.24)}$$

Donde:

I_{eje} : Inercia del eje motriz, [Kg/m²]

I_{cil} : Inercia del cilindro de tostado, [Kg/m²]

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

$I_{ajonjoli}$: Inercia de la masa de ajonjolí, [Kg/m²]

4.2.2.2 Inercia del eje motriz

Para calcular la inercia del eje de la cámara de tostado, se asume un diámetro de 1 [pulg] (25.4mm) de acero de transmisión AISI 1018.

$$I_{eje} = \frac{\pi * d_{eje}^4 * L_{eje} * \rho}{32} \quad \text{Ec. (4.25)}^{31}$$

Donde:

d_{eje} : Diámetro asumido para el eje, [25.4x10⁻³ m]

L_{eje} : Longitud del eje, 1200 [mm] = 1.2 [m]

³¹ Estática, Meriam, 2da Edición, pág. 443

ρ : Densidad acero AISI 1018, 7854 [Kg/m³]³²

Reemplazando los valores en la ecuación 4.21, se calcula la inercia del eje:

$$I_{eje} = 3.85 \times 10^{-4} \text{ [Kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

4.2.2.3 Inercia del cilindro de tostado

Para el cálculo de la inercia del cilindro de tostado se lo considera como un tubo circular, se emplea la ecuación 4.26 para encontrar la inercia:

$$I_{cil} = \frac{\pi * L * \rho_{ai} * (D_{ext}^4 - D_{int}^4)}{64} \quad \text{Ec. (4.26)}$$

Donde:

L: Longitud del cilindro tostador, 900 [mm] = 0.9 [m]

ρ_{ai} : Densidad acero inoxidable AISI 304, 7900 [Kg/m³]³³

D_{ext} : Diámetro exterior del cilindro tostador, 0.5492 [m]

D_{int} : Diámetro interno del cilindro tostador, 0.5464 [m]

Colocando estos valores en la ecuación 4.26 se obtiene la inercia del cilindro de tostado:

$$I_{cil} = 0.643 \text{ [Kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

4.2.2.4 Inercia de los volantes de la cámara de tostado

Debido a que el cilindro de tostado debe girar con el eje deben existir volantes que vayan soldados a los dos elementos.

En la figura 4.13 se esquematizan la forma del volante y sus dimensiones.

³² Fundamentos transferencia de calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 827.

³³ Fundamentos transferencia de calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 827.

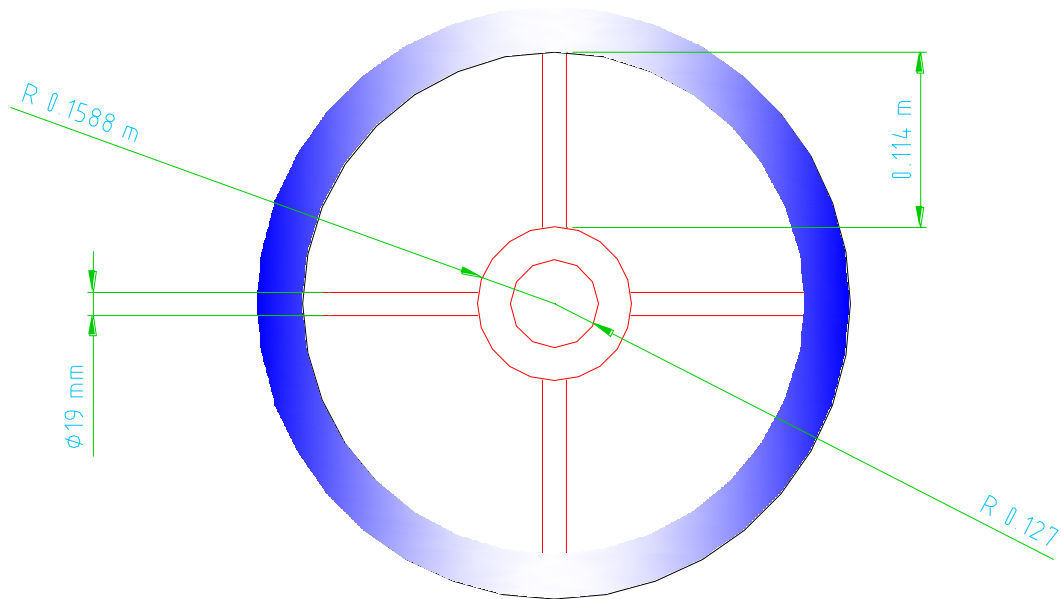


Figura 4.13 Ubicación de los volantes en la cámara de tostado.

(Fuente: Propia)

Si se coloca 2 volantes la inercia de estos sería la siguiente:

$$I_{vol} = 2(I_{hor} + I_{bar}) \quad \text{Ec. (4.27)}$$

Donde:

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

I_{bar} : Inercia de las barras, (4 por volante), $[\text{Kg}\cdot\text{m}^2]$

A cada horquilla se la considera como un cilindro regular por lo tanto la inercia de estas es:

$$I_{hor} = \frac{\pi * L_{hor} * \rho_{at} * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{64} \quad \text{Ec. (4.28)}^{34}$$

Donde:

L_{hor} : Longitud de la horquilla, 0.06 [m]

ρ_{at} : Densidad acero de transmisión AISI 1018, 7854 [Kg/ m³]³⁵

d_{ext} : Diámetro externo de la horquilla, 0.3176 [m]

d_{int} : Diámetro interno de la horquilla, 0.254 [m]

Reemplazando estos valores en la ecuación 4.28 se tiene que el valor de la inercia del elemento horquilla es:

$$I_{hor} = 0.139 \text{ [Kg} * \text{m}^2\text{]}$$

Cada horquilla consta de 4 barras solidarias al cilindro por lo que su inercia es la siguiente:

$$I_{bar} = 4 * \left(\frac{\rho_{at} * \pi * L_{bar} * d_{bar}^4}{16} + \frac{\rho_{at} * \pi * L_{bar}^3 * d_{bar}^2}{12} \right) \quad \text{Ec. (4.29)}^{36}$$

Donde:

L_{bar} : Longitud de la barra, 114 [mm] = 0.114 [m]

d_{bar} : Diámetro de la barra, 19 [mm] = 0.019 [m]

ρ_{at} : Densidad acero de transmisión AISI 1018, 7854 [Kg/ m³]

Colocando estos valores en la ecuación 4.29, se determina el valor de la inercia de las barras en una horquilla:

$$I_{bar} = 4.49 * 10^{-3} \text{ [Kg} * \text{m}^2\text{]}$$

Utilizando la ecuación 4.27 se halla de inercia de los dos volantes:

³⁴ Estática, Meriam, 2da Edición, pág. 443

³⁵ Fundamentos transferencia de calor, Incropera De Witt, Cuarta edición, pág. 827.

³⁶ Estática, Meriam, 2da Edición, pág. 443

$$I_{vol} = 2(0.139 + 4.49 * 10^{-3})[Kg * m^2]$$

$$I_{vol} = 0.287 [Kg * m^2]$$

4.2.2.5 Inercia de la masa de ajonjolí en la tostadora por tandas

El motor produce mayor potencia cuando el ajonjolí se encuentra en reposo en la parte inferior del cilindro de tostado (al inicio del giro), por tal motivo se busca encontrar el caso extremo la inercia en ésta condición de operación de la máquina. La figura 4.14 muestra un esquema de la cámara de tostado.

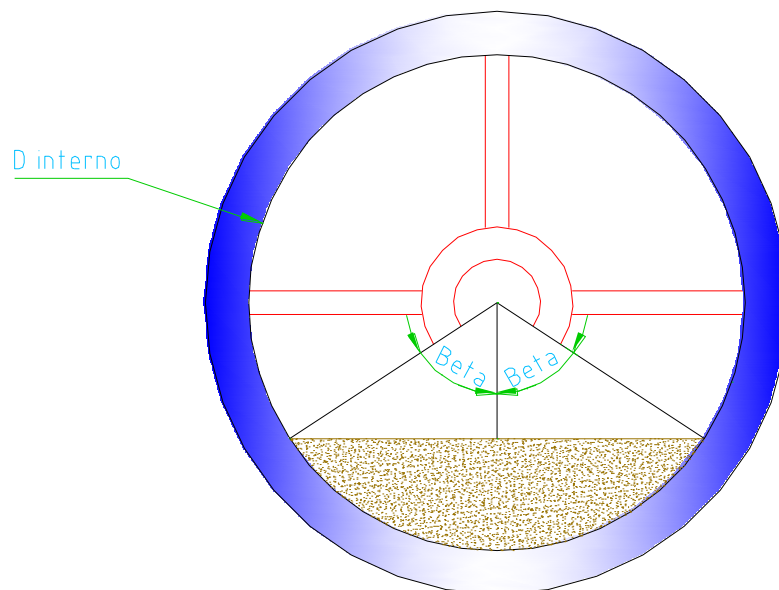


Figura 4.14 Ubicación de los volantes en la cámara de tostado. (Fuente: Propia)

Si se considera que solo el 40% del perímetro está ocupado por el ajonjolí, se obtiene la ecuación 4.30.

$$P_{per} = 0.4 * \pi * D_{int}$$

Ec. (4.30)

Donde:

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

D_{int} : Diámetro interno del cilindro de tostado, 0.55 [m]

$$P_{per} = 0.687 \text{ [m]}$$

Con el valor del perímetro que ocupa el ajonjolí, se puede encontrar el ángulo β del segmento circular.

$$2\beta = \frac{P_{per} * 360}{\pi * D_{int}} \quad \text{Ec. (4.31)}^{37}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación 4.31 se obtiene β :

$$\beta = 72.04[^\circ], 1.25 \text{ [rad]}$$

Con éste valor es posible encontrar el momento polar de inercia necesario para calcular la inercia total del ajonjolí.

$$I_p = I_x + I_y \quad \text{Ec. (4.32)}^{38}$$

Donde:

$$I_x = \frac{r^4}{4} (\beta - \text{sen } \beta * \cos \beta + \text{sen}^3 \beta * \cos \beta) \quad \text{Ec. (4.32.1)}^{39}$$

$$I_y = \frac{r^4}{12} (3\beta - 3\text{sen } \beta * \cos \beta - 2\text{sen}^3 \beta * \cos \beta) \quad \text{Ec. (4.32.2)}^{40}$$

$$r = \frac{D_{int}}{2} \quad \text{Ec. (4.33)}$$

Con la resolución de las ecuaciones 4.33, 4.32.1, 4.32.2 y reemplazando en la ecuación 4.32 se obtiene el momento polar de inercia del segmento de área que ocupa el ajonjolí:

³⁷ Tablas de la industria metalúrgica, Hermann Jutz, gtz, pág. 41

³⁸ Mecánica de materiales, Gere J., Apéndice C, pág. 760.

³⁹ Mecánica de materiales, Gere J., Apéndice C, pág. 778.

⁴⁰ Mecánica de materiales, Gere J., Apéndice C, pág. 778.

$$I_p = 2.77 \times 10^{-3} [m^4]$$

Obtenido el momento polar de inercia, se procede a encontrar la inercia del ajonjolí con la siguiente ecuación:

$$I_{ajon} = \rho_{ajon} * L * I_p \quad \text{Ec. (4.34)}$$

Donde:

ρ_{ajon} : Densidad del ajonjolí, $0.5307 [g/cm^3] = 530.7 [Kg/m^3]$

L : Longitud del cilindro de tostado, $0.9 [m]$

I_p : Momento polar de inercia del área que ocupa el ajonjolí, $2.77 \times 10^{-3} [m^4]$

$$I_{ajon} = 1.32 [Kg * m^2]$$

Aplicando la ecuación 4.20 tenemos:

$$\Sigma I = (3.85 \times 10^{-4} + 0.643 + 0.287 + 1.32) [Kg * m^2]$$

$$\Sigma I = 2.25 [Kg * m^2]$$

Por medio de la experimentación y observación del tueste de ajonjolí se determina que ocurren momentos de torsión opuestos al del motor, debido a que cuando el grano alcanza un ángulo crítico de aproximadamente 60° , empieza a deslizarse, por lo que en ese instante el centro de gravedad se desplaza del eje del cilindro. Estos momentos opuestos se determinan mediante la ecuación 4.35.

$$M_o = m * g * r_{int} \quad \text{Ec. (4.35)}$$

Donde:

m : Masa del ajonjolí, $20 [Kg]$

g : Aceleración de la gravedad, $9.8 [m/s^2]$

r_{int} : Radio interno del cilindro de tostado, $0.27 [m]$

$$M_o = 52.92 \text{ [Nm]}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 4.23 se obtiene el momento torsor:

$$M_T - M_o = \Sigma I * \alpha \quad \text{Ec. (4.36)}$$

Donde:

M_T : Momento de torsión que realiza el motor al eje, [Nm]

M_o : Momento opuesto a causa del deslizamiento del ajonjolí, 52.92 [Nm]

ΣI : Sumatoria de las Inercias de todas las masas, 2.25 [Kgm²]

α : Aceleración angular, 0.84 [rad/s²]⁴¹

$$M_T = 54.81 \text{ [Nm]}$$

Se calcula la potencia del motor con la ecuación 4.33.

$$P_{pot} = M_T * n_2 \quad \text{Ec. (4.37)}$$

Donde:

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

M_T : Momento de torsión, 54.81 [Nm]

n_2 : Velocidad angular de la cámara de tueste, 0.84 [rad/s]

$$P_{pot} = 55.65 \text{ [W]} = 0.08 \text{ HP}$$

Se selecciona un motor de 0.5 HP debido a que éste es de mínima capacidad en el mercado local.

⁴¹ Tostadora Continua de Cebada, EPN, Lozada Luis, 2009

4.2.2.6 Selección de Catalinas y Cadenas

Se inicia con el cálculo de la potencia de diseño, que se la determina multiplicando la potencia del motor por un factor de servicio para considerar las variaciones en las catalinas impulsora e impulsada.

$$P^* = K_S * P_{pot} \quad \text{Ec. (4.38)}$$

Donde:

P^* : Potencia de Diseño, [HP]

K_S : Factor de servicio dimensional, 1.3 ⁴²

$P_{pot} = 0.65$ [HP]

De la normalización ANSI en lo relativo a tamaños de cadenas de rodillos, se escoge la siguiente:

ANSI Chain Number	Pitch, in (mm)	Width, in (mm)	Minimum Tensile Strength, lbf (N)	Average Weight, lbf/ft (N/m)	Roller Diameter, in (mm)	Multiple-Strand Spacing, in (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)

Figura 4.15 Dimensiones de cadenas de rodillos estándar – Un solo cordón.

(Fuente: Tabla 17-19, Shigley's Mechanical Engineering Design)

⁴² Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 6ta edición, elementos mecánicos flexibles, pág. 822

De la figura 4.15 se escoge el número 60 de cadena, para una velocidad de la rueda de 50 rpm, se determina la potencia nominal (en HP) de la cadena de rodillos paso simple.

Sprocket Speed, rev/min	ANSI Chain Number					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30

Figura 4.16 Capacidad o Potencia nominal de cadenas de rodillos paso simple.

(Fuente: Tabla 17-20, Shigley's Mechanical Engineering Design)

De la figura 4.16 se determina la potencia nominal para la cadena numero 60:

$$P_{nom} = 1.24 [HP]$$

A la potencia nominal corregida se multiplica por dos factores, para la obtener la potencia nominal totalmente corregida necesaria para contrarrestar efectos por cargas de choque o inversiones de carga frecuentes.

$$P^{**} = K_1 * K_2 * P_{nom} \quad \text{Ec. (4.39)}$$

Donde:

P^{**} : Potencia nominal totalmente corregida, [HP]

K_1 : Factor de corrección para el numero de dientes, (considerar catalina motriz 11 dientes), 0.53^{43}

K_2 : Factor para cadenas de cordones múltiples, 1^{44}

P_{nom} : Potencia nominal corregida, 1.24 [HP]

$$P^{**} = 0.68 [HP]$$

⁴³ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 6ta edición, tabla 17-12, elementos flexibles.

⁴⁴ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 6ta edición, tabla 17-13, elementos flexibles.

Con la potencia de diseño y la potencia nominal corregida se obtiene el factor de seguridad:

$$n = \frac{P^{**}}{P^*} \quad \text{Ec. (4.40)}$$

$$n = \frac{P^{**}}{P^*} = \frac{0,68}{0,65} = 1,05$$

Este factor de seguridad es satisfactorio debido a que el sistema de transmisión no involucra riesgo para la vida humana.

Con la ecuación 4.41 se determina el número de dientes para la catalina conducida.

$$n_1 * N_1 = n_2 * N_2 \quad \text{Ec. (4.41)}^{45}$$

Donde:

n_1 : Velocidad angular de la catalina motriz, 28 [rpm]⁴⁶

N_1 : Número de dientes de la catalina motriz, 11.

n_2 : Velocidad angular de la catalina conducida, 8 [rpm]⁴⁷

N_2 : Número de dientes de la catalina conducida.

Considerando los datos anteriores se halla el número de dientes de la catalina conducida:

$$N_2 = 39$$

Con la ecuación 4.42 es posible calcular los diámetros de las dos catalinas motriz y conducida:

$$D_{cat} = \frac{p}{\text{sen}(180/N)} \quad \text{Ec. (4.42)}^{48}$$

⁴⁵ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 6ta edición, pág. 820

⁴⁶ Especificación del moto reductor

⁴⁷ Handbook of Industry Drying; Mujumdar Arun, MarcelDekker Inc. New York, 1995, pág. 171-175.

⁴⁸ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 6ta edición, elementos mecánicos flexibles, pág. 815

Donde:

D_{cat} : Diámetro de la catalina, [pulg]

p : Paso de la cadena, 19.05 [mm] = 0.75 [pulg]

N : Número de dientes de las catalinas, motriz=11, conducida=39

Diámetro de la catalina motriz:

$$D_{cat1} = 67.62 [mm] \approx 2 \frac{3}{4} [pulg]$$

Diámetro de la catalina conducida:

$$D_{cat2} = 236.74 [mm] \approx 9 \frac{3}{8} [pulg]$$

La longitud requerida de cadena de paso simple y de un solo cordón se determina con:

$$\frac{L_{cad}}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2(C/p)} \quad \text{Ec. (4.43)}^{49}$$

Donde:

L_{cad} : Longitud de la cadena, [pulg]

p : Paso de la cadena, 19.05 [mm] = 0.75 [pulg]

N_2 : Número de dientes de la catalina conducida, 39.

N_1 : Número de dientes de la catalina motriz, 11.

C : Distancia entre centros, 762 [mm]= 30 [pulg]

$$L_{cad} = 106 \text{ pasos}$$

Encontrados todos estos valores, la cadena y catalinas tienen las siguientes especificaciones:

⁴⁹ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 6ta edición, elementos mecánicos flexibles, pág. 825

Número ANSI de cadena 60, un solo cordón.

Paso, 19.05 [mm] = 0.75 [pulg]

Longitud, 2019.3 [mm]= 79.5 [pulg]

Tipo A: Lubricación manual o por goteo.

Catalina Motriz: 11 dientes, diámetro de 67.62 [mm]=2 $\frac{3}{4}$ [pulg]

Catalina conducida: 39 dientes, diámetro de 236.74 [mm]= 9 $\frac{3}{8}$ [pulg].

4.2.2.7 Dimensionamiento del eje de transmisión del cilindro de tostado

El eje de transmisión es el elemento rotatorio que se emplea para transmitir la potencia o movimiento proveniente del motor, en el caso del eje de transmisión del cilindro de tostado debe ser capaz de soportar un par de torsión o de estar diseñado para que falle si el par de torsión excede ciertos límites de operación aceptables, con lo que se protege a componentes más caros.

En el sistema de transmisión de potencia, el par de torsión es relativamente constante en un estado de operación estable por lo tanto el esfuerzo de corte debido a la torsión será mayor en las superficies exteriores del eje de transmisión.

En una primera instancia se realiza un estudio de las condiciones estáticas del elemento con el objeto de tomar decisiones acerca del material, tratamiento térmico, fabricación y geometría para que satisfaga los requerimientos de funcionalidad, seguridad y confiabilidad, utilizando la teoría de falla más acorde con su estado de cargas.

4.2.2.7.1 Diseño estático del eje de la catalina conducida

En este caso el eje está sometido a torsión constante y a flexión, es necesario realizar diagramas de fuerza cortante y momento flector para determinar las secciones críticas en el eje de transmisión.

Para ello en la figura 4.17 se realiza un diagrama de cuerpo libre del eje para conocer los parámetros de estudio para encontrar el máximo momento flector.

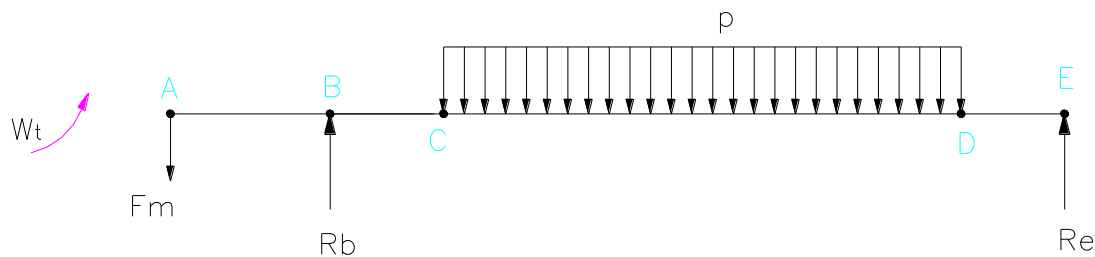


Figura 4.17 Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión. (Fuente: Propia)

Donde:

R_b : Carga sobre el rodamiento B, [N]

R_e : Carga sobre el rodamiento E, [N]

W_t : Momento torsor, [N-m]

F_m : Tensión transmitida por la cadena, [N]

p : Peso del cilindro de tostado y del ajonjolí distribuido por unidad de longitud, [N/m]

AB: Distancia entre la catalina conducida y el rodamiento B, 0.2 [m].

BC: Distancia entre el rodamiento B y el cilindro de tostado, 0.1 [m].

CD: Longitud del cilindro de tostado, 0.8 [m].

DE: Distancia entre el cilindro de tueste y el rodamiento E, 0.1 [m].

Se determina es valor de la carga distribuida con la ecuación 4.44.

$$p = \rho_{ajonjoli} * A_{cil} + \frac{P_{ajonjoli}}{L} \quad \text{Ec. (4.44)}$$

Donde:

ρ_{ajon} : Densidad del ajonjolí, $0.5307 \text{ [g/cm}^3\text{]} = 530.7 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

A_{cil} : Área transversal del cilindro de tostado, $0.0024 \text{ [m}^2\text{]}$

$P_{ajonjoli}$: Peso del ajonjolí, 20 [Kg]

L: Longitud del cilindro de tostado, 0.8 [m]

$$p = 26.27 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right] = 257.48 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Para hallar el momento torsor constante que soporta el eje, se lo recalcula de la ecuación para encontrar la potencia del motor Ec. (4.37)

$$W_t = \frac{P_{pot}}{n_2} = \frac{0.5 * 0.00134}{0.84} = 443.87 \text{ [N - m]}$$

La tensión F_m es perpendicular al eje del cilindro y su valor se determina por la ecuación 4.45.

$$F_m = \frac{W_t}{D_{p,2}/2} \quad \text{Ec. (4.45)}$$

Donde:

F_m : Tensión transmitida por la cadena, [N]

W_t : Momento torsor, 443.87 [N-m]

$D_{p,2}$: Diámetro de la catalina conducida, $236.74 \text{ [mm]} = 0.236 \text{ [m]}$

$$F_m = 3761.61 \text{ [N]}$$

Una vez encontradas todas las cargas que actúan sobre el eje, se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos para encontrar las reacciones en los puntos B y E.

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_m + R_b + R_e - p * L = 0$$

$$R_b + R_e = 3967.6 \text{ [N]} \quad \text{Ec. (4.46)}$$

$$\sum M_E = 0$$

$$(P_t * 0.8 * 0.5) - (R_b * 1) + (F_m * 1.2) = 0$$

$$R_b = 4616.92 \text{ [N]}$$

Reemplazando en la ecuación 4.46, se obtiene:

$$R_e = -649.33 \text{ [N]}$$

Al analizar el eje por tramos, se encuentra la ecuación para la fuerza cortante:

$$V = R_b(x - 0.2)^0 - R_e(x - 1.2)^0 - F_m(x)^0 - p(x - 0.3)^1 + p(x - 1.1)^1 \quad \text{Ec. (4.47)}$$

Con ésta ecuación se obtiene el diagrama de fuerza cortante en el eje, tal como se ilustra en la figura 4.18

V)

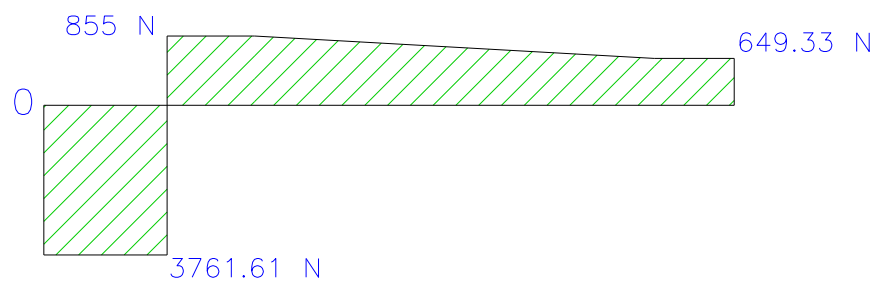


Figura 4.18 Diagrama de fuerza cortante del eje.

Al analizar el eje por tramos se obtiene la ecuación para el momento flector.

$$M = R_b(x - 0.2)^1 - R_e(x - 1.2)^1 - F_m(x)^1 - p(x - 0.3)^2 + p(x - 1.1)^2 \quad \text{Ec. (4.48)}$$

Con ésta ecuación se obtiene el diagrama de momento flector en el eje, tal como se ilustra en la figura 4.19

M)

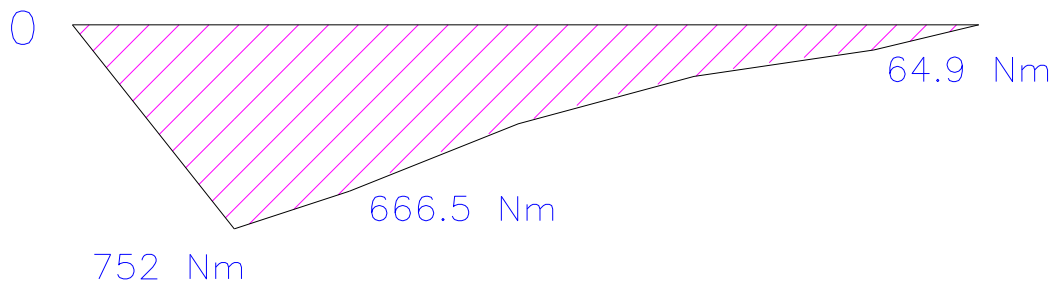


Figura 4.19 Diagrama del momento flector del eje.

En base al estado de cargas del eje se muestra los diagramas de fuerza cortante, momento flector y momento torsor con la finalidad de determinar las secciones críticas del eje.

La figura 4.20 muestra los diagramas de fuerza cortante, momento flector y momento torsor del eje de transmisión de la tostadora.

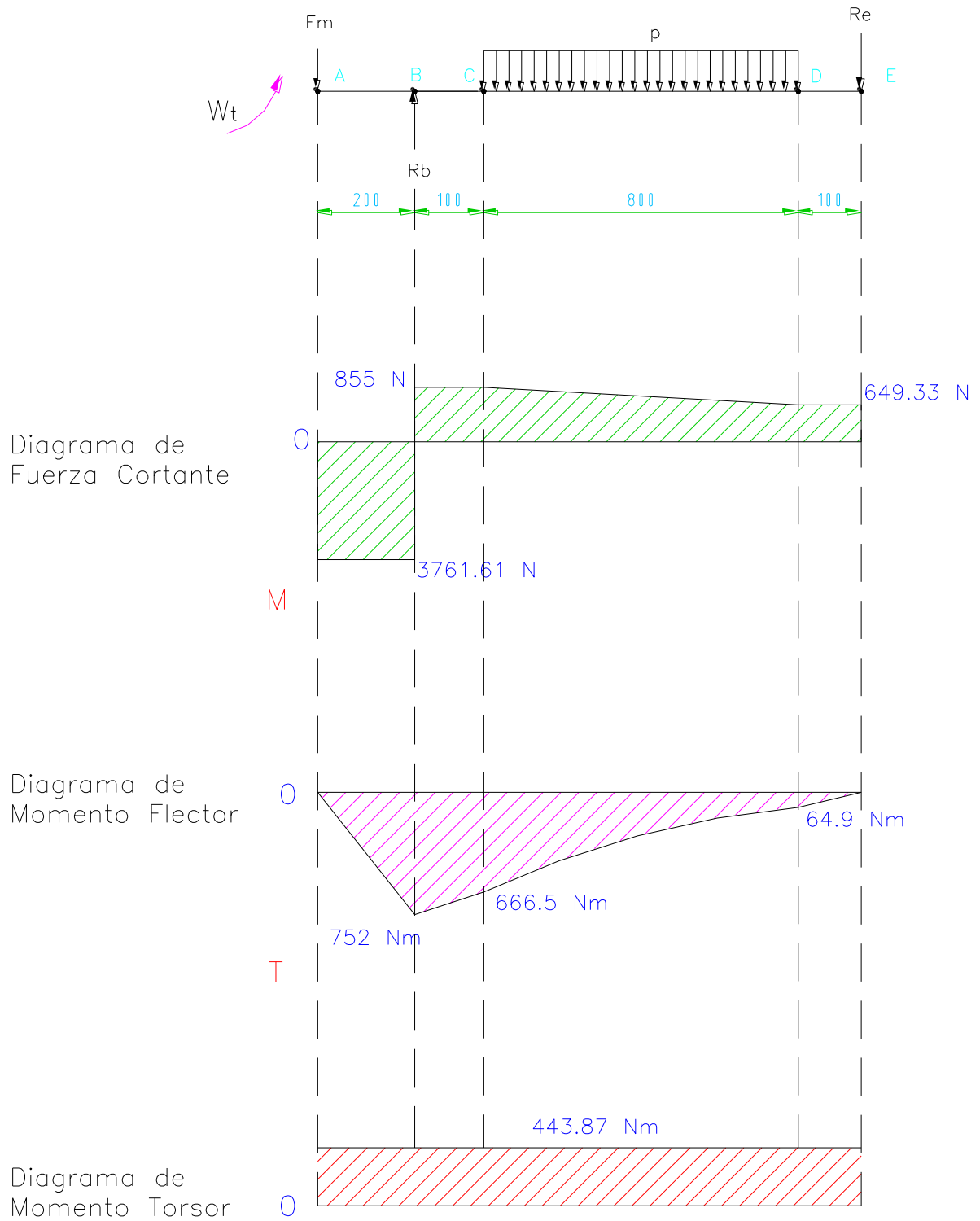


Figura 4.20 Diagrama de fuerza cortante, momento flector y momento torsor del eje.

Se concluye que la sección B-B es la zona más crítica del eje debido a que soporta el mayor momento flexionante, por lo que se pasa al diseño con las solicitaciones a las que está sometido este punto.

Para determinar el punto crítico se necesita graficar los esfuerzos a los que está sometida la sección B-B, en la figura 4.21 se observa esto.

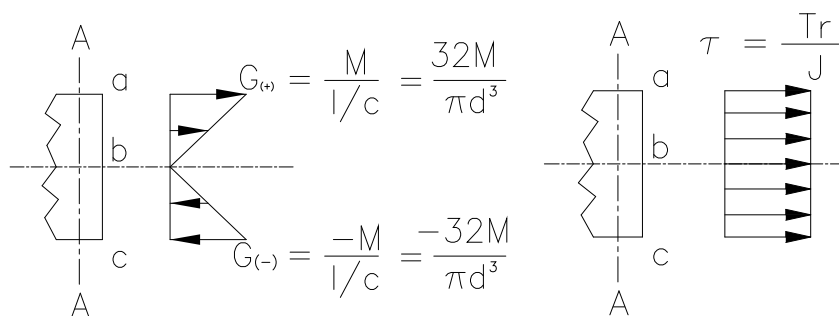


Figura 4.21 Esfuerzos aplicados en la sección crítica. (Fuente: Propia)

Existen tres puntos en la sección crítica B-B: a, b y c. Como un elemento soporta más compresión que tensión, se concluye que el punto crítico es “a”. Los esfuerzos aplicados a cada punto se aprecian en la figura 4.22

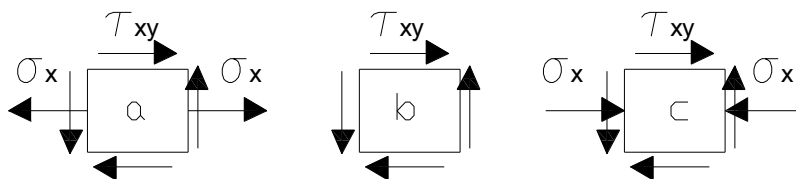


Figura 4.22 Esfuerzos a los que se someten los puntos críticos de la sección B-B.

(Fuente: Propia)

Para el diseño del eje se emplean las siguientes ecuaciones, las mismas que determinan los esfuerzos de tensión, compresión y corte:

$$\sigma_{(+)} = \frac{M}{I/c} \quad \text{Ec. (4.49)}$$

$$\sigma_{(-)} = -\frac{M}{I/c} \quad \text{Ec. (4.50)}$$

$$\tau = \frac{T*d}{2J} \quad \text{Ec. (4.51)}$$

Para un eje de sección transversal circular se tiene:

$$I = \frac{\pi*d^4}{64} \quad \text{Ec. (4.52)}$$

$$c = \frac{d}{2} \quad \text{Ec. (4.53)}$$

Donde:

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

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

M : Momento flector máximo, 752 [N-m]

I : Inercia con respecto al eje horizontal de la sección crítica

c : Distancia del eje neutro a la fibra externa del material

T : Momento de torsión, 443.87 [N-m]

J : Momento polar de inercia del área transversal.

d : Diámetro del eje, [m]

El eje está sometido a flexión mono axial y a torsión. Por lo que la ecuación de los esfuerzos principales queda determinada de la siguiente forma:

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (4.54)}$$

Donde:

$$\sigma_x = \frac{M}{I/c} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad \tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{Ec. (4.55)}$$

Reemplazando los valores de σ_x y τ_{xy} en la ecuación 4.54, se determinan los esfuerzos principales.

$$\sigma_{A,B} = \frac{3830}{d^3} \pm \frac{4187.9}{d^3}$$

$$\sigma_A = \frac{8018}{d^3} = \sigma_1 \quad \text{Ec. (4.56)}$$

$$\sigma_B = -\frac{357.9}{d^3} = \sigma_3 \quad \text{Ec. (4.57)}$$

La teoría de falla a utilizar es la teoría de la energía de la distorsión, ya que el material es dúctil. De la figura 4.23 se deducen las ecuaciones 4.56 y 4.57.

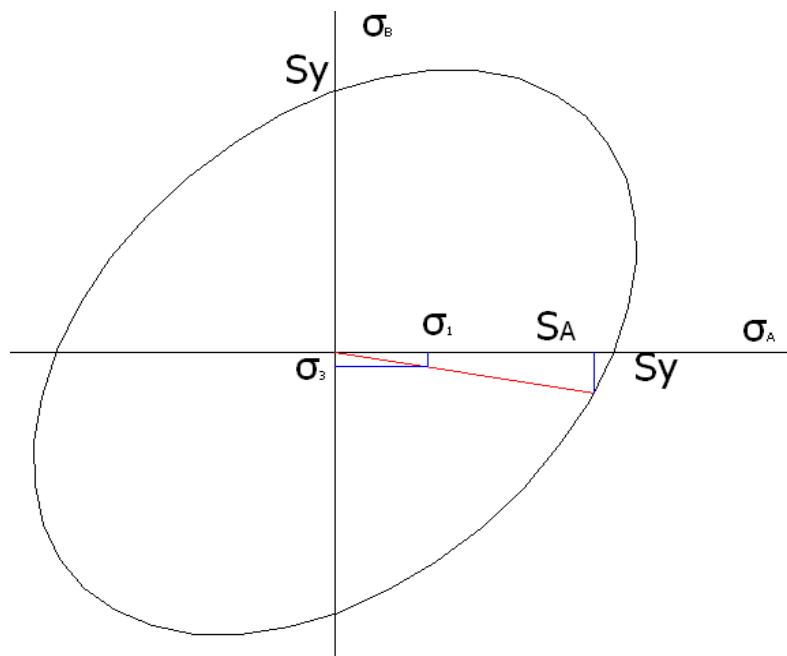


Figura 4.23 Teoría de la Energía de la Distorsión.

(Fuente: Propia)

De la ecuación de la elipse de la teoría de la energía de la distorsión se tiene:

$$S_y^2 = S_B^2 - S_A S_B + S_A^2 \quad \text{Ec. (4.58)}$$

La ecuación de la recta en el cuarto cuadrante es:

$$S_B = -\frac{\sigma_3}{\sigma_1} S_A \quad \text{Ec. (4.59)}$$

$$S_B = -\frac{357.9}{8018} S_A = -0.0446 S_A$$

Reemplazando éste valor en la ecuación 4.58, tenemos:

$$S_y^2 = (-0.0446 S_A)^2 - S_A(0.0446 S_A) + S_A^2 \quad \text{Ec. (4.60)}$$

Se selecciona el acero AISI 1018 HR cuyas propiedades⁵⁰ son:

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

Como S_y es conocido se puede obtener S_A , reemplazando este valor en la ecuación 4.56 y despejando S_A :

$$S_A = \sqrt{\frac{(220 \times 10^6)^2}{0.0446^2 + 0.0446 + 1}} = 2.1505 \times 10^8 \quad \text{Ec. (4.61)}$$

Como la falla del eje de transmisión en la máquina tostadora de ajonjolí no involucra pérdidas humanas, entonces como condición de diseño se asume un factor de seguridad de 1.2, de lo anterior se tiene:

$$n = \frac{S_A}{\sigma_A} = 1.2 \quad \text{Ec. (4.62)}$$

Reemplazando las ecuaciones 4.61 y 4.56 en la ecuación 4.62:

$$1.2 = \frac{2.1505 \times 10^8}{\frac{8018}{d^3}} \Rightarrow d = 0.036 \text{ [m]} = 36 \text{ [mm]}$$

⁵⁰ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Tabla A-20, pág. 1020

El diámetro para el eje de transmisión bajo estas condiciones es de 36mm, para disminuir la cantidad de material a maquinar se debe escoger un diámetro normalizado próximo y mayor que exista en el mercado local.

4.2.2.7.2 Diseño Dinámico del eje de la Catalina Conducida

Es necesario realizar el diseño dinámico, porque las cargas aplicadas sobre el eje varían con el tiempo.

Para el diseño dinámico se considera la variación en el tiempo de las cargas aplicadas, esto se puede observar en la figura 4.24

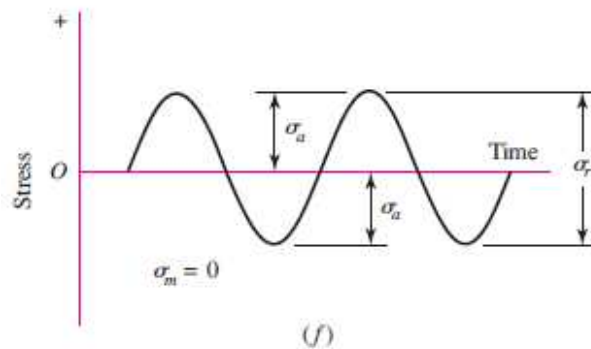


Figura 4.24 Diagrama de Variación de Esfuerzos en el tiempo.

(Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley, 8va ed., pág. 296).

En el diseño estático se determina un diámetro de 36 mm, pero debido a que el factor de seguridad por diseño dinámico es muy pequeño, se asume un diámetro de 38 mm para obtener resultados conservadores.

De la figura 4.18 se tiene:

$$M=752 \text{ Nm}$$

$$T= 443.87 \text{ Nm}$$

Para el cálculo de los esfuerzos se aplican las ecuaciones 4.49 y 4.51:

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

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

De la figura 4.22 se determina:

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

σ_{xm} : Esfuerzo medio en la dirección x

τ_{xya} : Esfuerzo cortante alternante en la dirección x

τ_{xym} : Esfuerzo cortante medio en la dirección x

Por la presencia de esfuerzos cortantes se debe determinar esfuerzos equivalentes, ecuación 4.63.

$$\sigma_{equivalente}' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (4.63)}^{51}$$

Aplicando la ecuación 4.63 para esfuerzos alternantes y medios se obtienen:

$$\sigma_a' = \sigma_{xa} \quad \text{Ec. (4.64)}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3 * \tau_{xym}^2} \quad \text{Ec. (4.65)}$$

M= 752 Nm

Reemplazando los valores en las ecuaciones se establece:

$$\sigma_{xa} = 1.4 \times 10^8 Pa$$

$$\tau_{xym} = 41.2 \times 10^6 Pa$$

$$\sigma_a' = 1.4 \times 10^8 Pa$$

⁵¹ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Ecuación 6.55, pág. 310

$$\sigma_m' = 71.36 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Para el acero AISI 1018 HR

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

Ahora se precede a realizar el diseño del eje por resistencia a la fatiga. Para encontrar el límite a la fatiga del eje, se utiliza la ecuación 4.66

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e' \quad \text{Ec. (4.66)}^{52}$$

Donde:

S_e : Límite de Resistencia a la fatiga del eje.

K_a : Factor de superficie.

K_b : Factor de tamaño.

K_c : Factor de confiabilidad.

K_d : Factor de temperatura.

K_e : Factor de modificación por concentración de esfuerzo.

K_f : Factor de efectos diversos.

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

Para determinar el límite de resistencia a la fatiga de una probeta de acero AISI 1018 HR se ocupa la siguiente fórmula:

$$S_e' = 0.5 S_{ut} \quad \text{Ec. (4.67)}^{53}$$

$$S_e' = 200 \text{ MPa}$$

⁵² Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Ecuación 6.18, pág. 279

⁵³ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Ecuación 6.8, pág. 274

Para determinar el valor del coeficiente de superficie se ha puesto una superficie maquinada⁵⁴:

$$K_a = aSut^b = 4.51 * 200^{-0.265} = 0.92 \quad \text{Ec. (4.68)}$$

El coeficiente de efecto de tamaño se determina según la siguiente ecuación⁵⁵:

$$K_b = 0.879d^{-0.107} = 0.879(38/25.4)^{-0.107} = 0.84 \quad \text{Ec. (4.69)}$$

Para el problema se asume una confiabilidad⁵⁶ del 99%:

$$K_c = 0.814$$

La temperatura máxima a la que trabaja el eje es de 250°C por lo que el factor de temperatura es:

$$K_d = \frac{S_T}{S_{RT}} = 1$$

Para considerar los efectos de concentración de esfuerzos se ocupara las siguientes fórmulas:

$$K_e = \frac{1}{k_f} \quad \text{Ec. (4.70)}$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \text{Ec. (4.71)}^{57}$$

Donde:

k_f : Factor para incrementar el esfuerzo.

q : Sensibilidad a la ranura, asumida e igual a 1

k_t : Factor teórico de concentración de esfuerzo, 1.2 (Según la Figura A-15-10 del libro de Shigley, para un factor de $d/D=10/38$)⁵⁸.

⁵⁴ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Tabla 6-2, pág. 280

⁵⁵ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Ecuación 6-20, pág. 283

⁵⁶ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Tabla 6-5, pág. 285

⁵⁷ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Ecuación 6-32, pág. 287

Al sustituir estos valores, se obtiene el factor por concentración de esfuerzos:

$$K_e = 0.83$$

Para determinar el valor de los factores diversos se toma en cuenta la corrosión, pero debido a que el periodo de vida de la máquina y la magnitud de los esfuerzos a los que se encuentran sometidos los elementos son pequeños, se considera:

$$K_f = 1$$

Colocando estos valores en la ecuación 4.66, se calcula en límite a la resistencia por fatiga.

$$S_e = (0.92 * 0.84 * 0.814 * 1 * 0.83 * 1 * 200) MPa$$

$$S_e = 104.42 MPa$$

Puesto que $\sigma_a' < S_e$, se puede emplear la figura 4.25 para determinar el factor de seguridad.

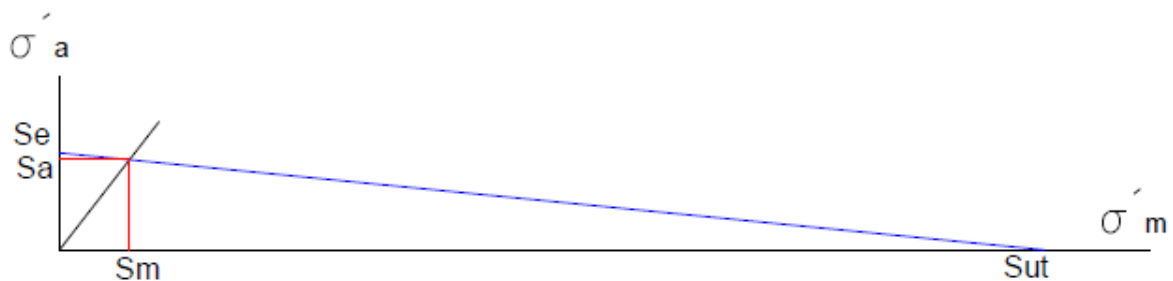


Figura 4.25 Diagrama de fatiga trazado con los valores de resistencia. (Fuente: Propia)

En la figura 4.25 se obtiene un punto de intersección, que tiene por coordenadas S_a y S_m que son las resistencias del material.

Como se observa que $S_a < S_e$ el diseño es a vida infinita.

De la gráfica se determina la ecuación:

⁵⁸ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Ápice Figura A-15-10, pág. 1009

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{S_e + \sigma_a'}{S_{ut} + \sigma_m'}} \quad \text{Ec. (4.72)}$$

$$S_m = \frac{104.42}{\frac{104.42}{400} + \frac{140}{71.36}} = 86.97 \text{ MPa}$$

Para determinar el factor de seguridad se emplea la ecuación 4.73.

$$n = \frac{S_m}{\sigma_m'} \quad \text{Ec. (4.73)}$$

$$n = \frac{86.97}{71.36} = 1.22$$

Lo que indica que el eje debe tener un diámetro ligeramente mayor a 38 mm para que esta sección no falle por fatiga.

4.2.2.8 Dimensionamiento de la lengüeta

Para la transmisión del par de torsión entre la catalina conducida – eje del cilindro tostador, se utiliza una lengüeta que garantice la conservación del par de giro del motor hacia el cilindro giratorio dentro de la tostadora y también posicione axialmente a la catalina.

Las chavetas y lengüetas vienen en tamaños estándar para el grosor, la altura y la profundidad de la cuña según la norma DIN 6886⁵⁹ y se los selecciona en base al diámetro del eje de transmisión.

En el punto 4.2.2.7 se determina que el diámetro del eje es 38 mm por lo que las dimensiones de la lengüeta se dan en base a la figura 4.26.

⁵⁹ GTZ, Tablas para la Industria Metalúrgica, 3ra Edición, 1984, pág. 139

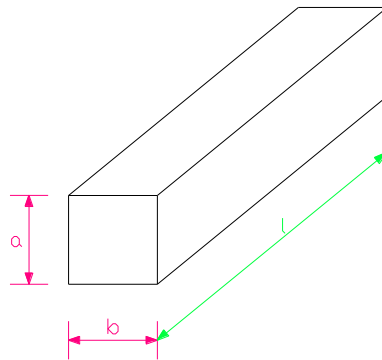


Figura 4.26 Dimensiones de la lengüeta. (Fuente: Propia)

Donde:

a: Altura de la lengüeta, 10[mm]

b: Ancho de la lengüeta, 8 [mm]

l: Longitud de la lengüeta, [mm]

M: Material de la lengüeta, (Usualmente es acero laminado en frío de bajo carbono⁶⁰) por lo que se selecciona un Acero UNS G10200, $S_y=448$ MPa.

La lengüeta trabaja a cortante puro por lo que se emplea para su análisis la teoría de la energía de la distorsión, esto se muestra en la figura 4.27.

⁶⁰ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Capítulo 7, pág. 379.

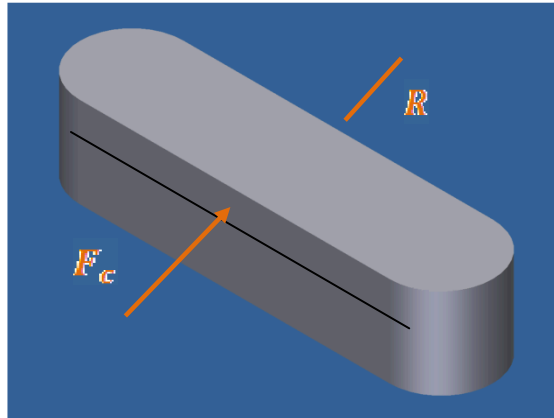


Figura 4.27 Diagrama de cuerpo libre de la lengüeta. (Fuente: Propia)

Donde la fuerza cortante en la lengüeta depende del diámetro y el momento torsor del eje del cilindro de tostado.

$$F_c = \frac{W_t}{r_{eje}} \quad \text{Ec. (4.74)}$$

Donde:

F_c : Fuerza Cortante, [N]

W_t : Momento torsor del eje, 443.87 [Nm]

r_{eje} : Radio del eje, 19 [mm] = 0.019 [m].

$$F_c = 23361.6 \text{ N}$$

Por la teoría de la energía de la distorsión, el factor de seguridad se determina por la siguiente ecuación:

$$n_c = \frac{S_{sy}}{\tau_c} \quad \text{Ec. (4.75)}$$

$$S_{sy} = 0.577S_y \quad \text{Ec. (4.76)}$$

Para éste problema se asume un factor de seguridad de 1.5, por lo tanto es posible determinar el esfuerzo cortante.

$$\tau_c = \frac{0.577S_y}{n_c} = \frac{0.577 * 448}{1.5} = 172.33 \text{ [MPa]}$$

La fuerza cortante se aplica en el área transversal de la lengüeta por lo que, es posible calcular el largo de esta con la siguiente expresión:

$$\tau_c = \frac{F_c}{b * l} \quad \text{Ec. (4.77)}$$

$$l = \frac{F_c}{b * \tau_c} = \frac{23361.6}{(0.008 * (172.33 * 10^6))} = 0.0169 \text{ [m]}$$

Entonces la longitud mínima de la lengüeta para que soporte esta sollicitación de esfuerzos es de 17 mm.

En conclusión las dimensiones de lengüeta son: 10x8x20 [mm], Material UNS G10200 estirado en frío.

4.2.2.9 Diseño del prisionero para la sujeción volante-eje

El prisionero es un elemento de sujeción que permite fijar los volantes sobre el eje del cilindro de tostado, como se observa en la figura 4.28.

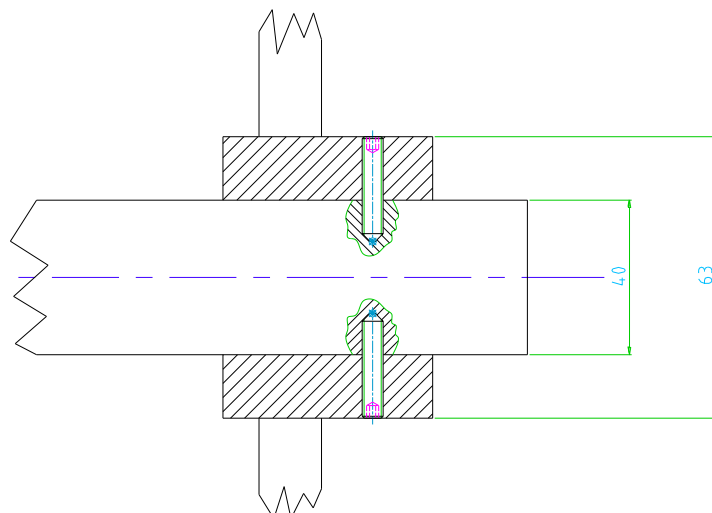


Figura 4.28 Prisioneros utilizados en la sujeción de la manzana.

(Fuente: Propia)

Para el diseño se emplea los siguientes criterios:

Cantidad:	2
Material:	Acero de bajo o mediano
Grado ⁶¹ :	SAE 2
Esfuerzo de fluencia:	392.73 MPa.

En la figura 4.29 se observa el diagrama de cuerpo libre para el prisionero.

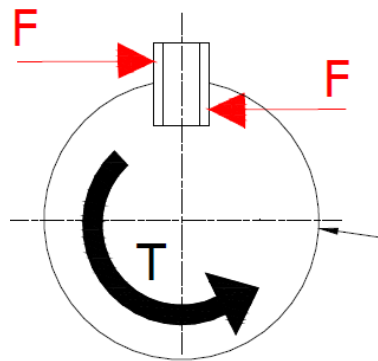


Figura 4.29 Prisionero sometido a un esfuerzo de corte y a un momento de torsión.

(Fuente: Propia)

Con la ecuación 4.70 es posible determinar la fuerza de corte que actúa sobre el prisionero.

$$F_c = \frac{W_t}{r_{eje}} = \frac{443.87}{0.02} = 22193.5 \text{ [N]}$$

Se determina la resistencia al esfuerzo cortante, en base a la teoría de la energía de distorsión.

$$S_{sy} = 0.577S_y$$

$$S_{sy} = 0.577(392.73) = 226.6 \text{ MPa}$$

⁶¹ Diseño en ingeniería mecánica, Shigley J., 8va edición, Capítulo 8, Tabla 8-9, pág. 408.

Para determinar el esfuerzo de corte debido a las fuerzas aplicadas sobre el prisionero, se emplea la ecuación 4.74.

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c} \quad \text{Ec. (4.78)}$$

Donde:

τ_c : Esfuerzo de corte, [MPa]

F_c : Fuerza Cortante, 22193.5 [N]

A_c : Área de corte, [m²]

Se asumen dos áreas, debido a que se usan dos espárragos para la sujeción del eje con la manzana. Igualando la ecuación 4.78 y 4.75 se determina el diámetro del prisionero.

$$\tau_c = \frac{0.577S_y}{n_c} = \frac{F_c}{A_c}$$

$$\frac{0.577(392.73 \times 10^6)}{2} = \frac{22193.5}{2 * \frac{\pi * d^2}{4}} \Rightarrow d = 0.01116 [m]$$

Se aproxima el diámetro a 12 mm, con este valor se selecciona un prisionero M12 con norma⁶² DIN 914 A Grado SAE 2.

4.2.2.10 Selección de Rodamientos

Capacidad de Carga.- La capacidad de carga estática C_o se usa en los cálculos cuando los rodamientos giran a velocidades muy bajas, cuando están sometidas a movimientos lentos de oscilación o cuando están estacionarios bajo carga durante ciertos periodos.

⁶² GTZ, Tablas para la Industria Metalúrgica, 3ra Edición, 1984, pág. 136

4.2.2.10.1 Análisis Estático (Ciclos Bajos)

Carga Estática Equivalente

Las cargas que tienen componente radial y axial deben ser convertidas en una carga estática equivalente. Esta se define como la carga (radial para rodamientos radiales y axial para rodamientos axiales) que si se aplicase produciría la misma deformación permanente en el rodamiento que las cargas reales. Se obtiene por medio de la ecuación general:

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad \text{Ec. (4.79)}$$

Donde:

- P_o = Carga estática equivalente, en [N]
- F_r = Componente radial de la fuerza, 4616.92 [N]
- F_a = Componente axial de la fuerza, 0 [N]

Cuando $P_o < F_r$ se toma en como $P_o = F_r$

$$P_o = 0.6F_r$$

$$P_o = F_r = 2770.152 \text{ [N]}$$

Capacidad de Carga Estática Necesaria.

La capacidad de carga estática necesaria C_o se puede determinar mediante la ecuación 4.80:

$$C_o = sP_o \quad \text{Ec. (4.80)}$$

Donde:

C_o = Capacidad de Carga estática, en [N]

P_o = Carga estática equivalente, en [N]

s = Factor de seguridad estático

En la figura 4.30 se muestra los valores de “s’ que vienen tabulados en el catálogo general SKF.

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios					Rodamientos estacionarios		
	Requerimientos relativos al funcionamiento silencioso no importante		normal	alto				
	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables ¹⁾	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para rodamientos axiales de rodillos a rótula es aconsejable utilizar $s_0 \geq 4$

Figura 4.30 Valores orientativos para el factor de seguridad estático s ⁶³

El valor seleccionado de s es 3 debido a la condición de cargas de choque notables.

$$\therefore C_o = sP_o = 0.5 \times 2770.152 = 1385.08 \text{ [N]}$$

Con este valor seleccionamos un rodamiento que cumpla con las especificaciones:

El Rodamiento Resultante (Ver figura 4.31):

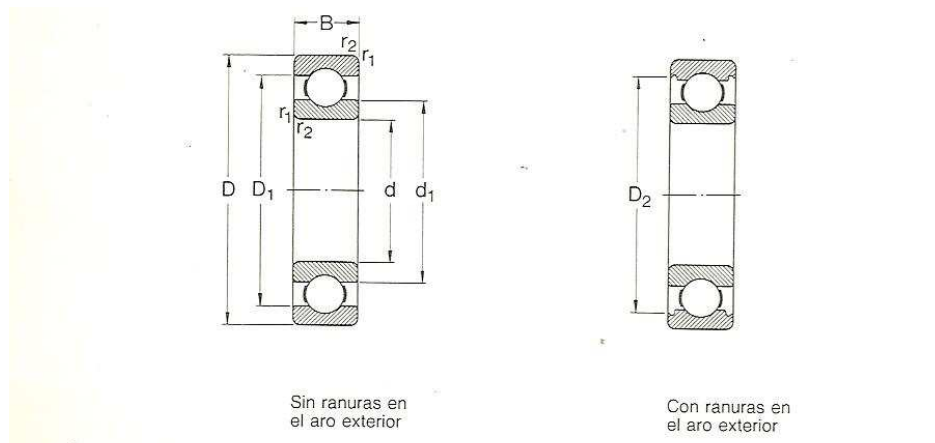
SKF 6302

C=11400

C_o=5400[N]

⁶³

SKF; “SKF Catálogo General”; Stamperia Artistica Nazionale; Italia; 1989.



Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidad nominal		Masa	Designación
d	D	B	dinám. C	estát. C_0		Lubricación con grasa	aceite		
mm			N		N	r/min		kg	-
15	24	5	1 560	800	34	28 000	34 000	0,0074	61802
	28	7	4 030	2 040	85	24 000	30 000	0,016	61902
	32	8	5 590	2 850	120	22 000	28 000	0,025	6002
	32	9	5 590	2 850	120	22 000	28 000	0,030	6002
	35	11	7 800	3 750	160	19 000	24 000	0,045	6202
	42	13	11 400	5 400	228	17 000	20 000	0,082	6302

Figura 4.31 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 15 mm

Debido a que las dimensiones obtenidas son muy pequeñas, se escoge un rodamiento de diámetro acorde con las dimensiones del eje seleccionado que facilite la fabricación de otros elementos asociados.

El procedimiento para el cálculo y posterior selección del rodamiento se encuentra detallado en el manual general SKF.

4.2.2.11 Diseño de los cordones de soldadura

El proceso de soldadura tiene gran importancia en el diseño de máquinas debido a que permite eliminar juntas remachadas o empernadas que encarecen la construcción y el montaje del elemento a diseñar, haciendo a la máquina menos atractiva y competitiva en costos.

El proceso de soldadura se define como la unión permanente en materiales, estableciendo entre las partes una relación atómica por medio de la aplicación de calor y/o presión y con o sin el uso de materiales de aporte.

El proceso de soldadura a utilizar en las uniones de la maquina tostadora de ajonjolí, es el proceso por arco eléctrico por electrodo revestido (SMAW) en el que se produce coalescencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo revestido y la superficie de un metal base en la unión que se está soldando.

El tipo de junta a utilizarse es la junta de filete que se detalla en la figura 4.32.

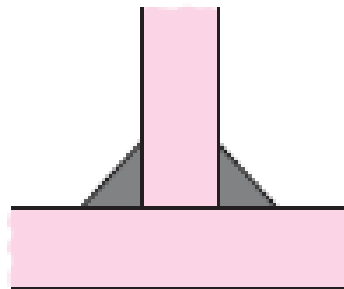


Figura 4.32 Geometría de la Soldadura tipo filete.

(Fuente: Propia)

En vista que la unión soldada mas crítica se da entre en la manzana del cilindro de tostado se procederá a diseñar este tipo de junta, se asume que se utilizara una soldadura a filete con una garganta de 4 mm a 45°, tal como se muestra en la figura 4.33.

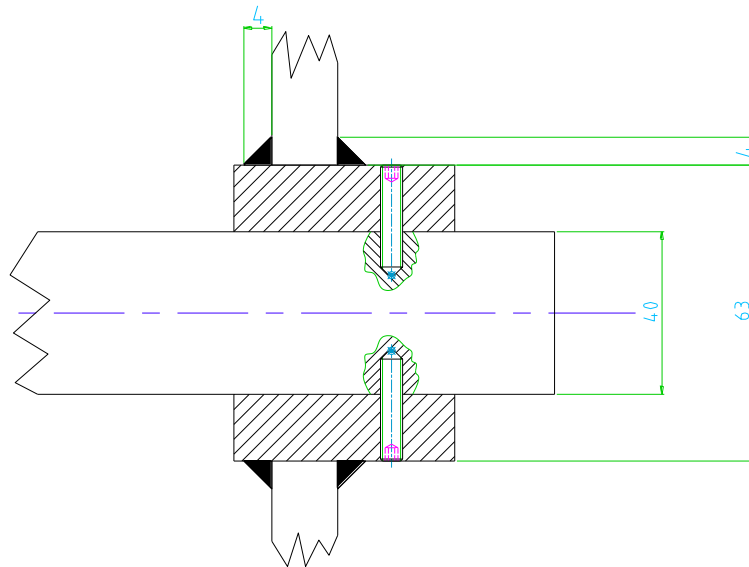


Figura 4.33 Diagrama Junta soldada manzana.

(Fuente: Propia)

Las características del electrodo a utilizar se detallan a continuación:

Electrodo: AGA E 3082-16-Ø3/32

$$S_{ute} = 80 \text{ [Kpsi]} = 551 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ye} = 67 \text{ [Kpsi]} = 462 \text{ [MPa]}$$

Se calcula el esfuerzo de corte en la soldadura con la ecuación 4.81.

$$\tau_s = \frac{M_T * c}{\frac{\pi}{32}(d_{ext}^4 - d_{int}^4)} \quad \text{Ec. (4.81)}$$

Donde:

M_T : Momento de torsión, 54.81 [Nm]

c : Radio del cordón de soldadura al centro del eje del rotor, 33 [mm]

d_{ext} : Diámetro externo del cordón de soldadura, 67 [mm]

d_{int} : Diámetro interno del cordón de soldadura, 63 [mm]

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\tau_s = 4.19 [MPa]$$

El esfuerzo permisible para el cordón de soldadura es de $0.4 S_{ye}$ con el cual se procede a encontrar el factor de seguridad de la soldadura.

$$FS_s = \frac{0.4 * S_{ye}}{\tau_s} \quad \text{Ec. (4.82)}$$

$$FS_s = \frac{0.4 * 462 \times 10^6}{4.19 \times 10^6} = 4.4$$

Este valor de factor de seguridad, garantiza que la junta por soldadura no falle.

4.2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para la selección de los perfiles del bastidor se utiliza el programa SAP 2000 versión Advanced 14.2.2, con lo cual se tiene los factores de seguridad de los elementos (perfiles del bastidor).

En la figura 4.34 se observa la estructura donde se sustenta el tambor giratorio y todos los componentes de la máquina tostadora de ajonjolí.

Los perfiles seleccionados para la máquina son de DIPAC (Ángulos “L” doblados), según la norma INEN 1 623-2000. (Ver Anexo D).

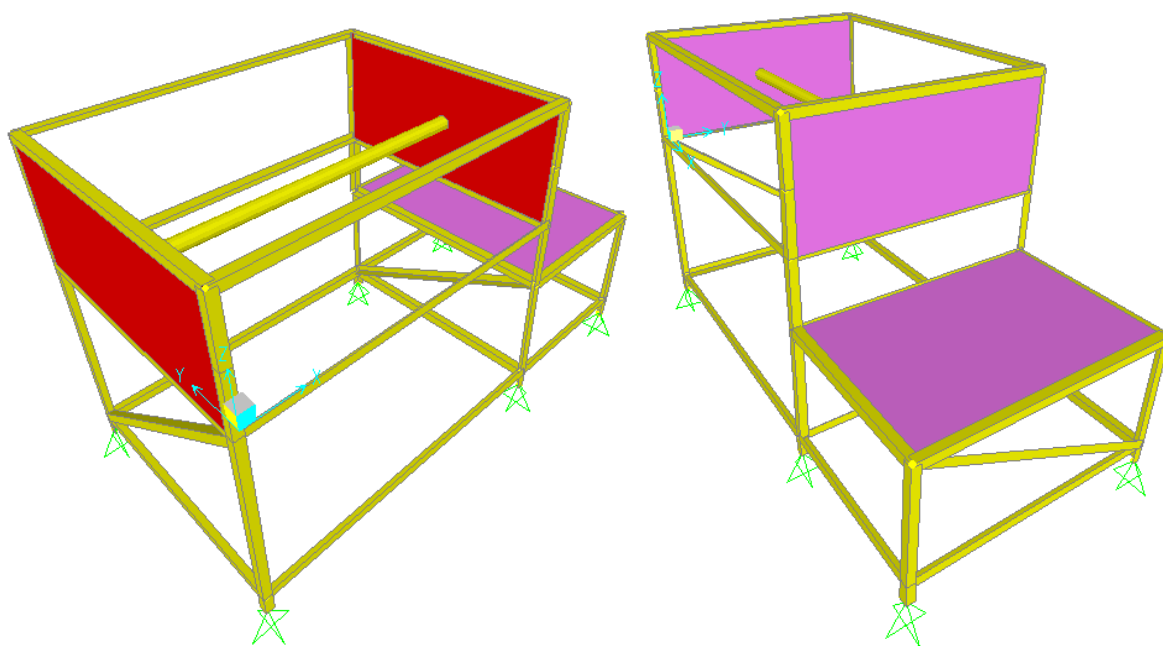


Figura 4.34 Visualización de la Estructura en SAP 2000 v14

(Fuente: Propia)

En la figura 4.35 se observa las secciones de los perfiles de la estructura y los factores de seguridad de cada una.

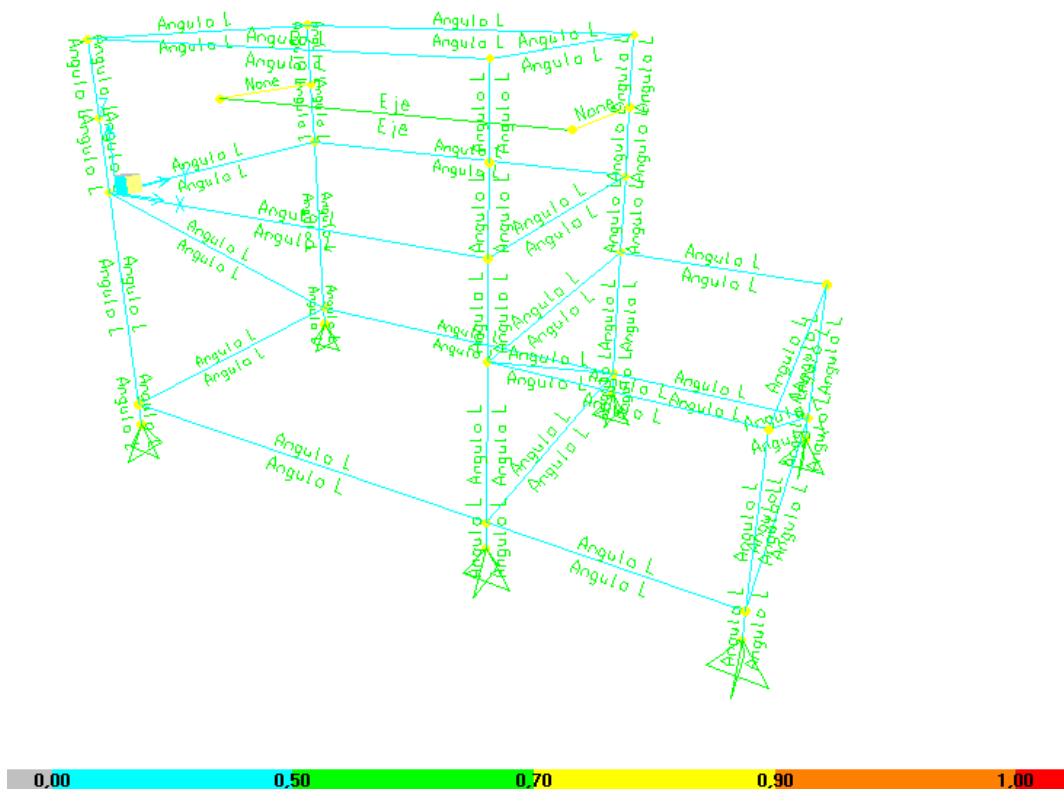


Figura 4.35 Simulación de cargas en SAP 2000 v14. (Fuente: Propia)

La Figura 4.35 es el análisis que entrega el programa SAP 2000 v14, el color celeste de la estructura indica según la paleta de colores que no falla por las cargas que está sometida.

Se ha seleccionado el perfil que soporta los mayores esfuerzos para realizar el estudio de falla ya que si este soporta, todos los demás perfiles tendrán un factor de seguridad mayor a la de este perfil.

La figura 4.36, indica un resumen del programa SAP 2000 versión 14, en éste gráfico se ve claramente la configuración transversal del perfil así como las cargas, momentos a los que está sometida la estructura.

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK							Units N, mm, C	
Combo : DSTL2								
Units : N, mm, C								
Frame : 2	Design Sect: Angulo L							
X Mid : 484,017	Design Type: Beam							
Y Mid : 741,643	Frame Type : Moment Resisting Frame							
Z Mid : 0,000	Sect Class : Non-Compact							
Length : 1000,000	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 0,000	RLLF : 1,000							
Area : 141,000	SMajor : 464,822	rMajor : 7,628	AUMajor: 75,000					
IMajor : 8203,622	SMinor : 464,822	rMinor : 7,628	AUMinor: 75,000					
IMinor : 8203,622	ZMajor : 837,690	rMax : 9,613	E : 199947,979					
Ixy : -4827,128	ZMinor : 837,690	rMin : 4,894	Fy : 344,738					
Theta : 45,000								
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
0,000	14,655	-17,966	3817,801	-0,031	23,877	-0,617		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation (SAM 6-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
	0,033	= 0,000	+ 0,012	+ 0,022	0,950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	14,655	5259,264	43747,239					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	2686,889	228317,250	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Moment	2712,297	125962,835	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	0,031	13961,885	2,241E-06	OK	0,000			
Minor Shear	23,877	13961,885	0,002	OK	0,000			

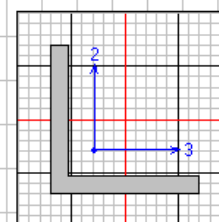


Figura 4.36 Resumen de resultados del programa SAP 2000 v14

(Fuente: SAP 2000 v14, cuadro de resumen)

Según el manual de la AISC para aceros de construcción, en su capítulo sexto referente a la carga, resistencia y factor de especificación de diseño para acero estructural (miembros de un solo ángulo).

El valor permisible para el factor de diseño para una situación de cargas combinadas (flexión y compresión axial) para un perfil angular, viene expresada por la siguiente desigualdad.

$$\left| \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uw}}{\phi_b M_{nw}} + \frac{M_{uz}}{\phi_b M_{nz}} \right) \right| \leq 1.0 \quad \text{Ec. (4.83)}$$

Donde:

P_u : Resistencia necesaria a la compresión.

P_n : Resistencia a la compresión nominal.

ϕ : Factor de resistencia a la compresión, 0.9

ϕ_b : Factor de resistencia a la flexión, 0.9

M_u : Resistencia a la flexión necesaria

M_n : Resistencia nominal a la flexión para tensión y compresión

w : Subíndice sobre el símbolo de los principales ejes de flexión

z : Subíndice sobre el símbolo de menor importancia del eje de flexión

La parte izquierda de la inequación es la que nos provee el programa SAP 2000 v14, en la tabla de resultados de la figura 4.37.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	
0,000	14,655	-17,966	3817,801	-0,031	23,877	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (SAM 6-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	
	0,033	= 0,000	+ 0,012	+ 0,022	0,950	
AXIAL FORCE DESIGN						
Axial	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity			
	14,655	5259,264	43747,239			

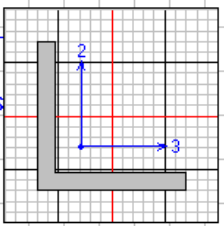


Figura 4.37 Factor de diseño estructural

(Fuente: SAP 2000 v14, cuadro de resumen)

Se observa que el valor cumple con la condición de ser menor que la unidad, por lo que se asegura la resistencia del mismo a la disposición de cargas en la estructura de la máquina tostadora de ajonjolí.

4.2.4 SISTEMA ELÉCTRICO DE MANDO

El sistema eléctrico de mando está constituido por dos diagramas que son el diagrama de control y el diagrama de potencia, los cuales permitirán el accionamiento adecuado del sistema.

4.2.4.1 Diagrama de control

El diagrama de control está constituido principalmente por el Relé Lógico Programable LOGO, el cual controla el accionamiento del motor cuando la temperatura del tambor llegue a un valor deseado. Es así que el Relé LOGO activará el encendido y apagado del motor monofásico a través de la activación de la bobina de control del contactor K1.

Para el censado de temperatura se utiliza un detector de temperatura resistivo (RTD) que en este caso es una resistencia de platino PT100. Mediante el módulo de expansión para el acondicionamiento de RTD's, el Relé LOGO recibe una señal de 4 a 20 [mA] dependiendo de la temperatura al que se encuentre el dispositivo, dejando esta variable a disposición del programa para el control del motor.

Las entradas de paro de emergencia y T1 son señales adicionales de protección en caso de que exista algún evento inesperado. Para el caso del paro de emergencia, su accionamiento puede detener al motor inmediatamente mientras que para la entrada del guarda motor T1 si existe una sobre corriente que está consumiendo el motor el mismo se abre dejando una señal para que el relé deje de accionar al contactor K1. Las entradas antes mencionadas están normalmente cerradas pero bajo algún evento antes indicado se abrirán dejando al programa de control realice su cometido.

El relé LOGO permite la visualización de algunos parámetros que a su vez se los puede configurar siendo el caso para la temperatura para el encendido o apagado del

sistema motriz. Adicionalmente el diagrama de control cuenta con dos lámparas que indicaran si el motor está encendido o está apagado.

El diagrama de control se muestra en la figura 4.38.

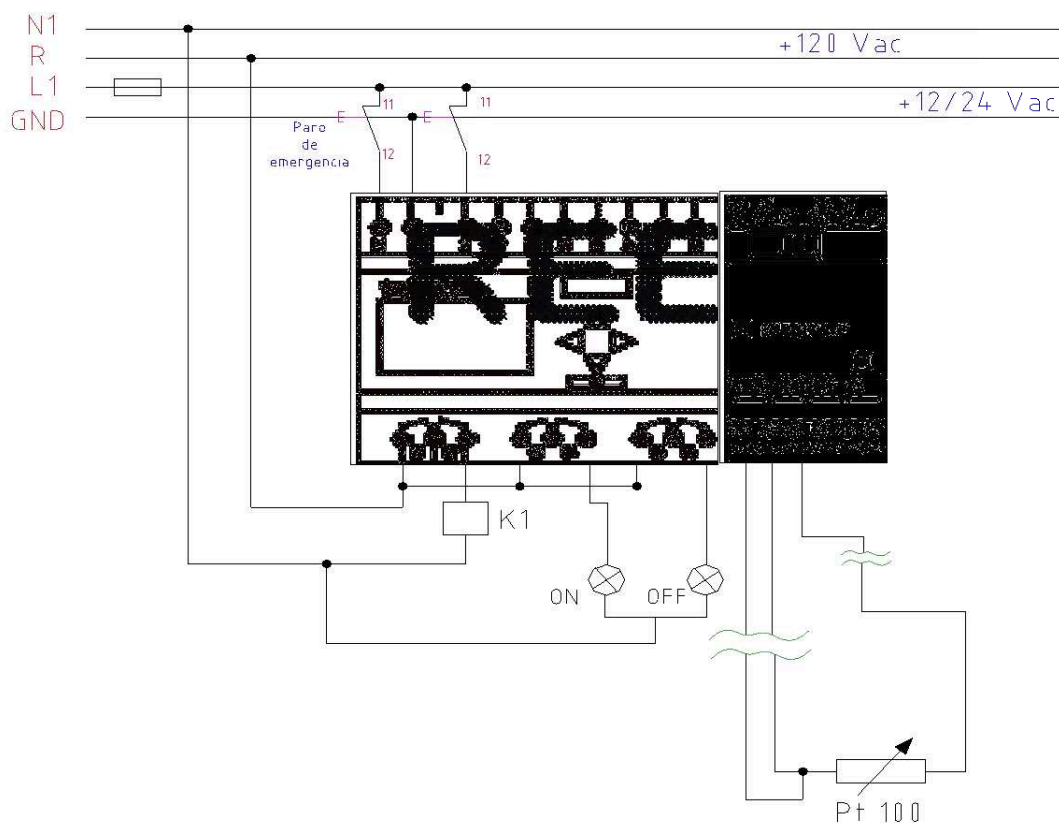


Figura 4.38 Diagrama de control de la tostadora de ajonjolí
(Fuente: Propia)

4.2.4.2 Diagrama de Potencia

El diagrama de potencia constituye tanto el encendido o apagado como de la protección del motor del sistema motriz. Cuando el Relé LOGO cierra la salida a la cual está conectada la bobina de control del contactor K1, el contactor conecta las fases de alimentación que energizarán al motor con 220 [V] permitiendo el encendido del mismo. El diagrama también cuenta con guardamotores, el cual si existe una sobrecorriente

circulante acciona y desconecta las fases y abre el interruptor normalmente cerrado de la entrada T1.

El fusible F1 dispuesto en el diagrama de potencia de la figura 4.39 permite la protección adecuada en caso de corto circuito.

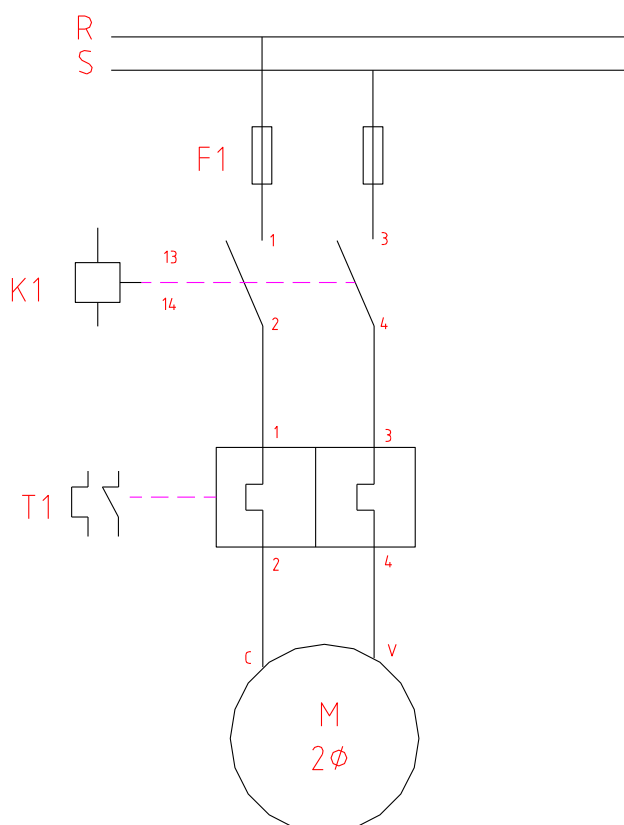


Figura 4.39 Diagrama de potencia de la tostadora de ajonjolí.

(Fuente: Propia)

Finalizado el diseño se realizan los planos de taller y de montaje de la máquina tostadora de ajonjolí, que se presentan en el anexo H.

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO DE LA MÁQUINA TOSTADORA DE AJONJOLÍ POR TANDAS

5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

La construcción de los sistemas constitutivos de la máquina tostadora de ajonjolí debe llevarse a cabo en un taller mecánico provisto de máquinas y herramientas apropiadas para la creación de piezas o el armado de las mismas mediante algunos procesos tecnológicos y de ajuste.

5.1.1 MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS

Para la fabricación de los sistemas constitutivos del presente diseño se deben emplear diversas máquinas herramientas, como son: torno, limadora, baroladora, dobladora, soldadora, taladro de banco y herramienta menor como: limas, puntos, machuelos, además de instrumentos de medición, como: calibrador, micrómetro, escuadras y flexómetro.

A continuación se muestra las designaciones para cada una de las máquinas herramientas, instrumentos de medición y herramienta menor.

Tabla 5.1 Designación de máquinas herramientas y equipos

DESIGNACIÓN	MÁQUINA HERRAMIENTA
M1	TORNO
M2	TALADRO DE BANCO
M3	ESMERIL
M4	AMOLADORA

.../

Tabla 5.1 Designación de máquinas herramientas y equipos (Continuación).

DESIGNACIÓN	MÁQUINA HERRAMIENTA
M5	RECTIFICADORA
M6	DOBLADORA
M7	BAROLADORA
E1	EQUIPO DE SUELDA ELÉCTRICA
E2	EQUIPO DE PINTURA

Fuente: Propia

Tabla 5.2 Designación de los instrumentos de medición y verificación

CÓDIGO	INSTRUMENTO
I	Calibrador (Pie de Rey)
	Escuadra
	Regla Metálica
	Nivel
	Flexómetro

Fuente: Propia

Tabla 5.3 Lista de Herramientas

CÓDIGO	INSTRUMENTO
H	Arco de Sierra
	Brocas
	Esmeril
	Limas
	Puntos
	Machuelos
	Prensas

Fuente: Propia

5.1.2 OPERACIONES TECNOLÓGICAS

En la tabla 5.4 se enlistan las operaciones tecnológicas necesarias para mecanizar cada elemento de los sistemas de la máquina.

Tabla 5.4 Operaciones Tecnológicas


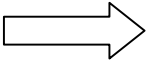
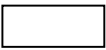

NÚMERO	OPERACIÓN
1	Barolado
2	Corte del material
3	Doblado
4	Esmerilado
5	Machuelado
6	Taladrado
7	Torneado
8	Soldado
9	Remachado
10	Fresado

Fuente: Propia

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN

En la tabla 5.5 se muestra los símbolos del diagrama de flujo, para la construcción de la máquina.

Tabla 5.5 Simbología empleada en los diagramas de flujo

SÍMBOLO	INTERPRETACIÓN
	Operación
	Transporte
	Inspección
	Fin del Proceso

Fuente: Propia

En las siguientes figuras se indica el proceso tecnológico necesario para la construcción de cada uno de los sistemas de la máquina, todas las dimensiones y notas constructivas se detallan en los planos de la máquina.

El tiempo considerado para el ensamble de los diferentes sistemas de la máquina se encuentra en la parte inferior de cada figura y esta expresado en horas, sin considerar tiempos perdidos en la compra y transporte de materia prima para los distintos elementos.

5.2.1 ESTRUCTURA

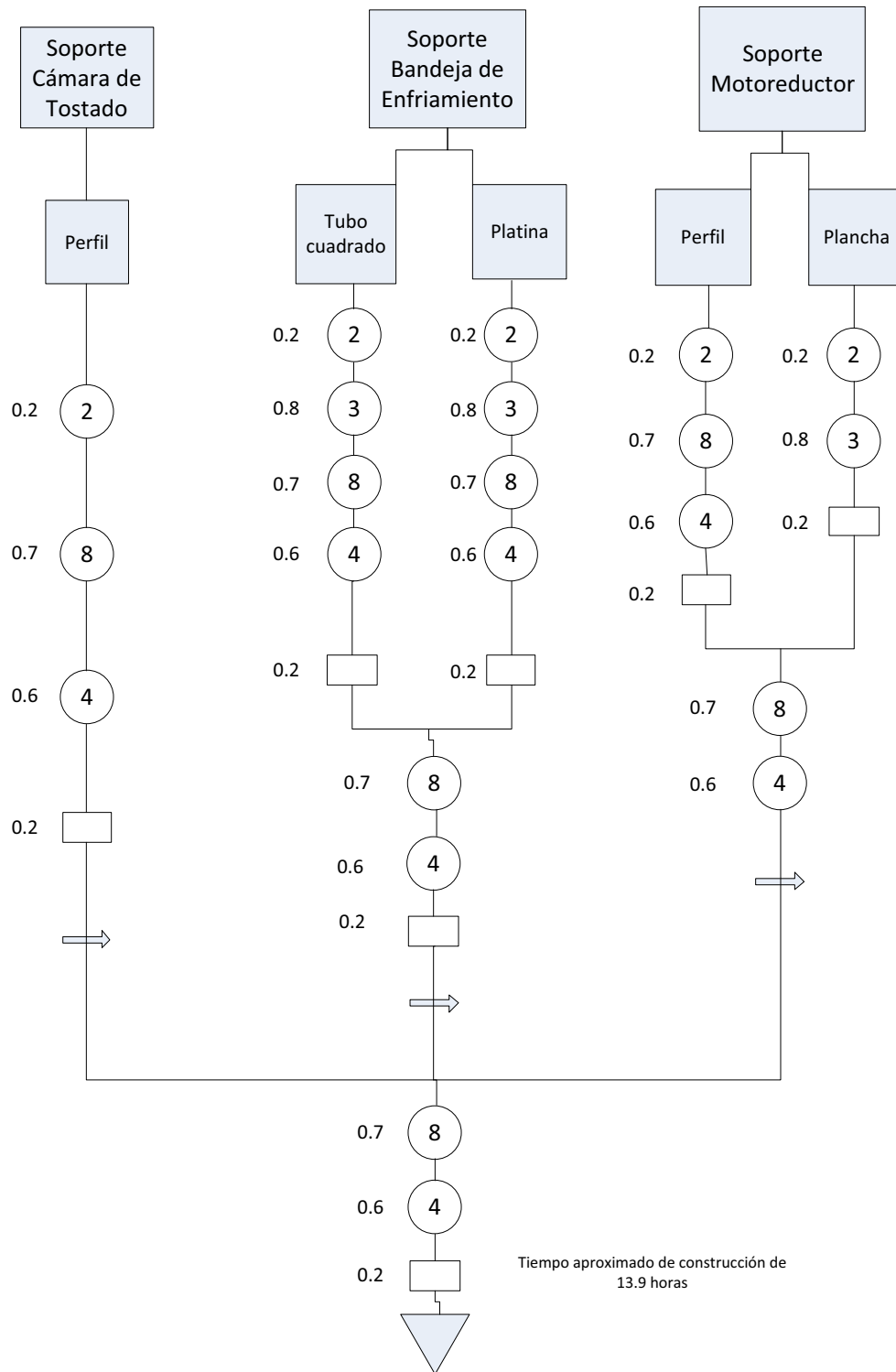


Figura 5.1 Diagrama de flujo de construcción de la estructura

5.2.2 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

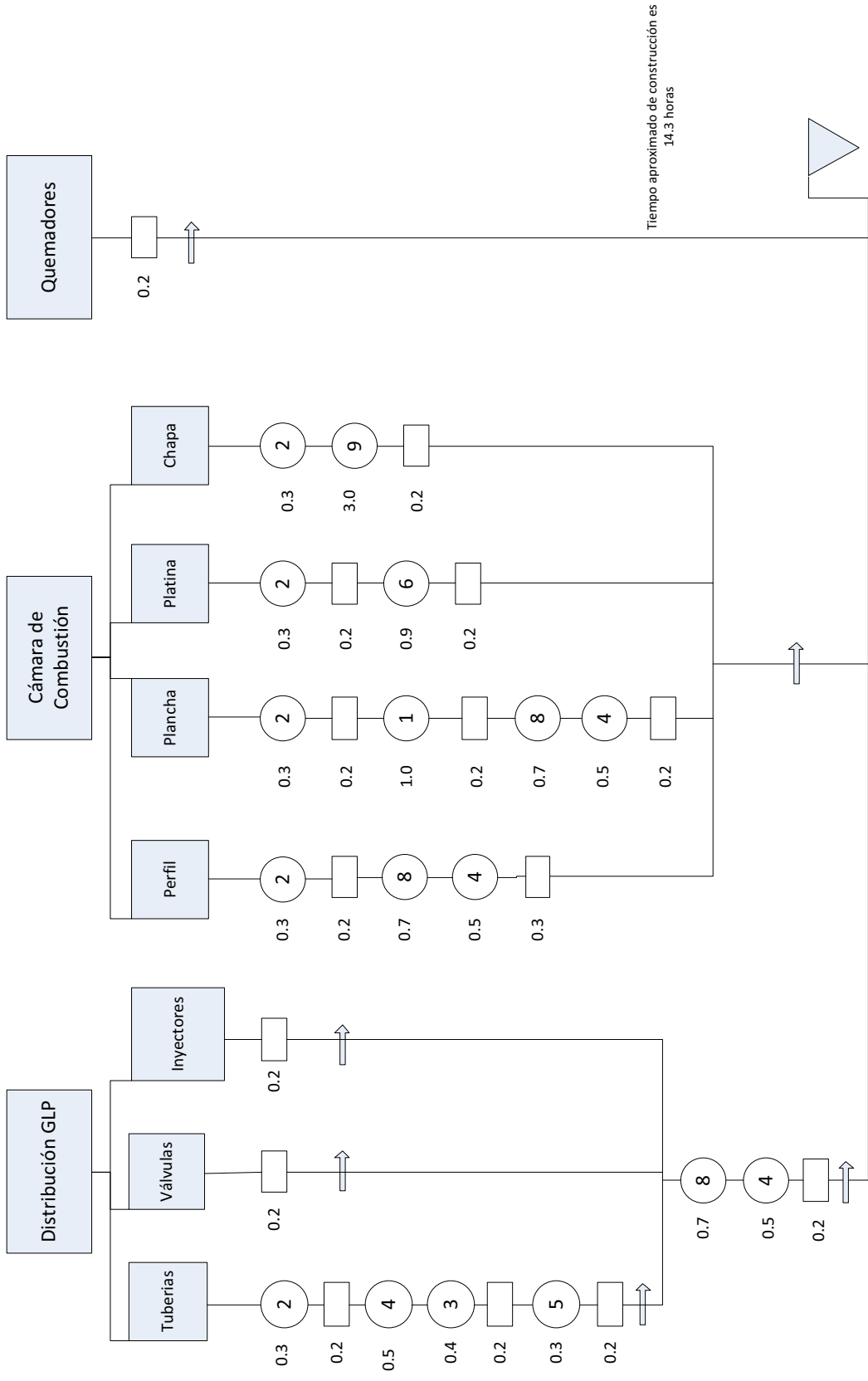


Figura 5.2 Diagrama de flujo de construcción del sistema de calentamiento

5.2.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

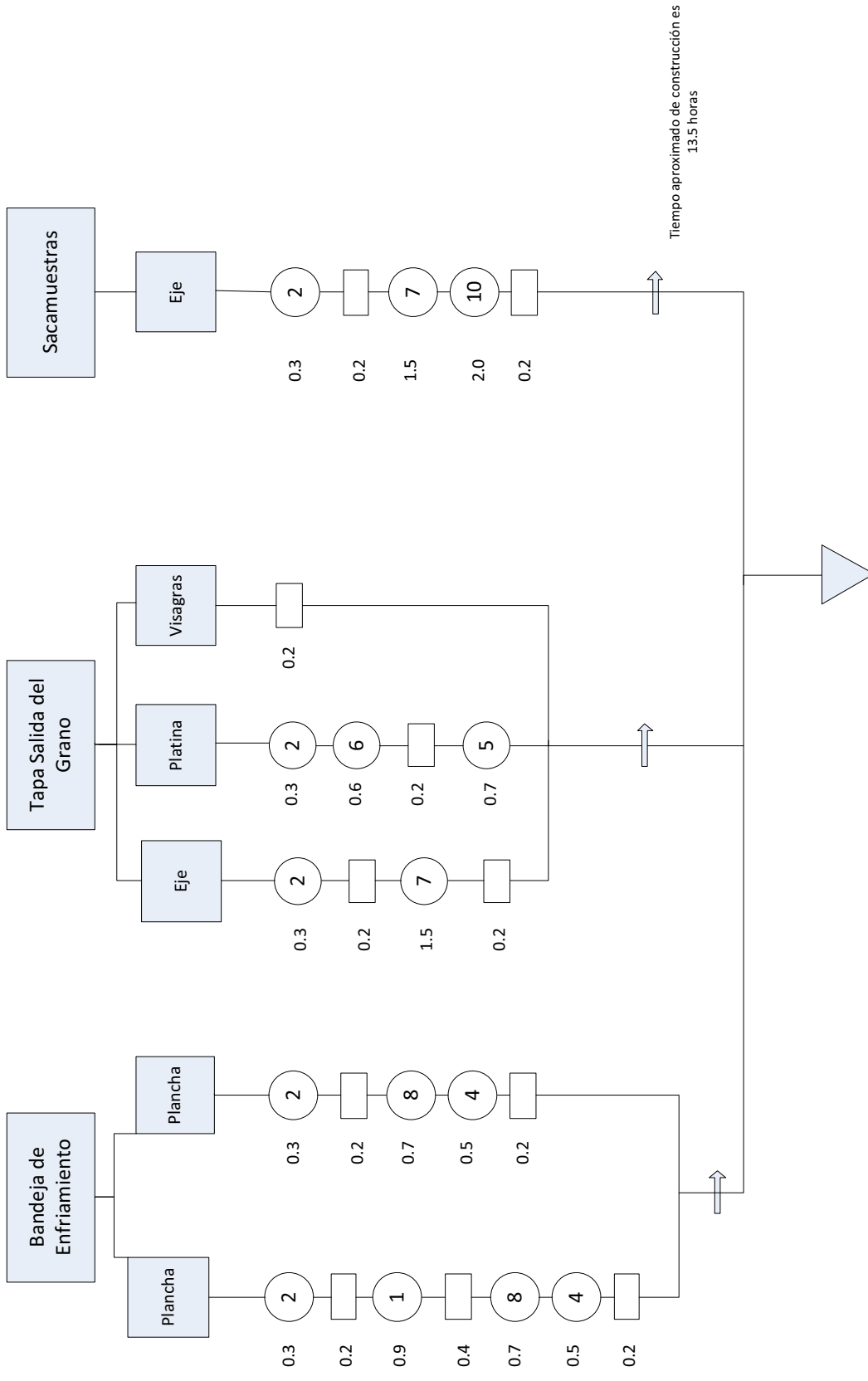


Figura 5.3 Diagrama de flujo de construcción del sistema de enfriamiento

5.2.4 SISTEMA DE CARGA

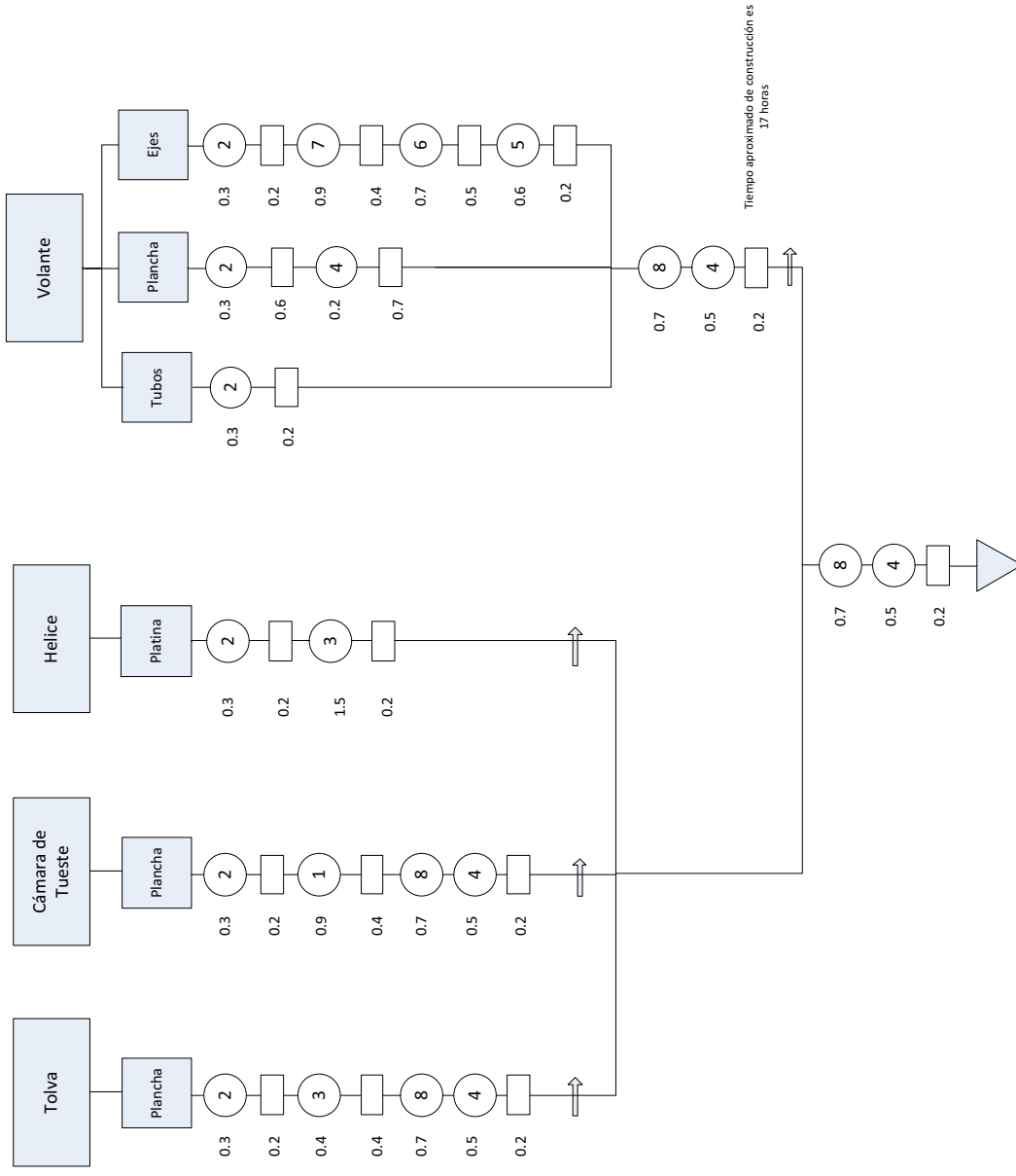


Figura 5.4 Diagrama de flujo de construcción del sistema de carga

5.2.5 SISTEMA MOTRIZ

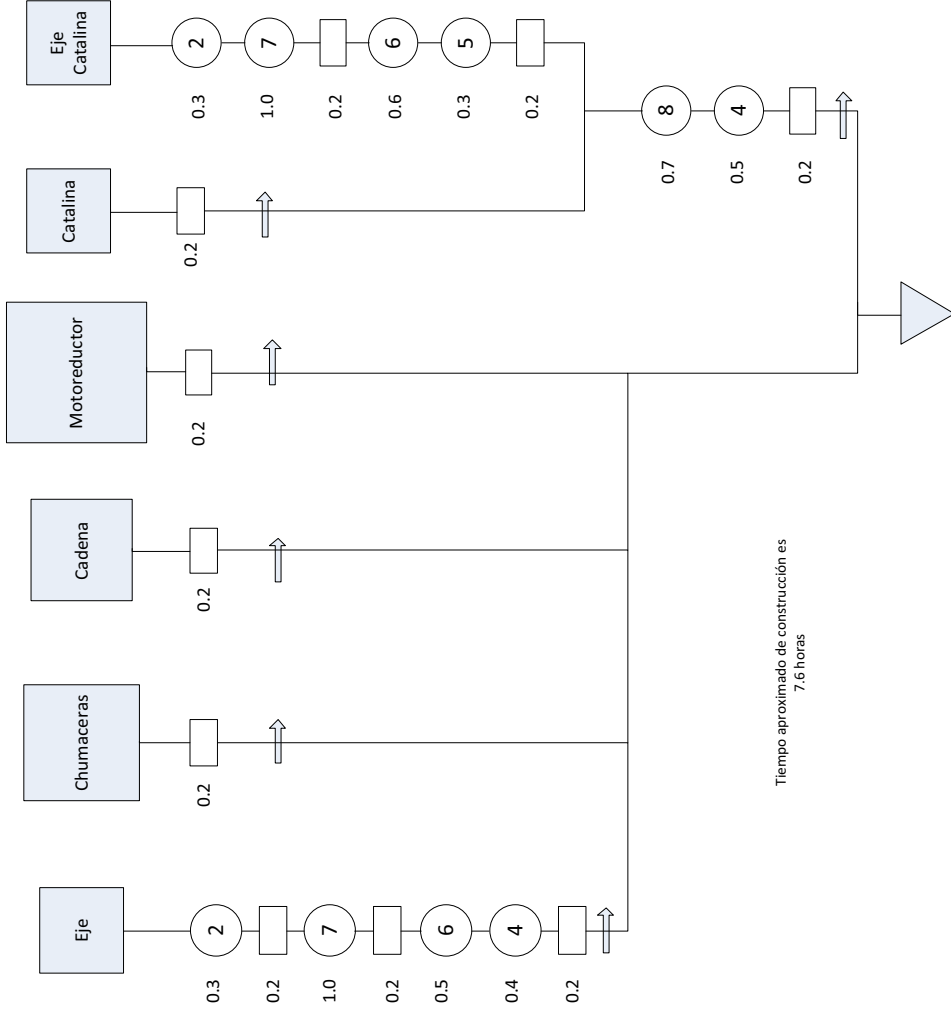


Figura 5.5 Diagrama de flujo de construcción del sistema motriz

5.2.6 SISTEMA DE CONTROL

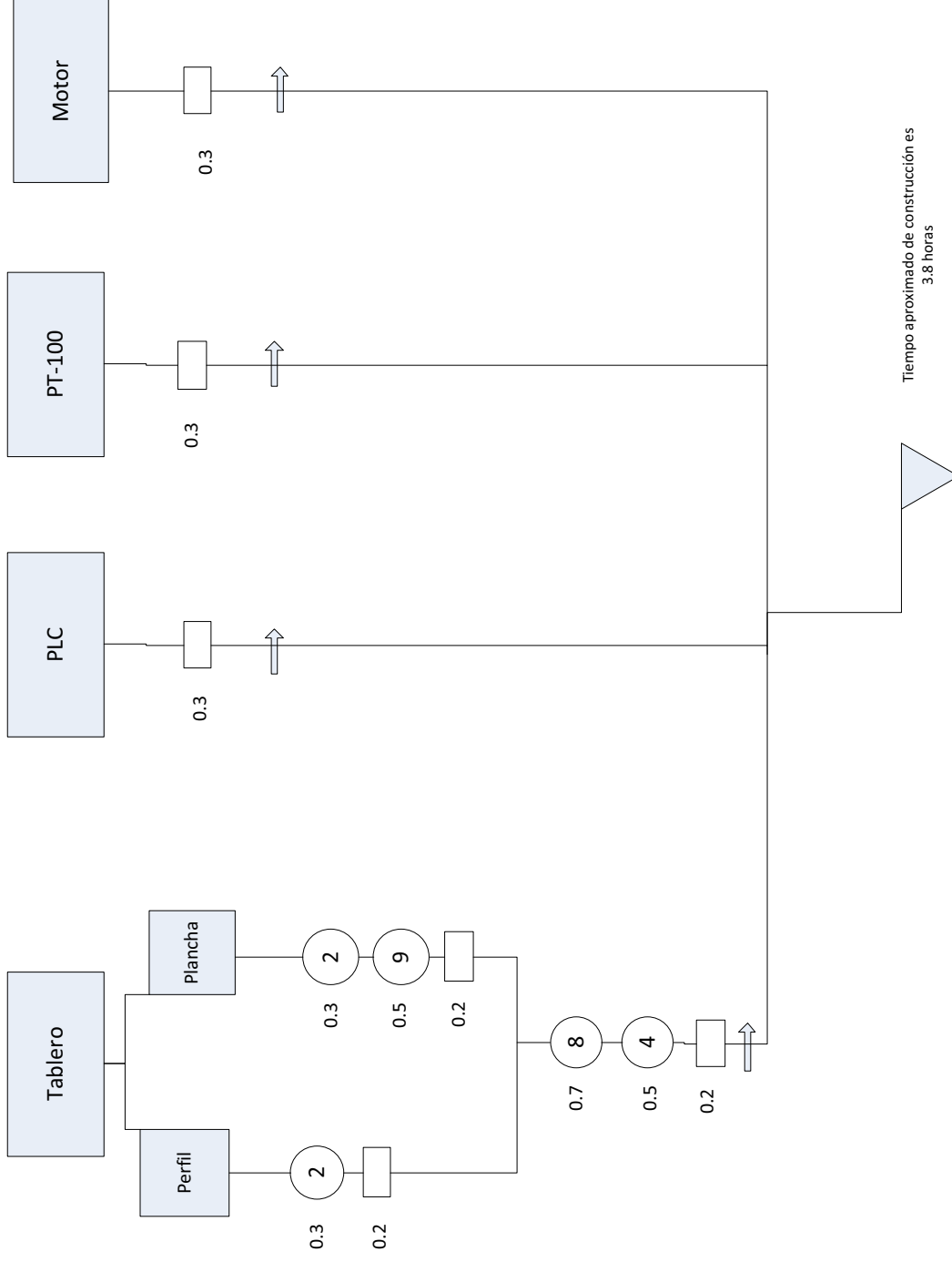


Figura 5.6 Diagrama de Flujo de construcción del sistema de Control.

5.3 MONTAJE

Después de realizadas las operaciones tecnológicas que permiten construir los diferentes sistemas, se realiza el montaje de los mismos.

En la tabla 5.6 se detallan las actividades que en base con el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.7 son necesarias para el montaje de la máquina.

Cada actividad tiene un código, tal como se muestra en la tabla.

Tabla 5.6 Actividades de Montaje

ITEM	ACTIVIDAD
M 1	Instalación del bastidor en el lugar de trabajo.
M 2	Instalación de las planchas que soportan el tambor de tostado.
M 3	Instalación del tambor de tostado en el bastidor.
M 4	Instalación de la cámara de tueste.
M 5	Instalación de los quemadores.
M 6	Instalación del sistema de distribución GLP.
M 7	Instalación motor reductor.
M 8	Instalación de la catalina de 11 dientes en el eje del moto reductor.
M 9	Instalación de la catalina de 39 dientes en el eje de transmisión del cilindro de tueste.
M 10	Instalación de la cadena de transmisión con el sistema de catalinas.
M 11	Instalación de la tolva
M 12	Instalación puerta de descarga del grano.
M 13	Instalación bandeja de enfriamiento.
M 14	Instalación sistema de control.
M 15	Pintura de la máquina.

Fuente: Propia

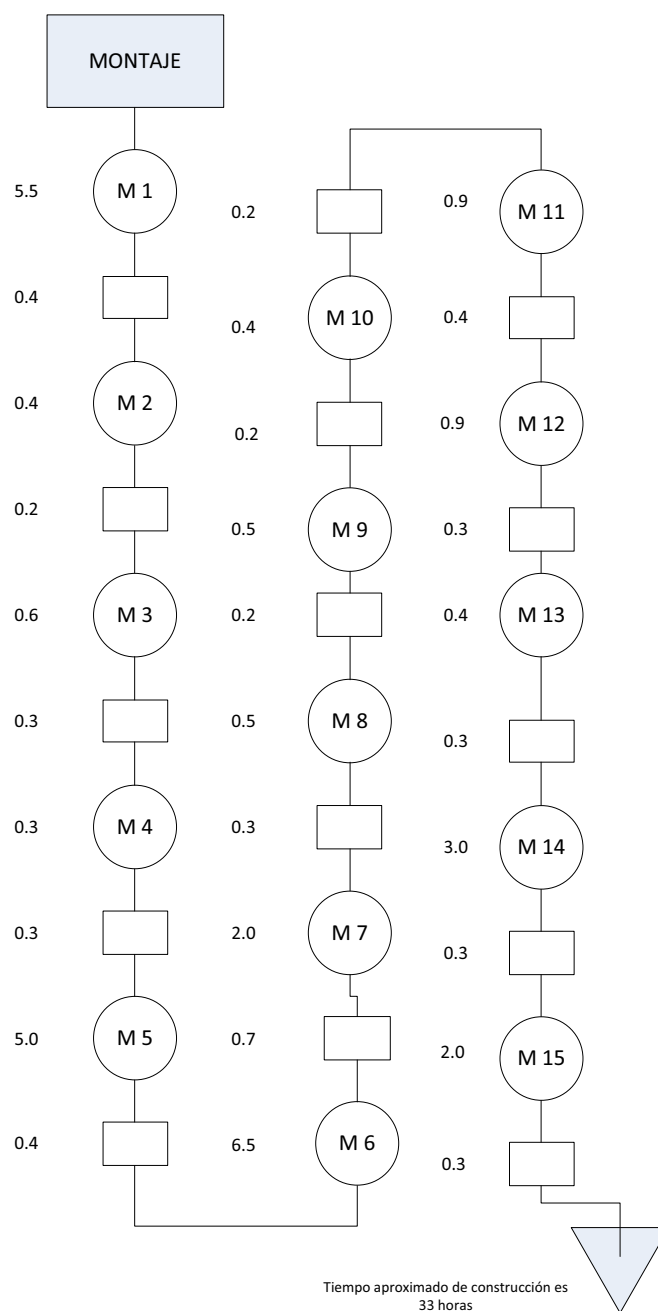


Figura 5.7 Diagrama de Flujo para el Montaje. (Fuente: Propia)

5.4 PRUEBAS DE CAMPO

Cuando finaliza la construcción del prototipo, debe someterse al protocolo de pruebas del punto 3.2.1.1

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE COSTOS

Para un análisis de costos satisfactorio para la construcción de la máquina tostadora de ajonjolí por tandas, se toma en cuenta lo siguientes rubros:

- Costo de Diseño
- Costo de Materiales
- Costo Hombre-Máquina
- Costo Montaje

La suma de estos rubros dará con exactitud el costo final, las proformas que indican los costos de los elementos se encuentran en los anexos y en base a ellos se elabora un presupuesto de costo para la máquina.

6.1 COSTO DE DISEÑO

El costo de diseño depende del grado de dificultad tanto en el diseño como en la construcción de la máquina, usualmente es equivalente al 20% del costo final de la máquina.

6.2 COSTO DE MATERIALES

Para determinar el costo de materiales, se los divide en:

- Materiales Normalizados
- Materiales a Mecanizar

En la tabla 6.1 y 6.2 se detallan los materiales empleados en la construcción de la máquina.

Tabla 6.1 Costo de materiales a mecanizar

MATERIAL	DIMENSIONES [mm]	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
Ángulo ASTM A36	25x25x3	4	6,85	27,4
Varilla redonda	∅6x30	1	1,32	1,32
Plancha acero inoxidable 304	2440x1220x2	1	455,36	455,36
Malla Armex	250 X 250 X 8	1	78,05	78,05
Eje de acero AISI 304	∅63,5x240	1	41,66	41,66
Eje de acero AISI 304	∅19,05x2672	1	40,32	40,32
Eje de acero ASTM A36	∅19,05x600	1	4,15	4,15
Electrodo 6011 (Kg)	∅3,18	9	3,6	32,4
Electrodo 3082 (Kg)	∅2,38	2,5	20,69	51,73
Tool laminado en frio ASTM 36	2440x1220x0,4	2	32,75	65,5
			TOTAL	797,89

Fuente: Anexo

Tabla 6.2 Costo de materiales normalizados

ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
Tuerca M10x30x1,5	10	0,04	0,4
Tornillo M2x25	6	0,12	0,72

.../

Tabla 6.2 Costo de materiales normalizados (Continuación).

ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
Tuerca M10x60x1,5	4	0,45	1,8
Chaveta 10x8x20	1	5,1	5,1
Esparragos DIN 914 M12x20	2	0,6	1,2
Lana de vidrio	2	8,5	17
Rodamientos SKF 6302	2	22,3	44,6
Cadena	1	13,5	13,5
Catalina 11 dientes	1	7,2	7,2
Catalina 39 dientes	1	18,6	18,6
Grasero	2	0,9	1,8
Moto reductor	1	450	450
Quemadores	2	42,3	84,6
Tubo GLP 1/2	3	1,9	5,7
Tubo GLP 3/4	1	7,8	7,8
Rele logico programable LOGO	1	135,8	135,8
Modulo Pt-100	1	110,3	110,3
Fuente de poder LOGO	1	93,4	93,4
Pt-100	1	140	140
Contactador de fuerza 3RT 7A	1	20,5	20,5
Guardamotor SIRIUS	1	50,9	50,9
Acople Guardamotor	1	3,2	3,2
		TOTAL	1215,4

Fuente: Anexo

6.3 COSTO HOMBRE-MÁQUINA

Para cada máquina y equipo utilizado en la construcción, el costo establecido incluye el costo del operario para la misma. El tiempo para cada operación es el determinado en el capítulo anterior. En la tabla 6.3 se detalla cada operación, el tiempo y el costo.

Tabla 6.3 Costo de mecanizado

OPERACIÓN	TIEMPO TOTAL [h]	COSTO [USD/h]	COSTO TOTAL [USD]
Trazado y Corte del material	7	5,00	35,00
Barolado	1.5	22,00	33,00
Esmerilado	11.4	5,00	57,00
Soldado	12.8	9,00	115,20
Doblado	2.2	7,50	16,50
Taladrado	3.0	7,00	21,00
Torneado	7.5	11,00	82,50
Montaje	33	4.00	132,00
		TOTAL	492,20

Fuente: TESPA⁶⁴

6.4 COSTO DE MONTAJE

Este costo corresponde a la mano de obra responsable del ensamble de cada uno de las partes de la máquina

Para el montaje se considera el trabajo de dos personas durante 2 días a un costo de \$20 por día.

⁶⁴ Proyecto Salesiano ciudad de Quito, Solanda sector 4, José María Alemán.

6.5 COSTO FINAL

En la tabla 6.4 se determina el costo final de diseño y construcción de la tostadora de ajonjolí por tandas.

Tabla 6.4 Costo final de diseño y construcción

DESCRIPCIÓN	VALOR [USD]
Costo de materiales normalizados	1215,4
Costo de materiales a mecanizar	797,89
Costo de maquinas y mano de obra	492,20
Costo de Diseño	615.22
TOTAL	3120.71

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El presente proyecto de titulación brinda una solución al problema planteado, al desarrollar una máquina que permite alcanzar el nivel de producción requerido y de ésta forma ayudar al desarrollo del sector agrícola ecuatoriano.
- El ajonjolí es un alimento altamente nutritivo que brinda muchos beneficios a la salud, pero para obtener dichas bondades es muy importante que sea correctamente tostado a la temperatura requerida, ya de no ser así, puede tener efectos tóxicos para el organismo.
- Con la investigación de campo se determina la realidad de la industria del cultivo así como los parámetros fundamentales, en base a los cuales se ha realizado el presente proyecto.
- La principal variedad de ajonjolí es del tipo “PORTOVIEJO 2”, en base a la cual se ha realizado los cálculos para el proceso de tostado.
- El estudio de factibilidad de la máquina aquí planteada, realiza un análisis general de varias alternativas y sistemas, para tener una amplia gama de selección y elegir la mejor alternativa.
- El uso de GLP como combustible en lugar de leña disminuye el costo de tueste.
- Para la selección y diseño se empleó catálogos de constructores, paquetes informáticos de diseño, libros de diseño y dibujo mecánico.

- El uso de acero inoxidable indicado para la cocción de alimentos en las secciones de la máquina que tienen contacto directo con el ajonjolí, garantiza que el proceso de tostado sea higiénico, logrando que el grano no se contamine.
- El diseño del sistema de calentamiento permite aprovechar de una manera más eficiente el calor generado, obteniendo un tueste rápido con las propiedades deseadas del ajonjolí.
- El proyecto desarrollado demuestra, que a pesar de las limitaciones existentes en nuestro país, es posible construir maquinaria que satisfaga los requerimientos técnicos de los productores agrícolas, mediante un trabajo conjunto de la universidad y la sociedad.

RECOMENDACIONES

- Para la construcción se debe realizar previamente un Protocolo de Pruebas, así como las Hojas de Procesos.
- Se debe evitar mover la tostadora repetidamente de su lugar de trabajo, ya que por su peso se puede producir distorsiones en los elementos de la misma.
- Para garantizar el desempeño adecuado de la máquina, se recomienda emplear para la construcción los equipos y materiales de los catálogos seleccionados.
- La tostadora en funcionamiento genera gran cantidad de gases, por lo cual es adecuado que se encuentre en un sitio que tenga buena ventilación, y de no ser así, se debe instalar un extractor de gases el cual libere de contaminación al sitio de trabajo.
- Se debe llevar a cabo un precalentamiento previo de la tostadora antes de empezar a operar la misma.
- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo, que permita a la máquina cumplir de forma satisfactoria con su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

- SHIGLEY, J; Diseño en Ingeniería Mecánica; Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición; México; 1987.
- SHIGLEY, J; Diseño en Ingeniería Mecánica; Editorial Mc Graw Hill, Octava Edición; México; 2010.
- VARGAS J.; Guía de los Fundamentos del Dibujo Industrial; 2007.
- MERIAM, J; Estática; Editorial Reverté; Barcelona; 1976.
- RIBA Carles; Diseño Concurrente; Editorial ETSEIB – UPC; Barcelona; 2004.
- CHEVALIER; Dibujo Industrial; Montaner y Simón S.A.; Barcelona, 1979.
- INEN; Código de Dibujo Técnico Mecánico; Quito, 1981.
- INCROPERA F; Fundamentos de Transferencia de Calor; Prentice Hall, Cuarta Edición, México; 1999.
- MARKS; Manual del Ingeniería mecánica; Tomo I y Tomo II; Editorial Mc Graw Hill; México; 1990.
- GTZ; Tablas para la Industria Metalúrgica, 3ª Edición; Ed. Reverté; Barcelona 1976.
- SKF; Catálogo General
- BOHLER. Manual de Aceros.

CONSULTAS WEB

- <http://www.gastronomiaycia.com/2008/01/07/semillas-de-sesamo-o-ajonjoli-sesamum-indicum.com>
- <http://www.cubavibra.es>
- <http://books.google.com/books?id=6nsi3d6U9vEC&pg=PP6&dq=VII+seminario+cosecha+mecanica+ajonjoli+ecuador.es>
- <http://www.alienzone.com>
- http://books.google.com/books?id=hZgi_IR4OXoC&pg=PA192&dq=almacenamiento+ajonjoli.com
- <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea72s/ch24.htm>
- http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistasci/Agronomia20Tropical/tcat_23.com
- <http://www.sica.gov.ec>
- <http://www.aphis.usda.gov/is/html>
- www.bce.fin.ec
- <http://www.ecuador.fedexpor.com/ecuador/html>

ANEXOS

ANEXO A: ESTUDIO DE CAMPO

Resumen del trabajo de campo

Provincia :	Manabí.
Cantón :	Sucre.
Temperatura promedio:	26 °C.
Humedad Relativa:	76%.
Nombre del Sitio de Investigación:	“Correagua”
Variedad del producto estudiado:	Ajonjolí “Portoviejo 2”
Periodo de cosecha:	2 meses.
Número de plantas sembradas:	20.

El estudio de campo se realizó en la provincia de Manabí, localidad “Correagua”, en el cual se sembró 20 semillas de ajonjolí tipo “Portoviejo 2”, se contrató a una persona para que se encargó del cuidado del cultivo y su posterior cosecha.

La ventaja supuesta del estudio de campo está en que se obtuvo semillas de ajonjolí en el suelo de la provincia que tiene la necesidad de tecnificar el proceso de tostado, lo que le da una alta confiabilidad al diseño de la máquina.

En un anexo posterior se analiza cuanta cantidad de calor se necesita para un correcto tostado de la semilla obtenida en este estudio.

Se tomaron diez semillas de ajonjolí para realizar un muestreo estadístico simple de sus dimensiones (largo, ancho, profundidad) que se detallan en la siguiente figura.

Figura A1. Dimensiones generales de la semilla de ajonjolí

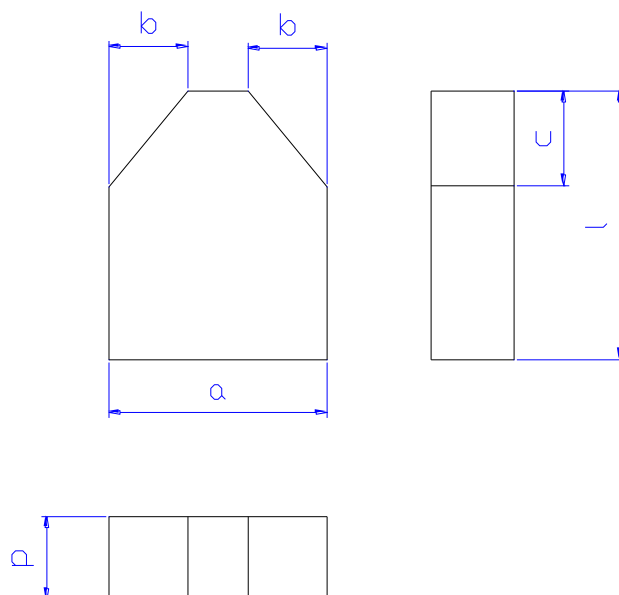


Tabla A1. Dimensiones de las muestras de AJONJOLÍ tipo Portoviejo 2

Ajonjolí tipo "Portoviejo 2"					
Muestra	a [mm]	b [mm]	c [mm]	l [mm]	p [mm]
1	1,96	0,48	1,08	3,28	0,8
2	2,2	0,64	0,68	2,96	1
3	2,02	0,59	0,92	3,58	0,98
4	1,82	0,37	1,1	3,36	0,96
5	1,38	0,29	0,8	3,2	0,88
6	1,98	0,7	1	3,16	0,8
7	1,6	0,37	0,78	3,1	1,18
8	2,08	0,51	1,18	3,38	0,98
9	1,78	0,39	0,78	3,6	0,98
10	1,98	0,59	0,68	2,8	0,92
Promedio	1,88	0,49	0,90	3,24	0,95

Fuente: Propia

En las figuras siguientes se muestra el estudio de campo realizado.

Figura A2. Planta de Ajonjolí un mes de cultivo.



Figura A3. Planta de Ajonjolí un mes y medio de cultivo.



Figura A4. Planta de Ajonjolí, dos meses de cultivo.



Figura A5. Planta de Ajonjolí, tres meses de cultivo, visita del Ing. Jaime Vargas



ANEXO B: CONJUNTO CATALINA CADENA

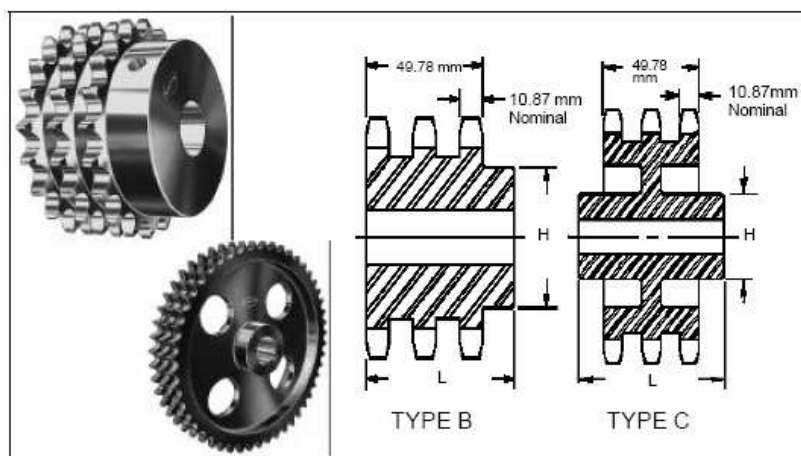


Metric Sprockets

ISO 12B-3

0.750 INCH (19,05MM) PITCH TRIPLEX

CHAIN DATA:
 BS 228/13
 ISO 12B-3
 PITCH: 19,05mm (0.750 in.)
 ROLLER DIAMETER: 12,07mm (0.475 in.)
 ROLLER WIDTH: 11,68mm (0.460 in.)
 TENSILE: 92,000 Newtons.



Triplex-Type B/C — Steel/Cast

No. Teeth	Pitch Diameter MM	Catalog Number	Bore		Hub		Weight (Approx.) Kilos
			Stock MM	Max. MM	H MM	L MM	
11	67,61	E12B11	20	32	47	70	1,13
12	73,61	E12B12	20	36	53	70	1,50
13	79,59	E12B13	20	38	59	70	1,77
14	85,61	E12B14	20	42	65	70	2,04
15	91,63	E12B15	20	45	71	70	2,45
16	97,65	E12B16	20	51	77	70	2,95
17	103,67	E12B17	20	54	83	70	3,49
18	109,71	E12B18	20	60	89	70	3,86
19	115,75	E12B19	20	62	95	70	4,54
20	121,78	E12B20	20	64	100	70	5,08
21	127,82	E12B21	20	64	100	70	5,67
22	133,86	E12B22	20	64	100	70	5,99
23	139,90	E12B23	20	73	110	70	6,62
24	145,94	E12B24	20	73	110	70	7,17
25	152,00	E12B25	20	80	120	70	7,71
26	158,04	E12B26	20	80	120	70	8,44
27	164,09	E12B27	20	80	120	70	8,99
28	170,13	E12B28	20	80	120	70	9,49
29	176,19	E12B29	20	80	120	70	9,99
30	182,25	E12B30	20	80	120	70	10,53
35	212,52	E12B35	25	85	130	70	18,95
36	218,58	E12B36	25	85	130	70	19,49
38	230,69	E12B38	25	85	130	70	20,57
45	273,10	E12B45*	25	85	130	70	24,36
48	291,27	E12B48*	25	85	130	70	25,98
57	345,81	E12B57*	32	82	130	85	33,73
60	363,99	E12C60*	32	82	130	85	35,51
68	412,49	E12C68*	32	82	130	85	40,24
76	460,99	E12C76*	40	95	140	85	37,19
80	485,22	E12C80*	40	95	140	85	39,15
95	576,17	E12C95*	40	95	140	100	47,63

Maximum bores shown will accommodate standard keyseat and setscrew over keyseat. Slightly larger bores are possible with no keyseat, shallow keyseat, or setscrew at angle to keyseat.

*Check for current availability.

Roller Chain Dimensions

BS/ISO Standard Series Chain

ISO Number	Pitch	Roller Diam.	Width Between Inner Plates	Inside Link Plate Height	Width over Bearing Pins	Average Tensile Strength (N)
05B	8,00	5,00	3,00	7,11	8,6	440
05B-2					14,2	780
05B-3					19,9	1 110
06	9,525	6,35	5,72	8,26	13,5	890
06B-2					23,8	1 690
06B-3					34,0	2 490
08	12,70	8,51	7,75	11,81	17,0	1 780
08B-2					31,0	3 110
08B-3					44,9	4 450
08A	12,70	7,95	7,85	12,07	17,8	1 380
10B	15,875	10,16	9,65	14,73	19,6	2 220
10B-2					36,2	4 450
10B-3					52,8	6 670
12B	19,05	12,07	11,68	16,13	22,7	2 890
12B-2					42,2	5 780
12B-3					61,7	8 670
16B	25,40	15,88	17,02	21,08	36,1	4 230
16B-2					68,0	8 450
16B-3					99,9	12 680
20B	31,75	19,05	19,56	26,42	43,2	6 450
20B-2					79,7	12 900
20B-3					115,1	19 350
24B	38,10	25,40	25,40	33,40	53,4	9 790
24B-2					101,8	19 570
24B-3					150,2	29 360
28B	44,45	27,94	30,99	37,08	65,1	12 900
28B-2					124,7	25 800
28B-3					184,3	38 700
32B	50,80	29,21	30,99	42,29	67,4	16 900
32B-2					126,0	33 810
32B-3					184,5	50 710
40B	63,50	39,37	38,10	52,96	82,6	26 240
40B-2					154,9	52 490
40B-3					227,2	78 730
48B	76,20	48,26	45,72	63,88	99,1	40 030
48B-2					190,4	80 070
48B-3					281,6	120 000
56B-1	88,90	53,98	53,34	77,8	114,6	246 000
56B-2	88,90	53,98	53,34		221,2	
64B-1	101,60	63,50	60,96	90,1	130,9	325 000
64B-2	101,60	63,50	60,96		250,8	
72B-1	114,30	72,39	68,58	103,6	147,4	399 000

Standard Keyway Dimensions (Metric)

Shaft Diameter		Key	Keyway Width	Keyway Depth
Over	Up to and Incl.			
6	8	2 x 2	2	1
8	10	3 x 3	3	1,4
10	12	4 x 4	4	1,8
12	17	5 x 5	5	2,3
17	22	6 x 2	6	2,8
22	30	8 x 7	8	3,3
30	38	10 x 8	10	3,3
38	44	12 x 8	12	3,3
44	50	14 x 9	14	3,8
50	58	16 x 10	16	4,3
58	65	18 x 11	18	4,4
65	75	20 x 12	20	4,9
78	85	22 x 14	22	5,4
85	95	25 x 14	25	5,4
95	110	28 x 16	28	6,4
110	130	32 x 18	32	7,4
130	150	36 x 20	36	8,4
150	170	40 x 22	40	9,4
170	200	45 x 25	45	10,4

Bore Tolerances (Metric)

Stock Metric Bores are machined to a minimum H7 Tolerance.

Standard Keyway Dimensions (Imperial)

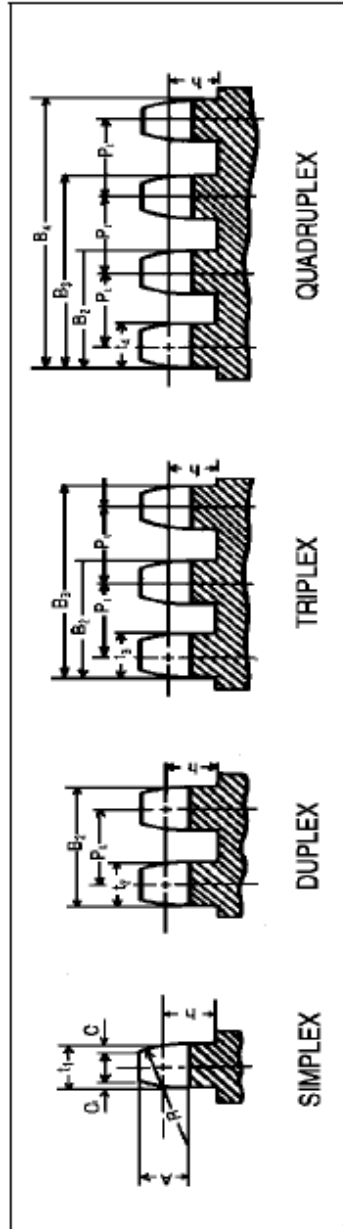
Shaft Diameter	Keyway	Width	Depth
$\frac{5}{16}$ to $\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$ x $\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{9}{16}$ to $\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$ x $\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{1}{2}$ to $1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{1}{4}$ to $1\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$ x $\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{1}{2}$ to $1\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$ to $2\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
$2\frac{1}{4}$ to $3\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
$3\frac{1}{4}$ to $3\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
$3\frac{3}{4}$ to $4\frac{1}{2}$	1 x 1	1	$\frac{3}{16}$
$4\frac{1}{2}$ to $5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{16}$ x $1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{3}{16}$
$5\frac{1}{2}$ to $6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{16}$ x $1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{3}{16}$

BORE TOLERANCES (Imperial)

1 and Less	+ .001-.000
1 to 2	+ .002-.000
2 to 3	+ .003-.000
3 & up	+ .004-.000

Bores with closer tolerances will be supplied at a slight increase in price.

ISO Sprocket Tooth Dimensions



ISO Chain No.	Characteristics of sprockets		Change Height	Single Strand Height	Double and Triple Strand			L4	B2	B3	B4	P1	Tolerance on P1 Maximum
	Pitch P	Roller Width W			Roller Diameter	B2	B3						
04	6	2.8	4	2.6	2.5	2.7	8.3	2.4	—	—	—	—	—
05	8	3.0	4	2.8	2.7	2.9	8.3	2.6	—	—	—	—	—
06	9.525	3.0	4	2.8	2.7	2.9	8.3	2.6	—	—	—	—	—
08	12.70	5.72	6.35	4.8	4.3	5.2	15.4	4.0	13.9	13.8	19.4	10.2	0.2
10	15.875	7.75	8.51	6.4	5.2	6.2	21.0	5.0	15.2	25.4	35.6	13.9	0.2
12	19.05	9.65	10.16	7.9	6.4	7.2	26.8	6.0	20.7	34.6	48.5	16.6	0.3
16	25.40	12.07	12.07	9.5	7.9	9.1	30.4	8.0	25.6	42.2	58.8	19.5	0.3
20	31.75	15.53	15.53	11.1	9.5	10.8	30.4	9.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
24	38.10	17.02	15.88	12.7	10.8	12.7	30.4	10.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
28	44.45	19.05	18.0	14.6	12.7	14.6	30.4	11.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
32	50.80	20.40	19.1	16.5	14.6	16.5	30.4	12.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
36	57.15	22.4	20.4	18.5	16.5	18.5	30.4	13.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
40	63.50	24.9	22.2	20.4	18.5	20.4	30.4	14.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
48	76.20	29.21	26.2	25.4	20.4	25.4	30.4	16.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
56	88.90	34.9	31.8	30.4	22.2	30.4	30.4	18.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
64	101.60	40.72	38.1	36.2	26.2	36.2	30.4	20.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
72	114.30	45.72	41.8	40.7	28.2	40.7	30.4	22.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.4
		53.34	44.5	44.5	30.4	44.5	30.4	24.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.6
		60.96	47.8	50.8	30.4	47.8	30.4	26.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.6
		68.58	51.2	55.2	30.4	51.2	30.4	28.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.6
		72.39	57.2	62.2	30.4	57.2	30.4	30.0	30.4	49.9	69.4	21.5	0.6

† = Not made in multiple strands.

ANEXO C: SISTEMA CALENTAMIENTO

EXPERIMENTO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA DEL TOSTADO DE AJONJOLI

Materiales e instrumentos para el experimento:

- Balanza Digital
- Cronometro
- Bandeja metálica
- 20 g de Ajonjolí
- Termómetro
- Hornilla eléctrica

Ejecución del experimento:

Primeramente se pesa la bandeja metálica porque es donde se va a tostar el ajonjolí, seguidamente se pesa 20 g de ajonjolí. Se enciende el hornilla eléctrica, se coloca la bandeja con el ajonjolí previamente medido, se mide la temperatura inicial, se activa el cronometro. Después de un tiempo determinado el ajonjolí se tuesta se para el cronometro y se mide la temperatura final de tostado.

Datos obtenidos en el experimento

Temperatura inicial del ajonjolí:	20° C.
Temperatura final de ebullición del agua:	250° C.
Presión atmosférica de la ciudad de Quito:	87,54 kPa.
Densidad del ajonjolí:	$0.5307 \frac{g}{cm^3}$
Calor específico a presión constante:	1,63 kJ / (kg. K)
Tiempo de tostado:	10 minutos.

Cálculo del calor entregado:

Para calcular la cantidad de calor necesario para tostar el ajonjolí se emplea las siguientes ecuaciones:

$$Q = mC_p(T_f - T_i) \quad (1)$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

Donde:

Q : Calor necesario para tostar el ajonjolí.

m : Masa de ajonjolí.

C_p : Calor específico a presión constante.

T_f : Temperatura final a la se tuesta el ajonjolí.

T_i : Temperatura inicial.

\dot{Q} : Flujo de calor.

t : Tiempo que se demora en tostarse el ajonjolí.

Reemplazando en la ecuación (1):

$$Q = 20Kg * \frac{1.63KJ}{Kg * K} (523 - 293)K$$

$$Q = 7500 KJ$$

Reemplazando en la ecuación (2)

$$\dot{Q} = \frac{7.5KJ}{10 * 60 s}$$

$\dot{Q} = 12.5 KW$, es el flujo de calor necesario para tostar 20 Kg de ajonjolí.

Las figuras siguientes son de la realización del experimento.

Figura C1. Equipos utilizados para el experimento



Figura C2. Medida de la temperatura inicial.



Figura C3. Medida del peso del ajonjolí.



Figura C4. Tostado del ajonjolí.



Figura C5. Temperatura final de tostado.



Figura C6. Tiempo de tostado.



ANEXO D: MATERIALES UTILIZADOS



DIPAC®

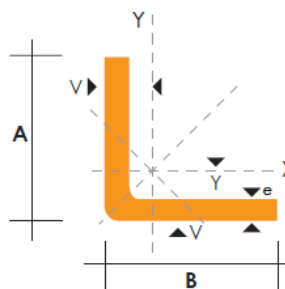
PRODUCTOS DE ACERO

ANGULOS "L" DOBLADO

PERFILES ESTRUCTURALES ANGULOS "L" DOBLADO

Especificaciones Generales

Norma	INEN 1 623: 2000
Otras calidades	Previa consulta
Largo normal	6,00 m
Otros largos	Previa consulta
Espesores	Desde 1,5 hasta 12 mm
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X		EJE Y-Y		EJE U-U	EJE V-V
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W	i	X=Y	i	i
mm	mm	mm	Kg	Kg		cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72	0.99	0.47
25	25	3	6.36	1.06	1.35	0.79	0.44	0.76	0.77	0.98	0.44
30	30	2	5.34	0.89	1.13	1.00	0.46	0.94	0.84	1.20	0.58
30	30	3	7.80	1.30	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89	1.18	0.55
30	30	4	10.08	1.68	2.14	1.80	0.88	0.92	0.94	1.17	0.52
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09	1.61	0.78
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14	1.59	0.76
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.78
40	40	5	19.62	2.82	3.59	5.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.56	1.43	1.98	0.94
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09	1.54	1.48	1.97	0.93
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62	1.53	1.53	1.96	0.90
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.84	1.89	1.64	2.41	1.16
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13
60	60	6	31.68	5.28	6.60	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11
60	60	8	41.04	6.84	8.55	28.21	6.85	1.82	1.88	2.34	1.05
75	75	3	19.56	3.26	4.35	24.60	4.48	2.38	2.01	3.02	1.48
75	75	4	27.06	4.51	5.74	32.02	5.88	2.36	2.06	3.00	1.45
75	75	5	33.42	5.57	7.09	39.08	7.25	2.35	2.11	2.99	1.43
75	75	6	40.32	6.72	8.40	45.76	8.57	2.33	2.16	2.97	1.40
75	75	8	52.56	8.76	10.95	58.03	11.05	2.30	1.25	2.95	1.37
75	75	10	64.92	10.82	13.36	68.89	13.38	2.27	2.35	2.92	1.32
80	80	4	28.92	4.82	6.14	39.10	6.72	2.52	2.18	3.21	1.56
80	80	5	35.76	5.96	7.59	47.79	8.28	2.51	2.23	3.20	1.54
80	80	6	43.20	7.20	9.00	56.05	9.80	2.49	2.28	3.18	1.51
80	80	8	56.40	9.40	11.75	71.32	12.67	2.46	2.37	3.16	1.46
80	80	10	68.94	11.49	14.36	84.94	15.36	2.43	2.47	3.13	1.43
80	80	12	81.78	13.63	16.83	97.05	17.87	2.40	2.57	3.10	1.38

También en galvanizado e inoxidable - Medidas Especiales Bajo Pedido.



PERFILES LAMINADOS PLATINAS

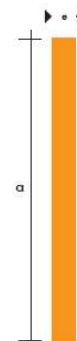
Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36 SAE 1008
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00 m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



PLATINAS

DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	25	12	2.12	12.71	2.70
PLT 30X4	30	4	0.71	4.24	0.90
PLT 30X6	30	6	0.94	5.65	1.20
PLT 30X9	30	9	1.41	8.47	1.80
PLT 30X12	30	12	2.12	12.71	2.70
PLT 38X3	38	3	2.83	16.95	3.60
PLT 38X4	38	4	0.89	5.37	1.15
PLT 38X6	38	6	1.19	7.16	1.52
PLT 38X9	38	9	1.79	11.40	2.28
PLT 38X12	38	12	2.69	16.11	3.42
PLT 50X3	50	3	3.58	21.48	4.56
PLT 50X4	50	4	1.18	7.08	1.50
PLT 50X6	50	6	1.58	9.42	2.00
PLT 50X9	50	9	2.26	14.16	3.00
PLT 50X12	50	12	3.53	21.20	4.50
PLT 65X6	65	6	4.71	28.26	6.00
PLT 65X9	65	9	3.06	18.37	3.90
PLT 65X12	65	12	4.59	27.55	5.85
PLT 75X6	75	6	6.12	36.73	7.80
PLT 75X9	75	9	3.53	21.20	4.50
PLT 75X8	75	8	5.30	31.80	6.75
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	7.07	42.39	9.00
PLT 100X8	100	8	4.71	28.26	6.00
PLT 100X9	100	9	7.07	42.39	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	7.07	42.39	9.00
PLT 150X15	150	15	67.82	407.52	90.00
PLT 150X20	150	20	105.88	635.28	140.00





DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

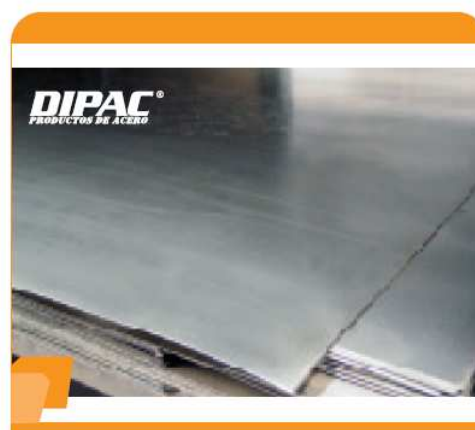


PLANCHAS

PLANCHAS LAMINADAS AL FRIO

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A366 JIS 3141 SPCC SAE 1008 SAE 1010
Espesores	0,40 a 1,90
Rollos	X 1219
Planchas	4 X 8 y medidas especiales



CALIDAD	DESIGNACION	CARBON	MANGANESO	FOSFORO	AZUFRE	ALUMINIO
Calidad Comercial	CS TIPO A	0,10	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO B	0,02 a 0,15	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO C	0,08	0,6	0,10	0,035	
Embutido leve	FS TIPO A	0,10	0,5	0,02	0,035	
	FS TIPO B	0,02 to 0,10	0,5	0,02	0,030	
Embutido profundo	DDS	0,06	0,5	0,02	0,025	0,01
	EDDS	0,02	0,4	0,02	0,020	0,01
Estructural SS Grd	30 (230)	0,20		0,040	0,040	
	37 (255)	0,20		0,10	0,040	
	40(275)	0,25		0,10	0,040	
	50(340)	0,40		0,20	0,040	
	50(340)	0,50		0,040	0,040	
	80 (550)	0,20		0,040	0,040	

PLANCHAS INOXIDABLES

Especificaciones Generales

Norma	304, 316, 430
Espesores	Desde 0,40mm hasta 15,00mm
Rollos	X 1220
Planchas	4 x 8
	Largos y calidades especiales bajo pedido

Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICION QUIMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenite	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,50	0,06	0,030	3,50 ~ 5,5
	18 Cr-6Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,50	2,00 - max	0,04	0,030	19,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	18Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 J1		4505	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	18,00 ~ 15,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
	18Cr-8Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
18Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4550	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00	
Ferrite	13Cr-Al	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	16Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr	SUS 430	430	4016	0,12 max	0,75	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	18Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Martensite	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr-high C	SUS 420 J2	420	4021	0,26 ~ 0,40	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr-high C	SUS 440 A	440 A		0,60 ~ 0,75	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 631	631		0,09 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

JIS* Japanese Industrial Standards
 AISI** American Iron and Steel Institute
 DIN*** Deutsche Industrie Normen

ANEXO D: PROFORMAS DE MATERIALES UTILIZADOS

COTIZACION No.	10884	PROVIACEROS CIA. LTDA.
ESTADO:		

RUC: 1792180147001 - TUMBACO, FCO SALAS E INTEROCEANICA - Telf(s): 022376663



CLIENTE: */ CONSUMIDOR FINAL TUMBACO /*	TELF:	OFERTA VALIDA POR: 0 Dias
ATENCION: F	RUC: 99999999999999	USUARIO: BOLIVAR
DIRECCION: TUMBACO	VENDEDOR: L-ARELLANO	FECHA: 12/05/2011

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	P.V.P	%	%	PVP Und	P.V.TOTAL
102530	ANGULO 1" X 1/8 (25 X 3mm) 6.64kg	4.00	6.8500			6.8500	27.40
800406	VARILLA REDONDA 6MM (1/4)	1.00	1.3200			1.3200	1.32
350040	PLANCHA ACERO INOX MATE 4.0 MM 304	1.00	455.3600			455.3600	455.36
220108	MALLA ARMEX 15 X 15 X 8.0 R-335 79.23KG	1.00	78.0500			78.0500	78.05
130020	EJE DE ACERO 3/4 (METRO)(13.38KG)	6.00	4.1500			4.1500	24.90
130044	EJE DE ACERO 1 3/4 (METRO)(74.10KG)	4.00	34.6000			34.6000	138.40
130063	EJE DE ACERO 2 1/2 (METRO)(150.00KG)	0.60	70.0400			70.0333	42.02
190301	ELECTRODO AGA C-13 6011 1/8 (KG)	10.00	3.1100			3.1100	31.10
274826	REMACHE POP 5/32 X 1/2	40.00	0.0145			0.0145	0.58
210204	ANT. NEGRO GALON (1015)	2.00	10.4500			10.4500	20.90
276001	THIÑER LITRO	1.00	1.3600			1.3600	1.36
276702	ENVASE PARA THIÑER	1.00	0.1500			0.1500	0.15
270612	CABLE LUZ SOLIDO Nø 12 METRO	100.00	0.4500			0.4500	45.00
270615	CABLE LUZ SOLIDO Nø 14 METRO	100.00	0.2900			0.2900	29.00

CONDICIONES DE PAGO:

Sub-Total:	895.54
0% DESCTO	0.00
12% IVA	107.47
TOTAL	1,003.01

(f.) Elaborado por	(f) Aprobado por

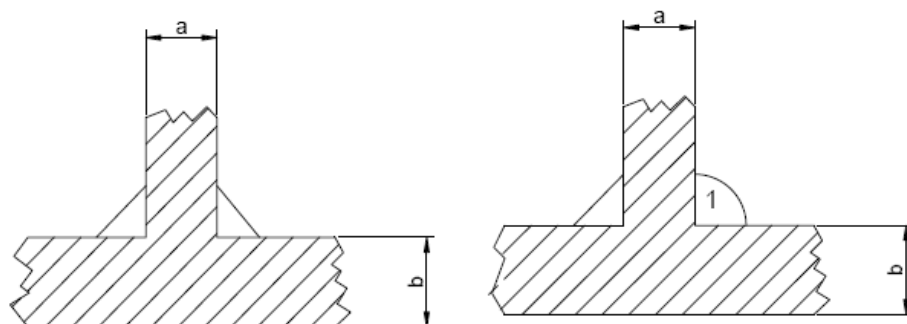
 <p>INASEL Cía. Ltda. Automatizando al país del futuro</p>		Departamento de Proyectos e Innovaciones		 <p>SIEMENS Distribuidor Autorizado</p>	
Solution Partner Automation		CONTRIBUYENTES ESPECIALES RESOLUCIÓN No. 826 22/12/2009		www.inaselecuador.com	
Jorge Juan N32-24 y Av. Mariana de Jesús Teléfonos: 2504423 / 2905464 / 2565487 Fax: 2565468 Quito -Ecuador				FECHA: 06/04/2011 OFERTA No: 40639	
COTIZACIÓN					
Cliente: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL			TELÉFONO:		
Atención:			FAX:		
Ciudad:			e-mail:		
<i>A continuación nos es grato presentarle nuestra mejor propuesta para el suministro de los siguientes materiales y servicios</i>					
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIT.	TOTAL	
1	1	RELE LOGICO PROGRAMABLE LOGO! 12/24 VDC, 4DI/4DO, 4AI (0-10V)	135,80	135,80	
2	1	MODULO AM2 PT100 12/24VDC, 2 ENTRADAS ANALOGICAS PT100	110,30	110,30	
3	1	FUENTE DE PODER LOGO! POWER. ENTRADA: 110/220VAC SALIDA: 24VDC/2,5A	93,40	93,40	
4	1	CABLE PC-LOGO! PARA TRANSMISION DE PROGRAMAS ENTRE LOGO! Y EL COMPUTADOR (PUERTO USB)	90,20	90,20	
5	1	PT-100 LONGITUD DE MONTAJE 100 MM, CONEXIÓN ELECTRICA DE 3 HILOS, RANGO DE MEDICION DE 50-400°C, TERMOPOZO DE ACUERDO CON DIN 43763, CONEXIÓN A PROCESO ROSCA G 1/2"	140,00	140,00	
6	1	CONTACTOR DE FUERZA 3RT 7A AC3, BOBINA: 120VAC	20,50	20,50	
7	1	GUARDAMOTOR SIRIUS 3RV, 4,5-6.3A, TAMAÑO S00	50,90	50,90	
8	1	ACOPLE GUARDAMOTOR-CONTACTOR S00	3,20	3,20	
9					
10					
11					
12					
13					
14					
TIEMPO DE ENTREGA:			INMEDIATA	SUBTOTAL 644,30	
FORMA DE PAGO:			CONTADO	DESCUENTO 15%	96,65
VIGENCIA DE LA OFERTA:			15 Días	IVA 12%	65,72
			TOTAL	613,37	
NOTAS			Realizado por:		
1	El tiempo de entrega ofertado se hace efectivo a partir de la fecha de recibida la orden de compra			Ing. Ximena Guamán	
2				Automatización de Procesos	
3				xguaman@inaselecuador.com Cel.: 087331731	

ANEXO F: ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Según norma : ASME IX – 2001	No. Identificación: EPN.2739 Fecha: 16/05/2010 Realizado por: Luis Rodríguez Revisado por: Ing. Jaime Vargas
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: NA Abertura raiz: 2 mm Talón: NA Angulo de ranura: NA Placa de respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Pase raíz : Disco / Grata Pases siguientes : Cepillo metálico (grata)
Artículo III. Metal Base Especificación: ASTM A 36 Espesor: a,b P No: 1 Gr No: 1	Artículo V. Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 1G Progresión: Descendente Técnica: Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>
Artículo IV. Metal de Aporte Diámetro: 3.2 y 4.0 mm Denominación AWS: E 6011 Casa comercial: AGA Denominación comercial: C-10	Precalentamiento N/A Tiempo entre pases N/A
	Artículo VI. Notas Verificar alineación de la junta Asegurar limpieza de las partes

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E 6011	3.2	DC ⁻	80-120	22-27	172-211		X

ANEXO G: SISTEMA DE CONTROL



LOGO! Text Display

LOGO! Text Display

Overview

- ▼ Description
- ▼ Benefits
- ▼ Design and functions
- ▼ Technical Data

Description

Introducing the new remote LOGO! TD text display, the newest accessory for the line of LOGO! products. The LOGO! TD provides an affordable interface for equipment builders and their customers, even for simple relay switching systems. Adjustments and troubleshooting alarms are easily handled using the LOGO! TD with built-in operator functions and diagnostics. The expansion and communications modules, as well as programs from earlier LOGO! generations are compatible when upgrading to the new Basic or Pure logic module to be able to utilize the LOGO! TD.

Benefits

- Controllable backlight and multi-language character sets
- Supports 12 or 16 standard characters per line depending on selected character set
- Display of up to 50 messages on either the on-board LCD or external TD or both
- Switch between 2 screens or scroll up to 32 characters on any or all lines for each message
- Display of up to 4 bar graphs and 4 I/O statuses per message and per character set
- Password protection of RUN/STOP options on the TD

Design and functions

Truly Remote Text Display

You can now optionally connect an additional text display to any of the new LOGO! controllers without needing a dedicated communications module. Highlighting its ease of implementation:

the same message text function block is used for either internal or external display where the message texts can also be selectively output to either or both. For example, you can output messages relevant to operation on the text display and service information only in the switching cabinet.

The backlighting duration of both displays is controllable from the program and can also be set for continuous operation.

Expanded Functionality

The new LOGO! offers maximum visualisation with up to 50 four-line message texts with up to 32 characters per line, clearly displaying all relevant machine parameters on either or both the built-in LCD or remote LOGO! TD.

'Ticker-text', bar graph or I/O status switching enhance this further.



Simple connection of the LOGO! TD text display

Technical Data

- shipped with interface cable for connection to any OBA6 Base Module
- polarity independent power supply socket for 12 V DC or 24 V AC/DC
- contrast and backlight control
- identical display as a Base Module 'Basic' variant or independent message text displays
- IP65 when correctly panel-mounted
- 6 tactile input buttons identical to the Base Module 'Basic' variant
- 4 additional Function Input buttons for inputs directly into the program code
- easily configured with the message text function block in the program code
- supports the same 10 menu languages and associated character sets as the 'Basic' Base Module

LOGO! TD Text Display	
Supply voltage	12 V DC , 24 V AC/DC
Permissible range	10.2 to 28.8 V DC or 20.4 to 26.4 V AC (47 to 63 Hz)
Inputs	6 standard keys, 4 function keys (tactile surface buttons)
Display	61 x 33 mm, white controllable backlight, adjustable contrast
Lines / Characters	4 lines, 12/16 characters per line (depending on selected character set)
Connecting cable length	2.5 m (extend up to 10 m with standard 'straight-through' 9-pin serial cable)
Power consumption at 24 V DC	typ. 65 mA (12 V DC), typ. 40 mA (24 V DC), typ. 90 mA (24 V AC)
Cut-out dimensions (W x H x D)	119.5 x 78.5 x 1.5 – 4.0 mm for panel mounting (128.2 x 86 x 38.7 overall)
