



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL  
DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC**

**Christopher Albany López Paiz**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL  
DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CHRISTOPHER ALBANY LÓPEZ PAIZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 18 de julio de 2016.

**Christopher Albany López Paiz**



Guatemala, 17 de mayo de 2017  
REF.EPS.DOC.142.05.17.

Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

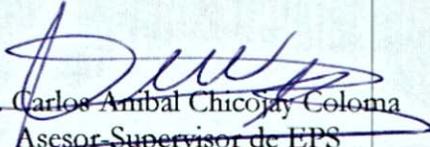
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Christopher Albany López Paiz** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200212591, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Carlos Anibal Chicojaj Coloma  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
CACC/ra





Guatemala, 17 de mayo de 2017  
REF.EPS.D.141.05.17

Ing. Roberto Guzmán  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

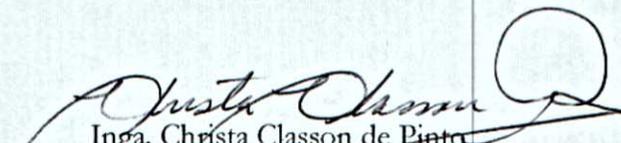
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Christopher Albany López Paiz** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
**DIRECCIÓN**  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería

CCdP/ra



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.175.2017

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC** desarrollado por el estudiante **Christopher Albany López Paiz**, CUI **1658894460101**, Registro Académico **200212591** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador Área Complementaria  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, mayo 2017



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

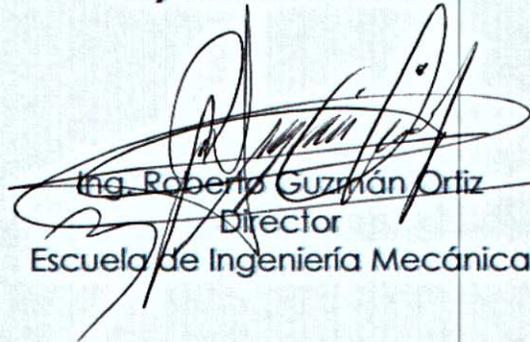
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.236.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC** del estudiante **Christopher Albany López Paiz, CUI 1658894460101, Registro Académico 2002-12591** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 2017

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

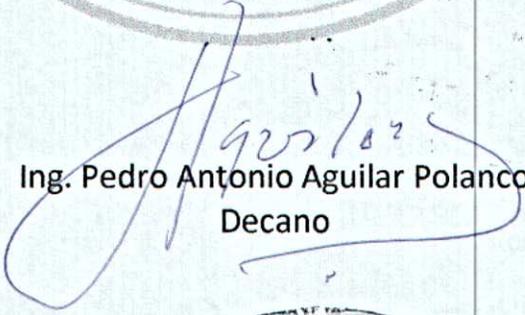


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 386.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC**, presentado por el estudiante universitario: **Christopher Albany López Coloma**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, septiembre de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser la piedra angular que guía mi camino en todo el transcurso de mi carrera y por formar parte fundamental en todo momento de mi vida.
- Mis padres** Perfecto Prudencio López Sigüenza, Gladis Paiz Pineda de López, que mi triunfo sea una victoria de gratitud a los sacrificios, comprensión y a su gran amor
- Mis hermanos** Gladis Anais, Jessy Karina, por el apoyo brindado y por saber comprenderme.
- Mi cuñado** Carlos Alberto Mijangos Anaya, por nutrir mis conocimientos con sus sabios consejos.
- Mis sobrinos** Katherine Anais, Javier Alberto, Harriett Alexandra, para que esto sea un ejemplo, que ellos puedan seguir.
- Mis compañeros** Por compartir momentos en las aulas de nuestra querida facultad, ser mis amigos y formar parte fundamental para finalizar mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante parte de mi vida y abrirme las puertas para llegar a cumplir este sueño.

**Facultad de Ingeniería**

Porque a través de sus catedráticos adquirí conocimientos que me han sido de mucha utilidad.

**Mis catedráticos**

Que con mucho gusto y sin egoísmo me brindaron sus conocimientos.

**Mis amigos**

Por su apoyo durante los diferentes ciclos de mi vida como estudiante ya que ellos también tienen méritos en esta meta alcanzada.



1.3.4.	Trituradora.....	10
1.3.4.1.	Trituradora de mandíbulas .....	11
1.3.4.1.1.	Tipos de trituradora de mandíbulas.....	12
1.3.4.2.	Trituradora giratoria .....	13
1.3.4.2.1.	Trituradora de eje vertical y apoyo superior .....	13
1.3.4.2.2.	Trituradora de eje vertical y apoyo inferior .....	14
1.3.4.3.	Trituradora de rodillos .....	15
1.3.4.4.	Trituradora de tornillos .....	16
1.3.4.4.1.	Trituradora de tornillo de eje horizontal.....	17
1.3.4.4.2.	Trituradora de martillos de eje vertical.....	18
1.3.5.	Mantenimiento.....	19
1.3.5.1.	Tipos de mantenimiento .....	19
1.3.5.1.1.	Mantenimiento de conservación .....	20
1.3.5.1.2.	Mantenimiento correctivo.....	20
1.3.5.1.3.	Mantenimiento preventivo.....	20
1.3.5.1.4.	Mantenimiento de actualización .....	21
1.4.	Descripción del proceso de diseño .....	21

1.4.1.	Reconocimiento de la necesidad en la unidad sociopreventiva.....	23
1.4.2.	Definición del problema de triturado de sal.....	24
1.4.2.1.	Triturado de sal.....	24
1.4.2.2.	Mantenimiento .....	24
1.4.3.	Síntesis, análisis y optimización de la propuesta de diseño .....	24
1.4.4.	Evaluación de la propuesta.....	25
1.4.5.	Presentación final de la propuesta de diseño .....	25
1.5.	Diagnóstico de la unidad socio preventiva.....	25
1.5.1.	Fisiología de los fluoruros .....	31
1.5.2.	Funciones del flúor en la estructura dentaria .....	31
1.5.3.	Fluoruración de la sal .....	31
1.5.4.	Consumo promedio de sal en Guatemala .....	33
1.6.	Proceso de fortificación .....	34
1.6.1.	Reglamento para la fortificación de sal con yodo y sal con flúor, Acuerdo Gubernativo 29-2004.....	35
1.6.2.	Sal de calidad alimentaria para consumo humano directo .....	35
1.6.3.	Envase primario.....	35
1.6.4.	Nivel de fortificación.....	36
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	37
2.1.	Diseño de la máquina trituradora de sal .....	37
2.1.1.	Análisis de diseño de la máquina .....	37
2.1.1.1.	Precisión de la máquina trituradora de sal .....	37
2.1.1.2.	Restricciones .....	37
2.1.1.3.	Parámetros a cumplir.....	38

2.1.1.4.	Funciones de la máquina .....	38
2.1.2.	Criterios de selección .....	38
2.1.3.	Evaluación.....	40
2.1.3.1.	Tipo 1: trituradora giratoria .....	41
2.1.3.1.1.	Ventajas del tipo 1.....	42
2.1.3.1.2.	Desventajas del tipo 1...	43
2.1.3.2.	Tipo 2: trituradora de rodillos.....	43
2.1.3.2.1.	Ventajas del tipo 2.....	44
2.1.3.2.2.	Desventajas del tipo 2...	45
2.1.3.3.	Tipo 3: trituradora de impacto.....	45
2.1.3.3.1.	Ventajas del tipo 3.....	46
2.1.3.3.2.	Desventajas del tipo 3...	47
2.1.4.	Selección a seguir .....	47
2.1.5.	Parámetros de diseño .....	48
2.1.6.	Capacidad del sistema a diseñar .....	50
2.1.7.	Especificaciones.....	50
2.1.8.	Material a utilizar .....	51
2.1.8.1.	Aceros austeníticos serie 200 .....	52
2.1.8.1.1.	AISI 201/J4.....	52
2.1.8.1.2.	AISI 202/JSL AUX.....	53
2.1.8.2.	Aceros austeníticos serie 300 .....	53
2.1.8.2.1.	AISI 301 .....	53
2.1.8.2.2.	AISI 304 .....	53
2.1.8.2.3.	AISI 304L .....	53
2.1.8.2.4.	AISI 310 .....	54
2.1.8.2.5.	AISI 316 .....	54
2.1.8.2.6.	AISI 316L .....	54
2.1.8.3.	Aceros martensíticos serie 400 .....	54
2.1.8.3.1.	AISI 420 .....	54

2.1.8.4.	Aceros ferríticos serie 400 .....	55
2.1.8.4.1.	AISI 430.....	55
2.1.9.	Diseño de las partes principales .....	56
2.1.9.1.	Trituradora de rodillos .....	56
2.1.9.2.	Diseño de los rodillos.....	57
2.1.9.3.	Número de rodillos.....	57
2.1.9.4.	Diámetro de rodillos.....	57
2.1.9.4.1.	Ángulo de separación de los rodillos.....	57
2.1.9.4.2.	Determinación del coeficiente de fricción de la sal .....	58
2.1.9.4.3.	Proceso de cálculo para el diámetro en los rodillos.....	59
2.1.9.4.4.	Proceso de cálculo de las revoluciones por minuto en los rodillos....	62
2.1.9.4.5.	Densidad teórica.....	63
2.1.9.4.6.	Densidad experimental .....	64
2.1.9.4.7.	Capacidad de trituration.....	65
2.1.9.4.8.	Procedimiento del cálculo de la superficie en contacto entre el grano de sal y los rodillos.....	66

	2.1.9.4.9.	Proceso de cálculo en la carga de los rodillos ..	68
2.1.9.5.		Proceso de cálculo para el diámetro de las poleas .....	70
	2.1.9.5.1.	Material de las poleas ...	72
2.1.9.6.		Engranajes .....	73
	2.1.9.6.1.	Proceso de cálculo para el diámetro en los engranes.....	73
	2.1.9.6.2.	Número de dientes en los engranes.....	74
	2.1.9.6.3.	Diámetro externo en el engrane .....	75
	2.1.9.6.4.	Proceso de cálculo del paso en el engrane.....	76
	2.1.9.6.5.	Cálculo de altura del diente en el engrane .....	76
	2.1.9.6.6.	Determinación del diámetro interno en el engrane.....	77
	2.1.9.6.7.	Determinación del espesor en el diente.....	77
	2.1.9.6.8.	Determinación de la longitud en el diente .....	78
	2.1.9.6.9.	Material de los engranes .....	78
2.1.9.7.		Determinación en la selección de las chavetas .....	79

2.1.9.7.1.	Selección en las dimensiones de las chavetas y sus chaveteros.....	79
2.1.9.7.2.	Determinación del material de las chavetas .....	80
2.1.9.8.	Determinación del cálculo de la potencia necesaria en los elementos mecánicos.....	81
2.1.9.8.1.	Determinación de la potencia necesaria en el rodillo principal.....	81
2.1.9.8.2.	Determinación del momento de inercia en el rodillo principal.....	81
2.1.9.8.3.	Determinación de la velocidad angular en el rodillo principal.....	83
2.1.9.8.4.	Determinación del torque necesario en el rodillo principal.....	85
2.1.9.8.5.	Determinación de la potencia necesaria del rodillo principal.....	85
2.1.9.8.6.	Determinación de la potencia necesaria del rodillo secundario .....	86

2.1.9.8.7.	Determinación del cálculo en el momento de inercia para el rodillo secundario.....	86
2.1.9.8.8.	Determinación del torque necesario en el rodillo secundario.....	88
2.1.9.8.9.	Determinación de la potencia necesaria del rodillo secundario.....	88
2.1.9.9.	Determinación de la potencia necesaria para las poleas.....	88
2.1.9.9.1.	Determinación del volumen en la polea motriz.....	89
2.1.9.9.2.	Determinación de la masa en la polea motriz.....	89
2.1.9.9.3.	Determinación de la inercia en la polea motriz.....	90
2.1.9.9.4.	Determinación del volumen en la polea conducida.....	91
2.1.9.9.5.	Determinación de la masa en la polea conducida.....	91

2.1.9.9.6.	Determinación de la inercia en la polea conducida .....	91
2.1.9.10.	Determinación de la potencia requerida en los engranes .....	93
2.1.9.10.1.	Determinación del volumen en el engrane .....	93
2.1.9.10.2.	Determinación de la masa en el engrane.....	93
2.1.9.10.3.	Determinación de la inercia en el engrane ....	94
2.1.9.10.4.	Determinación del torque en el engrane ....	94
2.1.9.10.5.	Determinación de la potencia en el engrane .....	95
2.1.9.11.	Determinación de la potencia necesaria para triturar los granos de sal.....	95
2.1.9.12.	Determinación de los parámetros en el motorreductor.....	96
2.1.9.13.	Correa de transmisión .....	97
2.1.9.13.1.	Determinación en la selección de correas de transmisión .....	98
2.1.9.13.2.	Determinación en los parámetros de diseño	

	para correas de transmisión.....	98
2.1.9.13.3.	Potencia teórica de la correa de transmisión..	100
2.1.9.13.4.	Determinación en la potencia total del diseño .....	100
2.1.9.13.5.	Selección de la correa de transmisión.....	101
2.1.9.13.6.	Determinación en la selección del diámetro para las poleas.....	103
2.1.9.13.7.	Parámetros de las distancias comprendidas entre centros .....	104
2.1.9.13.8.	Determinación del ángulo de contacto.....	105
2.1.9.13.9.	Determinación de longitud en la banda....	106
2.1.9.14.	Determinación del cálculo para el diseño en los rodillos.....	106
2.1.9.14.1.	Esquema del diagrama de cuerpo libre en los rodillos .....	106
2.1.9.14.2.	Determinación del momento flector y fuerza de corte en los rodillos.....	107

2.1.9.14.3.	Determinación del diseño estático en los rodillos .....	109
2.1.9.14.4.	Determinación del esfuerzo normal máximo en los rodillos	109
2.1.9.14.5.	Determinación del esfuerzo de torsión en los rodillos.....	110
2.1.9.14.6.	Teoría de la energía de distorsión .....	110
2.1.9.14.7.	Determinación del factor de seguridad.....	111
2.1.9.15.	Determinación en el diseño dinámico en los rodillos.....	112
2.1.9.15.1.	Determinación del límite de resistencia en los rodillos.....	112
2.1.9.15.2.	Determinación del límite de la resistencia a la fatiga de la muestra de la viga rotatoria $S_e$ .....	113
2.1.9.15.3.	Determinación del acabado superficial $k_a$	114
2.1.9.15.4.	Determinación y condiciones del tamaño $k_b$ .....	114

2.1.9.15.5.	Determinación del factor de confiabilidad $k_c$ .....	115
2.1.9.15.6.	Condiciones para el efecto de temperatura $k_d$ .....	115
2.1.9.15.7.	Determinación en la concentración de esfuerzos en los rodillos.....	116
2.1.9.15.8.	Determinación del factor de modificación por concentración de esfuerzos.....	119
2.1.9.15.9.	Criterio de la falla a la fatiga de Goodman.....	120
2.1.9.15.10.	Determinación del esfuerzo de amplitud ...	120
2.1.9.15.11.	Determinación del esfuerzo medio en los rodillos.....	121
2.1.9.16.	Factores en la selección de chumaceras.....	124
2.1.9.17.	Diseño de tolva para ingreso de sal ...	125
2.1.9.17.1.	Criterios de selección y diseño.....	125
2.1.9.17.2.	Selección del material de la tolva.....	127
2.1.10.	Volumen total de la máquina.....	128

2.1.11.	Grosor de lámina a utilizar .....	128
2.1.12.	Estructura de soporte del material .....	129
2.1.12.1.	Cálculo del área del tubo .....	131
2.1.12.2.	Análisis del esfuerzo de compresión .	132
2.1.12.3.	Análisis del pandeo de los tubos ASTM 500.....	133
2.1.12.3.1.	Esbeltez.....	135
2.1.12.3.2.	Esbeltez de transición	137
2.1.13.	Estructura de cimentación de la máquina.....	139
2.1.13.1.	Selección de pernos para el anclaje..	143
2.1.14.	Especificación de motores .....	144
2.2.	Manual de construcción de la máquina .....	146
2.2.1.	Generalidades de la construcción.....	146
2.2.2.	Objetivos.....	146
2.2.3.	Alcances .....	147
2.2.4.	Responsables .....	147
2.2.5.	Listado de materiales.....	147
2.2.6.	Equipo para la construcción.....	148
2.2.7.	Procedimientos .....	150
2.2.8.	Cortes .....	150
2.2.8.1.	Aserrado, cizallado y punzonado .....	150
2.2.8.2.	Doblado de acero inoxidable .....	152
2.2.8.3.	Operaciones de corte y montaje .....	153
2.2.9.	Soldadura .....	154
2.2.10.	Especificaciones de soldadura .....	156
2.2.10.1.	Tipos de soldadura para el acero inoxidable.....	156
2.2.10.2.	Aspectos operativos para la soldadura en el acero inoxidable .....	157

	2.2.10.3.	Soldadura a la derecha .....	158	
	2.2.10.4.	Soldadura a la izquierda.....	159	
	2.2.10.5.	Soldadura en vertical.....	159	
	2.2.10.6.	Soldadura en cornisa .....	160	
	2.2.10.7.	Soldadura en techo .....	161	
	2.2.10.8.	Preparación de los bordes de la soldadura.....	161	
	2.2.10.9.	Tamaño en la soldadura.....	162	
	2.2.10.10.	Humedad.....	163	
	2.2.10.11.	Limpieza.....	163	
	2.2.10.12.	Ventilación y control de humos.....	164	
	2.2.11.	Estructura del recipiente del triturado.....	165	
	2.2.12.	Diagrama de ensamble .....	166	
2.3.		Manual de mantenimiento de la máquina.....	182	
	2.3.1.	Generalidades del mantenimiento.....	182	
		2.3.1.1. Mantenimiento correctivo .....	182	
		2.3.1.2. Mantenimiento preventivo .....	183	
		2.3.1.3. Mantenimiento predictivo.....	187	
	2.3.2.	Fichas técnicas.....	187	
	2.3.3.	Rutinas de mantenimiento.....	189	
	2.3.4.	Proceso de mantenimiento.....	202	
		2.3.4.1. Mantenimiento de motor eléctrico .....	204	
			2.3.4.1.1. Proceso de mantenimiento de motor eléctrico.....	204
		2.3.4.2. Mantenimiento de motorreductor.....	207	
			2.3.4.2.1. Proceso de mantenimiento de motorreductor.....	208

	2.3.4.2.2.	Fallas en los engranes del motorreductor .....	209
	2.3.4.3.	Mantenimiento de engranes .....	218
	2.3.4.4.	Mantenimiento de poleas.....	221
	2.3.4.5.	Mantenimiento de bandas de transmisión .....	223
	2.3.4.5.1.	Falla lateral vitrificada en banda .....	224
	2.3.4.5.2.	Falla por rotura irregular en bandas.....	225
	2.3.4.5.3.	Falla por grietas en bandas.....	226
	2.3.4.5.4.	Falla por separación de compuestos en bandas.....	227
	2.3.4.6.	Mantenimiento de chumaceras.....	229
	2.3.4.7.	Mantenimiento de rodillos.....	231
	2.3.4.8.	Limpieza general de la máquina .....	232
	2.3.4.8.1.	Material a utilizar .....	234
	2.3.4.8.2.	Procedimiento a realizar.....	234
2.4.		Diseño final de la máquina trituradora de sal.....	236
2.5.		Costo de la propuesta.....	238
	2.5.1.	Materiales y elementos normalizados.....	239
	2.5.2.	Maquinado de piezas y estructura .....	240
	2.5.3.	Costo del diseño .....	241
	2.5.4.	Imprevistos .....	241
	2.5.5.	Puesta en marcha.....	241

3.	FASE DE DOCENCIA.....	243
3.1.	Importancia del orden en las labores de propuesta de diseño.....	243
3.2.	Proceso de diseño de la máquina .....	244
3.3.	Presentación de avances en las diferentes fases .....	244
3.4.	Propuesta de capacitación sobre mantenimiento de la máquina trituradora de sal al personal de AOSP .....	244
	CONCLUSIONES.....	247
	RECOMENDACIONES .....	249
	BIBLIOGRAFÍA.....	251
	ANEXOS.....	269

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Trituración por las propiedades físicas.....	8
2.	Métodos de trituración.....	9
3.	Trituradora de mandíbulas .....	11
4.	Tipos de trituradora de mandíbulas según el punto de pivote.....	12
5.	Trituradora de eje vertical y apoyo superior .....	14
6.	Trituradora de eje vertical y apoyo inferior .....	15
7.	Trituradora de rodillos .....	16
8.	Trituradora de tornillo de eje horizontal.....	17
9.	Trituradora de martillos de eje vertical .....	18
10.	Tipos de mantenimiento .....	19
11.	Diagrama del proceso de diseño.....	23
12.	Trituradora giratoria.....	42
13.	Trituradora de rodillos .....	44
14.	Trituradora de impacto .....	46
15.	Determinación del coeficiente de fricción.....	58
16.	Tamaño de alimentación vrs tamaño de producto .....	61
17.	Superficie de contacto en los rodillos .....	66
18.	Distribución de carga del rodillo .....	68
19.	Polea.....	70
20.	Engranaje.....	73
21.	Esquema de una chaveta.....	79
22.	Esquema de rodillo principal .....	82
23.	Esquema de rodillo secundario .....	87

24.	Esquema de una banda trapezoidal .....	101
25.	Selección de la correa .....	103
26.	Fuerzas que actúan en el rodillo .....	107
27.	Diagrama de cuerpo libre.....	109
28.	Diagrama del esfuerzo cortante .....	110
29.	Diagrama del momento flector .....	111
30.	Barra circunferencial sometida a torsión.....	116
31.	Diagrama de sensibilidad de la muesca para aceros y aleaciones de aluminio .....	117
32.	Diagrama de sensibilidad de la muesca de materiales sometidos a torsión inversa.....	118
33.	Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión .....	118
34.	Diseño de la tolva .....	127
35.	Estructura de soporte.....	130
36.	Cálculos del área del tubo .....	131
37.	Dimensiones de un saco promedio.....	134
38.	Coeficiente de empotramiento de la columna .....	136
39.	Esquema de la placa base.....	140
40.	Perno de fijación .....	144
41.	Motor eléctrico .....	145
42.	Esquema de soldadura a la derecha .....	158
43.	Esquema de soldadura a la izquierda.....	159
44.	Esquema de soldadura vertical.....	160
45.	Esquema de soldadura de cornisa.....	160
46.	Esquema de soldadura en techo .....	161
47.	Preparación de bordes.....	162
48.	Esquema del recipiente del triturado.....	165
49.	Diagrama de ensamble de la máquina .....	171
50.	Partes de un motor eléctrico .....	206

51.	Picadura inicial .....	210
52.	Picadura progresiva .....	211
53.	Descostrado de engranes .....	211
54.	Forma de desgaste abrasivo en engranes .....	212
55.	Forma del desgaste adhesivo de engrane .....	213
56.	Forma de desgaste por pulido en engranes.....	214
57.	Forma de desgaste por erosión .....	215
58.	Forma de desgaste por descarga eléctrica .....	216
59.	Forma de desgaste por corrosión .....	217
60.	artes de un motorreductor .....	218
61.	Partes de los engranes .....	221
62.	Partes de una polea .....	223
63.	Falla lateral vitrificada.....	225
64.	Falla por rotura irregular.....	226
65.	Falla por grieta .....	227
66.	Falla por separación de compuestos .....	228
67.	Partes de una banda de transmisión.....	228
68.	Partes de una chumacera .....	231
69.	Máquina trituradora de sal.....	237
70.	Explosionado de la máquina trituradora de sal .....	238

## **TABLAS**

I.	Selección a seguir .....	48
II.	Propiedades químicas, mecánicas y físicas de los aceros inoxidables AISI 304 y AISI 304L .....	55
III.	Tabla de resultados obtenidos .....	59
IV.	Densidad de la sal.....	63
V.	Propiedades físicas del aluminio .....	72

VI.	Factor de servicio K .....	100
VII.	Diámetro mínimo de poleas .....	103
VIII.	Condición superficial de Marín.....	114
IX.	Factor de confiabilidad estándar de 8 % del límite de fatiga.....	115
X.	Factores de seguridad dependiendo la carga aplicada.....	129
XI.	Tubo cuadrado con especificaciones de fabricación bajo la norma ASTM 500.....	130
XII.	Peso de cada parte propuesta para la estructura .....	131
XIII.	Métodos de corte de acero inoxidable .....	152
XIV.	Comparativa entre la soldadura en aceros inoxidable austeníticos vr aceros al carbono .....	154
XV.	Construcción de rodillos.....	166
XVI.	Construcción de engranes .....	167
XVII.	Construcción de poleas .....	168
XVIII.	Construcción de estructura soporte .....	169
XIX.	Construcción de placa recipiente.....	170
XX.	Construcción de tolva .....	171
XXI.	Engrane de potencia o motriz .....	173
XXII.	Polea conducida .....	174
XXIII.	Engrane conducido .....	175
XXIV.	Polea motriz.....	176
XXV.	Rodillo motriz .....	177
XXVI.	Rodillo conducido.....	178
XXVII.	Recipiente de triturado.....	179
XXVIII.	Tolva de ingreso para triturado .....	180
XXIX.	Estructura de soporte.....	181
XXX.	Ficha técnica de máquina .....	188
XXXI.	Rutina de motor eléctrico .....	190
XXXII.	Rutina de motorreductor .....	191

XXXIII.	Rutina de rodillo motriz.....	192
XXXIV.	Rutina de rodillo conducido .....	193
XXXV.	Rutina de engrane motriz .....	194
XXXVI.	Rutina de engrane conducido .....	195
XXXVII.	Rutina de polea motriz .....	196
XXXVIII.	Rutina de polea conducida.....	197
XXXIX.	Rutina de tolva de ingreso.....	198
XL.	Rutina de chumaceras .....	199
XLI.	Rutina de recipiente de triturado .....	200
XLII.	Rutina de estructura soporte .....	201
XLIII.	Rutina de banda de transmisión.....	202
XLIV.	Costos de materiales normalizados .....	239
XLV.	Elementos normalizados .....	240
XLVI.	Maquinado de piezas y estructura .....	242
XLVII.	Costo total de la propuesta .....	242



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\theta_{cont}$	Ángulo de contacto
$\alpha$	Aceleración angular
$h$	Altura de la correa
$H$	Altura del diente
$a$	Ancho de la correa
$ap$	Ancho primitivo de la correa
$\theta_L$	Ángulo de contacto de la polea conducida
$\theta_s$	Ángulo de contacto de la polea motriz
$\theta$	Ángulo de separación de los rodillos
$A$	Área
$A_{con}$	Área de contacto
$A_1$	Área de la placa
$A_p$	Área del perfil
$A_p$	Área del tubo
$A_{sal}$	Área en un grano de sal
<b>AOSP</b>	Área Odontología Sociopreventiva
<b>BHN</b>	<i>Brinell hardness number</i> (Número de la dureza de Brinell)
<b>Q</b>	Capacidad de trituración de los rodillos
$P_u$	Carga axial que actúa sobre una de las columnas en la estructura
$P_E$	Carga crítica de Euler
$q_c$	Carga unitaria

<b>cm</b>	Centímetros
<b>k</b>	Coeficiente de empotramiento de la columna
<b><math>\mu</math></b>	Coeficiente de fricción
<b><math>\mu_{\text{raz}}</math></b>	Coeficiente de razonamiento
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b><math>D_{\text{sal}}</math></b>	Densidad de la sal
<b><math>\rho_{\text{aceroinox}}</math></b>	Densidad del acero inoxidable
<b><math>\rho_{\text{alum}}</math></b>	Densidad del aluminio
<b>dteórica</b>	Densidad teórica
<b>DDY</b>	Desórdenes por deficiencia de yodo
<b><math>D_r</math></b>	Diámetro de los rodillos
<b><math>D_{\text{exterior}}</math></b>	Diámetro exterior de la polea
<b><math>D_e</math></b>	Diámetro externo
<b><math>D_e</math></b>	Diámetro externo de la rueda dentada
<b><math>D_{\text{interior}}</math></b>	Diámetro interior de la polea
<b><math>D_i</math></b>	Diámetro interno
<b><math>D_t</math></b>	Diámetro medio de las partículas añadidas
<b><math>D_f</math></b>	Diámetro medio de las partículas finales
<b><math>D_m</math></b>	Diámetro primitivo de la polea motriz 80
<b><math>D_c</math></b>	Diámetro primitivo de la polea secundaria
<b><math>D_p</math></b>	Diámetro primitivo de la rueda dentada 1
<b><math>d_p</math></b>	Diámetro primitivo de la rueda dentada 2
<b>c</b>	Distancia entre centros
<b><math>\lambda</math></b>	Esbeltez
<b><math>\lambda^2</math></b>	Esbeltez de la columna
<b><math>C_c</math></b>	Esbeltez de transición
<b><math>\sigma_a</math></b>	Esfuerzo de amplitud
<b><math>\sigma_{\text{sal}}</math></b>	Esfuerzo de compresión por las cargas distribuidas del rodillo generado por el grano de sal

<b>q<sub>c</sub></b>	Esfuerzo de deformación unitario
<b>T<sub>xy</sub></b>	Esfuerzo de torsión en los rodillos
<b>σ<sub>m</sub></b>	Esfuerzo medio en los rodillos
<b>σ<sub>x</sub></b>	Esfuerzo normal máximo en los rodillos
<b>s</b>	Espacio entre dientes
<b>e</b>	Espesor del diente
<b>t<sub>min</sub></b>	Espesor mínimo de la placa base
<b>k<sub>c</sub></b>	Factor de confiabilidad
<b>K<sub>servicio</sub></b>	Factor de corrección de la potencia
<b>k<sub>f</sub></b>	Factor de efectos diversos
<b>k<sub>e</sub></b>	Factor de modificación por concentración de esfuerzos
<b>D<sub>fred</sub></b>	Factor de reducción de resistencia a la flexión
<b>f<sub>s</sub></b>	Factor de seguridad
<b>f<sub>k</sub></b>	Factor de servicio para las torres de transmisión
<b>k<sub>a</sub></b>	Factor de superficie
<b>k<sub>b</sub></b>	Factor de tamaño
<b>k<sub>d</sub></b>	Factor de temperatura
<b>F</b>	Fuerza
<b>f</b>	Fuerza de la compresión
<b>Gpa</b>	Giga pascales
<b>° K</b>	Grado Kelvin
<b>° C</b>	Grados centígrados
<b>° F</b>	Grados Fahrenheit
<b>g/l</b>	Gramo por litro
<b>h/d</b>	Horas por día
<b>hp</b>	<i>Horse power</i> (caballos de fuerza)
<b>IC</b>	Índice de caries
<b>I</b>	Inercia

<b><math>I_{\text{rodillo}}</math></b>	Inercia de la masa total
<b><math>I_{\text{polea}}</math></b>	Inercia de la polea
<b><math>I_{\text{polea conducida}}</math></b>	Inercia de la polea conducida
<b><math>I_{\text{polea motriz}}</math></b>	Inercia de la polea motriz
<b><math>I_{\text{polea total}}</math></b>	Inercia de la polea total
<b><math>I_{\text{engrane}}</math></b>	Inercia en el engrane
<b><math>I_{\text{engrane total}}</math></b>	Inercia en el engrane total
<b>kw</b>	Kilo watts
<b>kgf/mm<sup>2</sup></b>	Kilogramo fuerza por milímetro cuadrado
<b>kgf/mm</b>	Kilogramo fuerza por milímetro
<b>kg·m<sup>2</sup></b>	Kilogramo metro cuadrado
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kJ/mol</b>	Kilojulio por mol
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada ( <i>pounds-force per square inch</i> )
<b><math>F_y</math></b>	Límite de fluencia de acero ASTM A-36
<b><math>S_e'</math></b>	Límite de la resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria
<b><math>S_e</math></b>	Límite de la resistencia a la fatiga del elemento mecánico
<b><math>l</math></b>	Longitud a usar de los rodillos
<b><math>l_{\text{critica}}</math></b>	Longitud crítica
<b>L</b>	Longitud de banda
<b><math>l_{\text{arco}}</math></b>	Longitud del arco de contacto
<b>B</b>	Longitud del diente
<b><math>L_e</math></b>	Longitud efectiva (longitud de empotramiento de la columna)
<b>m</b>	Masa
<b><math>m_{\text{polea}}</math></b>	Masa de la polea

<b>Mpa</b>	Mega pascales
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/hora</b>	Metro cúbico por hora
<b>m<sup>3</sup>/mol</b>	Metro cúbico por mol
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mg/kg</b>	Miligramos por kilogramos
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetros al cuadrado
<b>M</b>	Módulo
<b>E</b>	Módulo de elasticidad
<b>N·m</b>	Newton metro
<b>Z</b>	Número de diente
<b>n<sub>2</sub></b>	Número de revoluciones de la polea primaria
<b>n<sub>1</sub></b>	Número de revoluciones de la polea secundaria
<b>Pa</b>	Pascales
<b>P<sub>c</sub></b>	Paso de la rueda dentada
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P<sub>d</sub></b>	Potencia corregida del motor o potencia de diseño
<b>P<sub>engrane</sub></b>	Potencia de engrane
<b>P<sub>polea</sub></b>	Potencia de polea
<b>P<sub>trituración</sub></b>	Potencia de trituración
<b>P<sub>rodillo primario</sub></b>	Potencia del rodillo primario
<b>P<sub>rodillo secundario</sub></b>	Potencia del rodillo secundario
<b>P<sub>requerida</sub></b>	Potencia requerida
<b>P<sub>total</sub></b>	Potencia total
<b>P</b>	Potencia transmitida del motor conductor
<b>"</b>	Pulgadas
<b>rad</b>	Radianes
<b>rad/s</b>	Radianes por segundo

<b>rad/s<sup>2</sup></b>	Radianes por segundo al cuadrado
<b>r<sub>g</sub></b>	Radio de giro
<b>r<sub>rodillo</sub></b>	Radio del rodillo
<b>i</b>	Relación de transmisión
<b>f<sub>c</sub>'</b>	Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días
<b>S<sub>y</sub></b>	Resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304
<b>S<sub>ut</sub></b>	Resistencia a rotura en tracción del acero inoxidable AISI 304
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>N</b>	Revoluciones por minuto de los rodillos
<b>q</b>	Sensibilidad de la muesca
<b>n</b>	Tamaño promedio del producto
<b>σ'</b>	Teoría de la energía de distorsión
<b>t</b>	Tiempo
<b>ton</b>	Tonelada
<b>ton/m<sup>3</sup></b>	Tonelada metro cúbico
<b>ton/hora</b>	Tonelada por hora
<b>T</b>	Torque
<b>T<sub>polea</sub></b>	Torque de las poleas
<b>S<sub>y</sub></b>	Último esfuerzo del material
<b>Z<sub>n</sub></b>	Variación de transformación
<b>w</b>	Velocidad angular
<b>w<sub>o</sub></b>	Velocidad angular inicial
<b>v</b>	Volumen
<b>V<sub>polea</sub></b>	Volumen de la polea
<b>V<sub>polea conducida</sub></b>	Volumen de la polea conducida
<b>V<sub>tolva</sub></b>	Volumen de la tolva

**V**engrane

Volumen en el engrane



## GLOSARIO

<b>Aceros austeníticos</b>	Aceros que tienen una estructura formada básicamente por austenita a temperatura ambiente.
<b>Acero martensítico</b>	Acero inoxidable altamente aleado con cromo y otros elementos.
<b>Aceros ferríticos</b>	Aceros fáciles de maquinar, son magnéticos, vienen en una amplia gama de atractivos acabados de superficie y se prestan para un excelente diseño del producto.
<b>Agrietamiento</b>	Aparición o formación de grietas en una superficie.
<b>AISI</b>	Instituto Americano del Hierro y del Acero ( <i>American Iron and Steel Institute</i> ).
<b>ASTM</b>	<i>American Society of Testing Materials</i> , (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).
<b>Biodisponibilidad</b>	Es la fracción de una dosis administrada inalterada que llega al flujo sanguíneo.
<b>Caries</b>	Destrucción que afecta a los tejidos duros del organismo, en especial a los dientes y huesos.

<b>Chaflán</b>	Cara de un sólido que resulta de cortar una esquina por un plano.
<b>Chaveta</b>	Clavo hendido en casi toda su longitud, que, introducido por el agujero de un hierro, se remacha separando las dos mitades de su punta.
<b>Chumacera</b>	Pieza de metal con una muesca en que descansa y gira un eje de una maquinaria.
<b>Cizallado</b>	Acción de cortar una plancha metálica con maquinaria especializada.
<b>Coeficiente de fricción</b>	Expresa la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto.
<b>CONASABU</b>	Comisión Nacional de la Salud Bucal.
<b>Correa de transmisión</b>	Tipo de transmisión mecánica que se basa en la unión de dos o más poleas.
<b>Corrosión</b>	Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia.

<b>Diagnóstico</b>	Reconocimiento de un estudio previo realizado para formar un veredicto final.
<b>Difusión</b>	Proceso de propagación de conocimientos.
<b>DIN</b>	Instituto Alemán de Normalización.
<b>Diseño</b>	Conjunto de procesos que dan fin a una máquina.
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua.
<b>Engrane</b>	Mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro por medio de una máquina.
<b>EPS</b>	Ejercicio Profesional Supervisado.
<b>Esbeltez</b>	Es una característica mecánica de las barras estructurales o prismas mecánicos que relaciona la rigidez de la sección transversal de una pieza prismática con su longitud total.
<b>Esfuerzo cortante</b>	Resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar.
<b>Esfuerzo de compresión</b>	Es el resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizado porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo.

<b>Esfuerzo de torsión</b>	Es la solicitud que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes.
<b>Expansión térmica</b>	Es el incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura.
<b>Factor de seguridad</b>	Es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido.
<b>Fisura</b>	Abertura alargada y con muy poca separación entre sus bordes, que se hace en un cuerpo sólido.
<b>Fluoración</b>	Adición de flúor a las aguas destinadas al consumo para prevenir la caries dental.
<b>Fluorhidroxiapatita</b>	Mineral de fosfato, sólido cristalino duro.
<b>Fluorosis</b>	Es una anomalía de la cavidad oral, en especial de las piezas dentales; es un hipomaduración del esmalte producida por la ingestión excesiva de fluoruro durante el período de formación del diente.
<b>Hidroxiapatita</b>	Mineral formado por fosfato de calcio cristalino.
<b>IGSS</b>	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

<b>INCAP</b>	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá.
<b>INE</b>	Instituto nacional de estadística.
<b>Ión</b>	Es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo.
<b>LNS</b>	Laboratorio nacional de salud.
<b>Mantenimiento</b>	Acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.
<b>Manual de mantenimiento</b>	Documento que contiene los procedimientos de trabajo y de control de maquinaria para un proceso específico.
<b>Máquina</b>	Objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado.
<b>Micronutrientes</b>	Sustancias indispensables para los diferentes procesos metabólicos de los organismos vivos.
<b>Molienda</b>	Proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida hasta reducirla a trozos muy pequeños.
<b>Motorreductor</b>	Dispositivo mecánico que cambia la velocidad de movimiento de un motor.

<b>MSPAS</b>	Programa de Salud Bucodental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>OPS/OMS</b>	Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud.
<b>Optimización</b>	Buscar la mejor manera de realizar una actividad de manera efectiva.
<b>Pasivadora</b>	Es la formación de una película relativamente inerte sobre la superficie de un material o metal.
<b>Plan de mantenimiento</b>	Es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas sin seguir algún tipo de criterio.
<b>Polea</b>	Rueda plana de metal que gira sobre su eje y sirve para transmitir movimiento en un mecanismo por medio de una correa.
<b>Potencia</b>	Es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo.
<b>Prevalencia</b>	Proporción de individuos de un grupo que presentan una característica determinado en un período determinado.

<b>Remineralización</b>	Es un proceso en el cual los minerales son retornados a la estructura molecular del diente en sí mismo.
<b>Roladora</b>	Máquina que puede realizar doblados específicos en materiales.
<b>Rutina de mantenimiento</b>	Consiste en la inspección periódica y armónicamente coordinada, de los elementos propensos a fallas y a la corrección antes de que esto ocurra.
<b>Sal</b>	Sustancia blanca, cristalina, muy soluble en el agua, que abunda en la naturaleza en forma de grandes masas sólidas o disuelta en el agua del mar.
<b>Severidad</b>	Exactitud en el cumplimiento de una norma o una regla.
<b>Síntesis</b>	Resultado de reunir distintos elementos que estaban dispersos o separados organizándolos y relacionándolos.
<b>Tolva</b>	Dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados.

**Triturado**

Proceso en el cual se reduce el tamaño de alguna partícula o sustancia por medio de la molienda que genera un material más homogéneo para una futura mezcla.

**Trituradora**

Proceso en el cual se reduce el tamaño de alguna partícula o sustancia que por medio de la molienda que genera un material más homogéneo para una futura mezcla.

## RESUMEN

El presente proyecto de EPS, aborda una propuesta de diseño de una máquina trituradora de sal para un respectivo homogenizado con la incorporación de yodo y flúor en un recipiente de mezclado para que la sal pueda ser fortificada. La producción requerida para que se pueda llevar a cabo dicho proceso será de 1 tonelada.

Se incluyen ciertos fundamentos teóricos de la sal: composición química, usos, recolección, densidad de los granos, además, se destaca la importancia de la fortificación de la sal según Acuerdo Gubernativo 29-2004 para tener en cuenta los parámetros necesarios de diseño y funcionales de la máquina. Se posee suficiente información teórica acerca de máquinas trituradoras con la cual se podrá seleccionar de manera adecuada el tipo de máquina que se propondrá diseñar para obtener un grado de trituración óptimo.

Se presenta el desarrollo de los cálculos, la selección de elementos normalizados, selección de materiales, las fichas técnicas, parte fundamental en el dimensionamiento y en el diseño. Se incorporan un manual de construcción y un manual de mantenimiento para realizar una adecuada construcción y prolongar la vida útil de la máquina.

Se presenta el costo de la propuesta de la máquina que detalla precios en el mercado guatemalteco decreto 2016-2017. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la propuesta de diseño.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer el diseño de una máquina trituradora de sal y un manual de mantenimiento para la Facultad de Odontología de la USAC, para una correcta homogenización de yodo y flúor de consumo humano.

### **Específicos**

1. Diseñar una propuesta de una máquina capaz de realizar el triturado de sal para satisfacer las necesidades del mercado.
2. Analizar la propuesta con el diseño creado para su respectiva puesta en marcha para una planta procesadora de sal.
3. Presentar un manual de mantenimiento de máquina trituradora de sal que garantice su óptimo funcionamiento.
4. Realizar una propuesta del costo total de la máquina trituradora de sal.



## INTRODUCCIÓN

En el requerimiento de tener en el mercado nacional un producto perfectamente fortificado: la sal con yodo y flúor; la falta de máquinas para su debido proceso y el avance tecnológico que engloba al mundo día con día son los factores primordiales que llevan a la elaboración de dicha propuesta.

La sal, que se recolecta de manera artesanal por los microsalineros de la región en Sipacate La Gomera, Escuintla, carece de procesos para su fortificación, por tal razón la Facultad de Odontología, por medio del Área de Odontología Sociopreventiva, ha solicitado a la Facultad de Ingeniería, la propuesta para el diseño de una máquina trituradora de sal y un manual de mantenimiento con la finalidad de tener un producto que cumpla con el Acuerdo Gubernativo 29-2004, para reducir de manera significativa el índice de caries en la población guatemalteca, debido a que en la ingesta de flúor por medio de la sal se llega a una reducción hasta del 50 % en el índice de caries.

Siguiendo los principios de la Universidad de San Carlos de Guatemala de apoyar al desarrollo tecnológico de la microempresa, se plantea como proyecto la propuesta de diseño con un manual de mantenimiento de referida máquina.



# 1. FASE DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Descripción de la Facultad de Odontología

"Es una unidad académica encargada de orientar al estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje hacia la formación de recursos humanos Estomatológicos adecuados para Guatemala, pertenece a la Universidad de San Carlos de Guatemala, con una base científica sólida y con capacidad para aplicar de forma teórica y práctica el enfoque científico para la búsqueda de soluciones a los problemas del ejercicio de la profesión, bajo normas éticas y de servicio, que mediante la aplicación de un enfoque preventivo e integral logren un impacto eficaz en el mejoramiento de la salud bucal de la sociedad guatemalteca".<sup>1</sup>

### 1.1.1. Ubicación

Se encuentra ubicada en la ciudad universitaria, zona 12, edificio M4, primer nivel, oficina 104, con horario: lunes a viernes 7:30 a 15:30 teléfono: 2418-8000. La Facultad de Odontología, en el Área de Odontología Sociopreventiva, tiene como objetivo prestar el servicio de a la sociedad guatemalteca estudiantes con pensum cerrado para la aplicación de las áreas correspondientes de odontología para la finalización de sus respectivos proyectos de graduación.

### 1.1.2. Historia

"Los estudios de odontología se iniciaron en Guatemala en forma organizada con la fundación del Instituto Dental como una dependencia de la Facultad de Medicina, Cirugía y Farmacia, el 1 de mayo de 1895, por decreto legislativo Núm. 297. La universidad de San Carlos de Guatemala funcionaba en ese entonces bajo la reorganización de la universidad, con la separación de la Facultad de Medicina y Cirugía de la facultad de Farmacia, fue establecida la Escuela de Odontología como una unidad de la Facultad de Ciencias Médicas.

---

<sup>1</sup> *Catálogo de estudios 2008. Reseña histórica de la Facultad de Odontología.* <https://www.usac.edu.gt/catalogo/odontologia.pdf>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Posteriormente, el 1 de abril de 1940, se creó la Facultad de Odontología por decreto gubernativo No. 2336. Su junta directiva se instaló el 09 de abril y tuvo como sede el edificio que ocupaba anteriormente la Escuela Dental.

De esa manera, la Facultad de Odontología desarrolló sus actividades hasta el año 1965, cuando se dio inicio a una modificación en su plan de estudios que tenía como una de sus principales características la realización sistemática, gradual y creciente de experiencias docentes con la comunidad, concluyendo con la realización del programa de Ejercicio Profesional Supervisado, que vino a constituir el 6º año de la carrera. Asimismo, los dos primeros años se incorporaron al denominado Departamento de Estudios Básicos que más tarde se identificaría como Departamento de Estudios Generales.

Ello significó que los estudiantes de Odontología se integraban efectivamente a su facultad hasta el tercer año de sus estudios universitarios. Fundada en 1940, es una Institución de educación superior con más de 70 años de existencia, con sede en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala”.<sup>2</sup>

### **1.1.3. Misión**

“Formar recurso humano en el área de conocimiento estomatológico, con excelencia académica y de vanguardia, mediante la educada planificación de programas de investigación, docencia y extensión, teniendo en cuenta la diversidad cultural, social y lingüística del país. Siempre con valores éticos, responsables y comprometidos con el desarrollo sostenible nacional y regional”.<sup>3</sup>

### **1.1.4. Visión**

“Construir una facultad competitiva e involucrada de forma institucional en el contexto nacional, regional e internacional, formando profesionales en estomatología certificados y acreditados, éticos, responsables y dedicados a la prevención y curación de enfermedades bucales; comprometidos, además, con su entorno social y desarrollo sostenible de la población guatemalteca”.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Ibíd.

<sup>3</sup> Ibíd.

<sup>4</sup> Ibíd.

### **1.1.5. Valores**

- Ética
- Honradez
- Tolerancia
- Responsabilidad
- Compromiso
- Respeto<sup>5</sup>

### **1.1.6. Organigrama**

La Facultad de Odontología como toda entidad organizada cuenta con una estructura jerárquica, se caracteriza cada una de sus unidades por mantener la mejora continua bajo la guía de la junta directiva, quien es el supremo órgano de la facultad.

#### **1.1.6.1. Unidades**

La Facultad de Odontología está integrada por un grupo de 11 unidades encargadas de desarrollar la formación de todos sus estudiantes, trabajando de manera conjunta proporcionan los conocimientos necesarios para formar profesionales.

Las unidades que conforman la Facultad de Odontología son las siguientes:

- Unidad básica
- Unidad de clínicas

---

<sup>5</sup> Ibíd.

- Unidad socio-preventiva
- Unidad de patología
- Unidad médico-quirúrgica
- Unidad de odonto-pediatría
- Unidad de operativa dental
- Unidad de educación odontológica
- Unidad planificadora y desarrollo académico
- Unidad de estudios de postgrados

#### **1.1.6.1.1. Unidad sociopreventiva**

Es una de las divisiones docente-administrativas de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, encargada de formar y capacitar a los estudiantes y profesores en el enfoque colectivo (a partir del enfoque individual), del proceso salud-enfermedad bucal de la población guatemalteca. Para ello fundamenta su acción en la teoría y práctica de la salud pública en sus cimientos de ciencias básicas, enfoque preventivo, factores psicobiológicos, étnico-culturales y socioeconómicos.

Su objetivo principal es contribuir por medio de acciones programadas sistemáticamente la formación de recursos humanos odontológicos, con actitud científica para el análisis y la comprensión del problema social de la población guatemalteca, en lo relativo a la salud bucal, proporcionando los recursos científicos y técnicos necesarios para contribuir a su solución en el nivel colectivo, a partir del enfoque individual.

Las funciones de esta área se estructuran según los niveles correspondientes a tercero, cuarto y quinto años de la carrera de Cirujano Dentista, por medio de los cursos de Odontología Preventiva y Social I, II y III, a

durante los cuales se incrementa progresivamente el enfoque colectivo del proceso de salud enfermedad bucal y las acciones de salud, hasta culminar con el sexto año, con el llamado Ejercicio Profesional Supervisado.

## **1.2. Descripción del problema**

La unidad socio preventiva no tiene información con respecto al diseño de maquinaria para triturado de sal y sobre su mantenimiento ya que el objetivo es prevenir de forma significativa los problemas bucales como las caries. Un proyecto que se pondrá en marcha a futuro, se propondrá la creación de una máquina trituradora de sal que será de suma importancia para su procesamiento. Cabe mencionar que se incluirá en dicho proceso de la propuesta de diseño, un manual de mantenimiento para el correcto funcionamiento y largo desempeño de la máquina trituradora de sal.

## **1.3. Definiciones básicas**

### **1.3.1. Sal**

“Es el condimento más antiguo usado por el hombre y su importancia para la vida es tal que ha marcado el desarrollo de la historia en sus distintas etapas; también denominada cloruro sódico (o cloruro de sodio), cuya fórmula química es NaCl, han alcanzando grandes repercusiones económicas, políticas y culinarias a lo largo de las diferentes civilizaciones que han ido puliendo nuestra cultura y formas de vida. La historia de la sal ha estado tan unida a las grandes transacciones comerciales que su legado aún hoy se conserva en los nombres

de lugares como la prehistórica *Route du Sel* en Francia o la Vía Salaria de la antigua Roma”.<sup>6</sup>

Para que sea de calidad alimentaria, la concentración de cloruro sódico de la sal no debe ser nunca inferior al 97 %, sobre producto seco, con exclusión de los micronutrientes. La denominación para la venta de sal de calidad alimentaria es sal alimentaria, sal de mesa o bien sal de cocina. Además, el consumidor también podrá encontrar el etiquetado sal yodada y sal fluorada, enriquecida con estos nutrientes y recomendada por la OMS.

Relacionada con el consumo humano, la sal es fundamental para resaltar y potenciar de forma natural el sabor de los alimentos, entre algunas propiedades se pueden mencionar:

- La capacidad de la sal como conservante y preservativo ha sido fundamental para el desarrollo humano a lo largo de la historia, ya que permitía la preservación de los alimentos.
- La sal actúa como aglutinante de otros ingredientes en los procesos alimentarios.
- La sal funciona como sustancia que permite controlar los procesos de fermentación de determinados alimentos.
- La sal se utiliza para dar textura a los alimentos y así hacerlos más agradables al tacto y visualmente más atractivos y apetitosos.

---

<sup>6</sup> Instituto de la sal. *Historia sobre la sal*. <http://www.institutodelasal.com/es/sobre-la-sal>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

- La sal se utiliza para desarrollar el color de múltiples alimentos, haciéndolos más agradables a la vista.
- La sal es un agente deshidratador y ablandador de muchas materias primas alimentarias.

Para el consumidor, la sal más popular es la denominada sal fina, de mesa o común, que se emplea mayoritariamente para cocinar y sazonar los platos.

- Sal marina. Obtenida por la evaporación del agua de mar, posee un mayor tamaño y suele emplearse para preparar pescados, mariscos y carnes a la parrilla o a la plancha. Posee, además, otros oligoelementos: calcio, magnesio y manganeso.

La evaporación de la salmuera va concentrando la salmuera por regla general en tres gradientes de salinidad: bajo (70-30 g/l), medio (140-70 g/l) y alto (>150 g/l) hasta que la sal precipita en forma de cristales dejándola lista para su posterior recolección y secado. La sal puede secarse por efecto del sol y del aire, o en unos depósitos protegidos de la lluvia, llamados terrazos. Los granos de sal miden entre 0,7 mm y 3,2 mm de diámetro. En el caso de la sal gorda o sal de deshielo, pueden llegar a los 18 mm.

### **1.3.2. Principios generales de trituración**

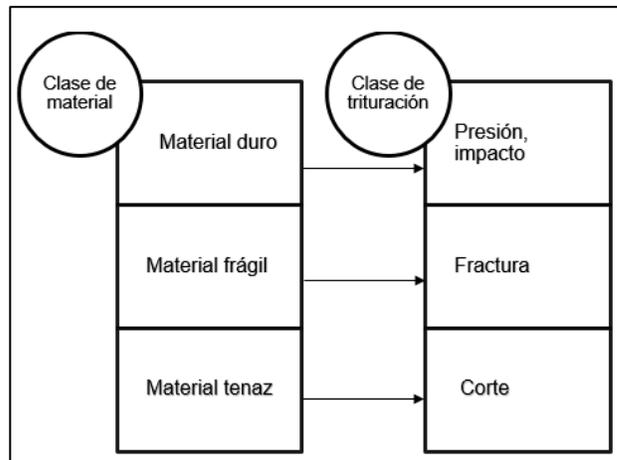
“Es un proceso en el cual se reduce el tamaño de alguna partícula o sustancia que por medio de la molienda que genera un material más homogéneo para una futura mezcla”.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> *Trituración y moliendas*. <https://es.slideshare.net/sharo007/trituracin-y-moliendas>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Según sea las propiedades físicas de un material o su composición química, se emplean distintos métodos para el triturado:

Figura 1. **Trituración por las propiedades físicas**



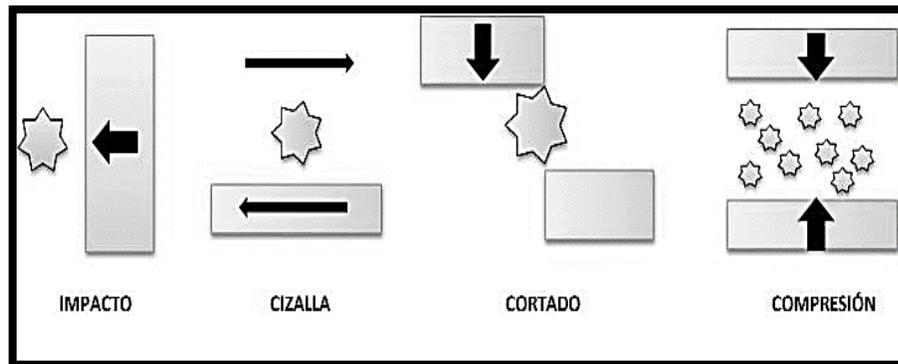
Fuente: elaboración propia.

Se define a continuación las clases de material para su mayor comprensión:

- **Material duro:** es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras.
- **Material frágil:** es la capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación.
- **Material tenaz:** es la energía que absorbe un material, con las consecuentes deformaciones que el mismo adquiere, antes de romperse.

Las máquinas trituradoras utilizan por igual estos métodos:

Figura 2. **Métodos de trituración**



Fuente: *Molienda*. <http://procesosbio.wikispaces.com/Molienda>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

### 1.3.3. **Tamaños en la desintegración**

Mediante la desintegración de materiales y para este caso, sal, se obtendrán diferentes tamaños de partículas en relación a la separación en el proceso del triturado o molienda en el caso especial.<sup>8</sup>

#### 1.3.3.1. **Trituración (grande)**

Esta, en su caso, puede ser de siguientes tamaños:

- Trituración gruesa: la que se comprende o entiende por los valores de 15 cm o (6").
- Trituración mediana: la que posee en tamaño de partículas entre 3 y 15 cm o (1 1/4" – 6").

<sup>8</sup> *Tipos de mecanismos onemaze*. file:///F:/05\_Apunte%20Trituracion.pdf. Consulta: 8 de agosto de 2016.

- Trituración fina: la que comprende los valores entre 0,5 a 3 cm (1/5" – 1 1/4").

### **1.3.3.2. Molienda (pequeña)**

Para este caso los tañamos pueden ser:

Molienda grande: tamaños comprendidos entre 0,1 y 0,3 mm.

- Molienda pequeña: tamaños comprendidos y menores a 0,1 mm.

### **1.3.4. Trituradora**

Una trituradora es una máquina que utiliza un proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, como por moler los polvos en un mortero con un mazo. La trituradora, además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la mezcla, convirtiendo la producción de residuos de postconsumo en un material a granel (material molido, partículas) lo más homogéneo posible.<sup>9</sup>

Si se trata de una máquina empleada para la minería, la construcción o para el proceso industrial, puede procesar rocas u otras materias sólidas.

Entre las trituradoras se pueden mencionar las siguientes:

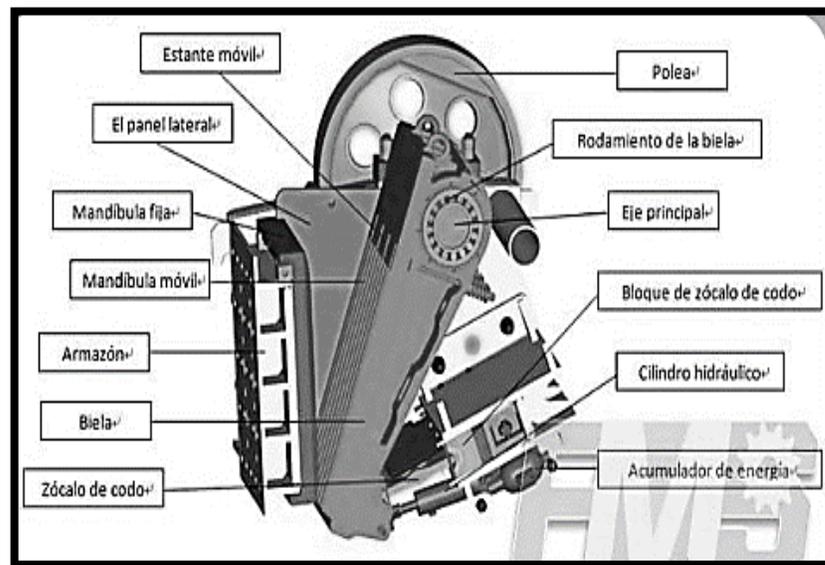
---

<sup>9</sup> Trituración. *Procesos industriales*. <http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/trituracion.html>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

### 1.3.4.1. Trituradora de mandíbulas

La trituradora de mandíbula se destaca para el uso de la maquinaria de trituración de primer nivel (trituración gruesa y media), clasificada en el modelo de oscilación sencilla, modelo de oscilación compleja y el modelo de oscilación mixta. En los últimos años, ha aparecido la trituradora de oscilación mixta, destinada a la trituración fina; así como la trituradora fuerte de ferrocromo a microcarbono, que tiene alta intensidad de trituración y alta dureza.

Figura 3. Trituradora de mandíbulas



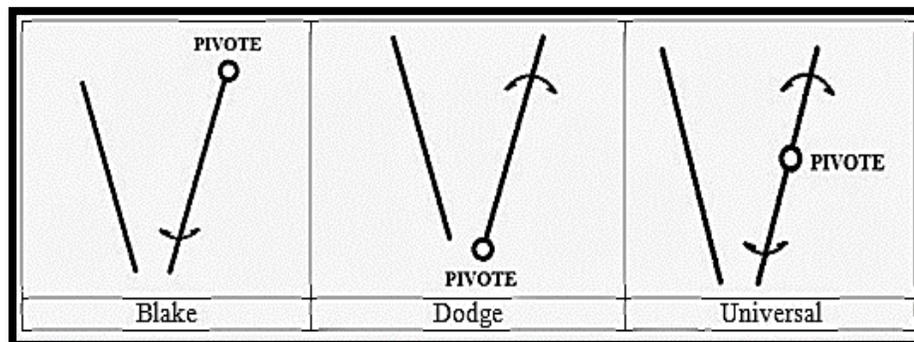
Fuente: *Trituradora de mandíbulas*. <http://trituradoras-de-roca.com/uploads/allimg/120827/1-120RG43JY13.jpg>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

### 1.3.4.1.1. Tipos de trituradora de mandíbulas

Se pueden mencionar tres tipos de trituradoras de mandíbulas de acuerdo con el lugar que ha sido fijada la placa móvil:

- Trituradora tipo Blake: fijada en el punto más alto, por ejemplo, en el área de alimentación.
- Trituradora tipo Dodge: fijada en el punto más bajo, por ejemplo, en el área de descarga.
- “Trituradora tipo Universal u oscilante: fijada en el punto medio del cuerpo de la trituración”.<sup>10</sup>

Figura 4. Tipos de trituradora de mandíbulas según el punto de pivote



Fuente: *Tipos de chancadores*. <https://yomineria.jimdo.com/metalurgia-extractiva/conminucion/tipos-de-chancadores/>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

<sup>10</sup> *Tipos de mecanismos on emaze*. file:///F:/05\_Apunte%20Trituracion.pdf. Consulta: 8 de agosto de 2016.

### **1.3.4.2. Trituradora giratoria**

Este tipo tiene la capacidad de obtener a la salida una de grano fino, media o gruesa ya que está determinada por un sistema hidráulico llamada reglaje que permite regular el acabado final.

Está formada por una cabeza móvil en forma de cono truncado invertido localizado en una coraza que tiene el mismo contorno, entonces su cabeza trituradora gira de forma excéntrica, así, durante su rotación, cada punto del eje móvil se acerca y se aleja del punto correspondiente del cono fijo, lo que produce a el material que se quede atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio.

Dicha trituradora generalmente, se trabaja para materiales pesados y altas productividades; también, posee una capacidad y velocidades medias.<sup>11</sup>

Entre las trituradoras giratorias se pueden mencionar:

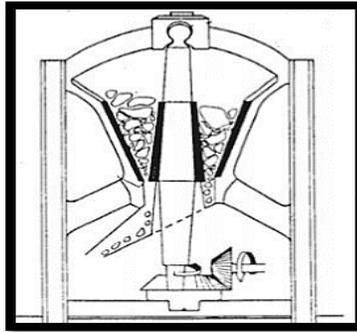
#### **1.3.4.2.1. Trituradora de eje vertical y apoyo superior**

Esta trituradora posee una mandíbula fija anular y una mandíbula móvil en forma de cono con base en la parte inferior. Este cono triturador en su parte inferior va montado sobre un eje vertical que está conectado con una corona dentada la que gira gracias a la acción del motor.

---

<sup>11</sup> Ibíd.

Figura 5. **Trituradora de eje vertical y apoyo superior**



Fuente: *Trituración. Procesos industriales*. <http://materias.fi.uba.ar/7202/> Material Alumnos/Antiguo/2013-1C/05\_Apunte%20Trituracion.pdf. Consulta: 8 de agosto de 2016.

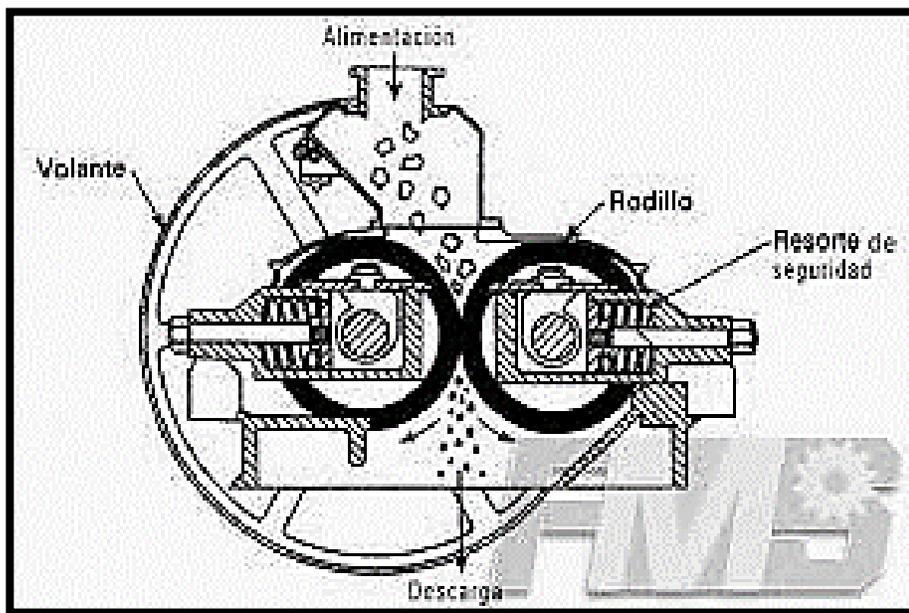
#### **1.3.4.2.2. Trituradora de eje vertical y apoyo inferior**

Esta trituradora consta de una mandíbula fija y con un cono que tritura en forma de hongo que va montado en el eje vertical, levemente conectado en una corona dentada que gira gracias a la acción del motor por igual.



Trituradoras de rodillo tienen una larga vida, alta capacidad de producción, fácil construcción e instalación, bajo costo de mantenimiento. La única desventaja que posee es el desgaste de los rodillos.

Figura 7. **Trituradora de rodillos**



Fuente: *Trituración. Procesos industriales.* [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/2013-1C/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/2013-1C/05_Apunte%20Trituracion.pdf). Consulta: 8 de agosto de 2016.

#### 1.3.4.4. **Trituradora de tornillos**

Este tipo de trituradora actúa con base en la sucesión de golpes en el material que será reducido, obteniéndose materiales triturados de tamaño mediano y pequeño muy alta en su tasa de reducción de granos.

Esta tritura el material dentro de 2 cuerpos, mientras más rápido sea la fuerza de aplicación más rápido ocurre la reducción. Esta posee la

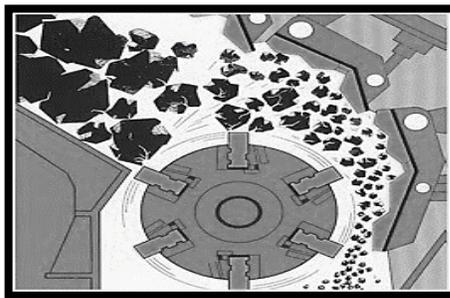
particularidad para uso de cualquier fibra, pero son menos eficientes en comparación con la de rodillos, generan mucho calor y demasiados polvos. Entre las trituradoras de tornillos se pueden mencionar:

#### **1.3.4.4.1. Trituradora de tornillo de eje horizontal**

Está formada por una carcasa que, en su interior cuenta con placas de desgaste donde se encuentra un eje en sentido horizontal que gira en altas revoluciones, así mismo, van sujetos perpendicularmente los martillos.

El material ingresa por la parte superior y durante su caída es golpeado por martillos del rotor para disminuir las partículas.

Figura 8. **Trituradora de tornillo de eje horizontal**



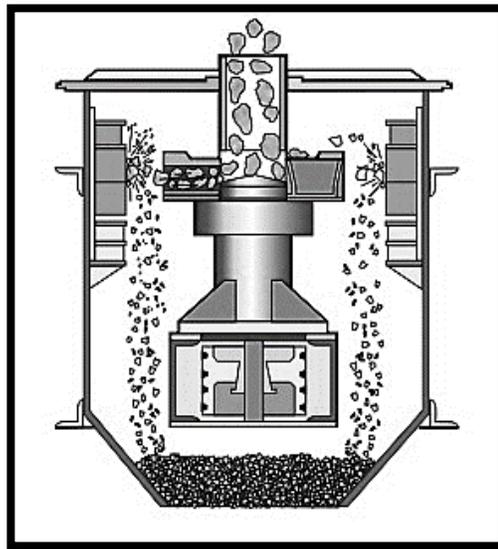
Fuente: *Trituradora de impacto*. <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradoras-de-impacto-i.html>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

#### 1.3.4.4.2. Trituradora de martillos de eje vertical

Está formada por una carcasa, recubierta en su interior por placas de desgaste, en la parte central se encuentra un eje hueco ubicado en sentido vertical que gira a gran velocidad.<sup>12</sup>

Este ocurre cuando el material cae a grandes velocidades en las placas de desgaste y entre ellas.

Figura 9. Trituradora de martillos de eje vertical



Fuente: *Trituradora de rocas*. <http://trituradoras-de-roca.com/uploads/allimg/120803/1-120P3140QM34.jpg>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

<sup>12</sup> *Trituradora de impacto*. <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradoras-de-impacto-i.html>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

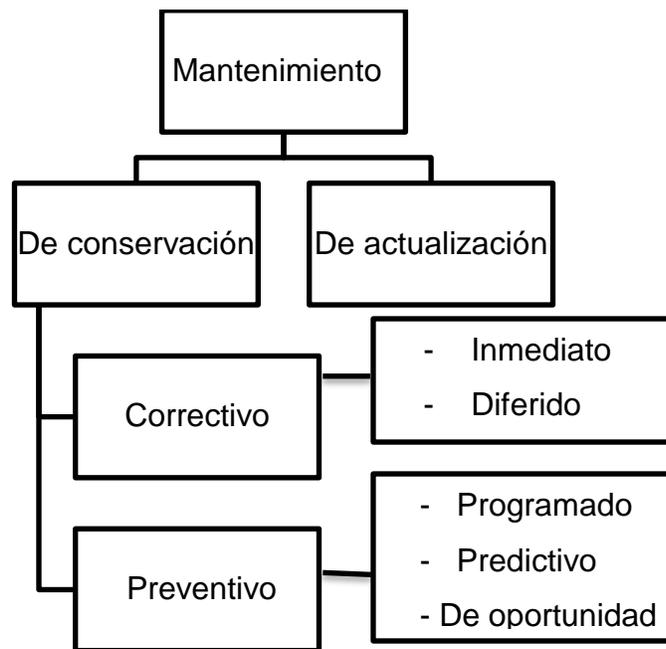
### 1.3.5. Mantenimiento

“Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones o equipos, con el fin de prevenir o corregir fallas, buscado alargar el servicio al cual fueron diseñados”.<sup>13</sup>

#### 1.3.5.1. Tipos de mantenimiento

En las operaciones de mantenimiento se pueden mencionar:

Figura 10. Tipos de mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

<sup>13</sup> *El mantenimiento mecánico*. [http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso\\_concurso/area3/QUE\\_ES\\_EL\\_MANTENIMIENTO\\_MECANICO.pdf](http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf). Consulta: 8 de agosto de 2016.

#### **1.3.5.1.1. Mantenimiento de conservación**

Está destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas.

En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:

#### **1.3.5.1.2. Mantenimiento correctivo**

Es el encargado de corregir defectos o averías observadas. Se pueden mencionar:

- **Mantenimiento correctivo inmediato**  
Se realiza inmediatamente al percibir la avería y el defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
- **Mantenimiento correctivo diferido**

Al momento de producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

#### **1.3.5.1.3. Mantenimiento preventivo**

Dicho mantenimiento está destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por algún deterioro. Se mencionan los siguientes:

- **Mantenimiento programado**

Realizado por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.

- **Mantenimiento predictivo**

Es aquel que realiza las intervenciones prediciendo el momento cuando el equipo quedará fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución y, por tanto, el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.

- **Mantenimiento de oportunidad**

Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

#### **1.3.5.1.4. Mantenimiento de actualización**

Tiene como propósito compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta, pero, en la actualidad sí deben serlo.

### **1.4. Descripción del proceso de diseño**

Parte del proceso de diseño es dar forma, dimensiones, materiales a utilizar, algún programa de diseño que pueda otorgar una idea de fabricación y

funcionamiento de una máquina para que cumpla alguna determinada función o trabajo.

El diseño que se realizará más adelante, debe ser capaz de crear una base en lo aprendido a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica partiendo de cero, con el fin de satisfacer una necesidad en la industria que para este caso es la industria de la sal, que carece de ciertos procesos en su debida fortificación.

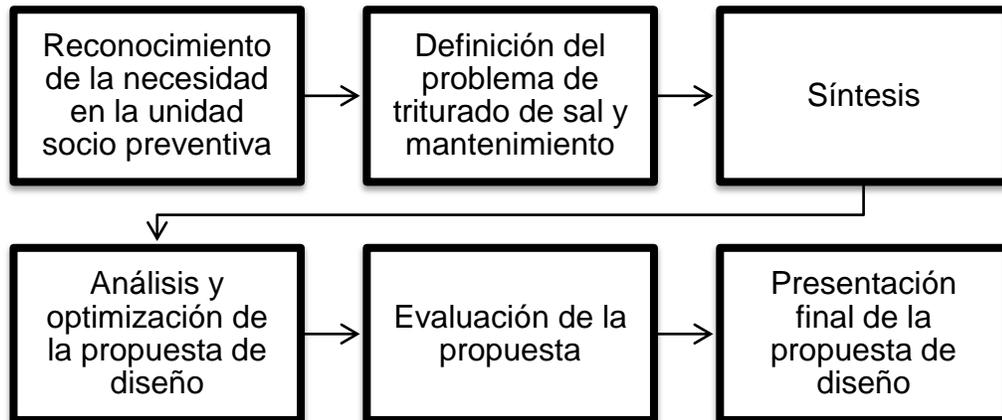
Para los futuros ingenieros mecánicos se podrá definir como: “el procedimiento de aplicar los principios aprendidos en los cursos de la carrera ya sea técnicos y científicos conocidos, con el fin de crear objetos o sistemas mecánicos como son: piezas, estructuras, máquinas, dispositivos o cualquier instrumento necesario para usos diversos”.

“En resumen, un diseño de máquina sigue ciertos pasos que se definen este diagrama de flujo.”<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Práctica. *Diseño de máquinas*. <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/disenodemaquinas/carpetadeapuntesdedisenodemaquinas/Tema%201%20Conceptos%20fundamentales.pdf>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

Figura 11. **Diagrama del proceso de diseño**



Fuente: elaboración propia.

#### **1.4.1. Reconocimiento de la necesidad en la unidad sociopreventiva**

El diseño de la máquina trituradora de sal comienza cuando se detecta la necesidad de una máquina capaz de satisfacer cierto requerimiento, que para este caso es disminuir el tamaño de grano de la sal para que se pueda mezclar de manera homogénea en la mezcladora. Esta necesidad fue breve y sin mayor detalle.

Por ejemplo, tener una máquina capaz de un triturado de sal después de un secado previo.

## **1.4.2. Definición del problema de triturado de sal**

### **1.4.2.1. Triturado de sal**

El problema es que no se posee ninguna información sobre la trituración de sal y es diferente a la necesidad, que es algo más específico. La necesidad es tener una máquina capaz de un triturado de sal después de un secado previo; el problema es: que se tritura de manera correcta y se reduzca el tamaño de grano, que admita un grano máximo para que la trituración sea homogénea, fácil y adaptable, etc.

### **1.4.2.2. Mantenimiento**

Se propondrá una guía para el buen funcionamiento de la máquina trituradora de sal, con un manual de mantenimiento, para: extender la vida útil de la máquina por medio de una correcta planificación en corrección de fallas.

## **1.4.3. Síntesis, análisis y optimización de la propuesta de diseño**

Ya definido el problema y generadas las especificaciones de los requisitos, la siguiente tarea para el proceso de diseño como se indicó en el diagrama anterior es la síntesis de una solución óptima y adecuada.

Ahora bien, esta síntesis no podría ser óptima y adecuada, antes de realizar otro análisis con su debida optimización, ya que dicho análisis podrá revelar que la solución no cumpla con las especificaciones de requisitos o parámetros de la máquina, o que dicha solución no sea la mejor posible. Para

ello se contará con un criterio de que ayudará a esta selección, sea satisfactorio en su diseño, construcción y mantenimiento respectivo.

#### **1.4.4. Evaluación de la propuesta**

Análisis crítico del total de las ideas generadas en referencia a los diseños similares en los mercados existentes, para que el diseño sea de fácil manejo, bajo costo, alto rendimiento, mantenimiento adecuado.

#### **1.4.5. Presentación final de la propuesta de diseño**

La comunicación de la propuesta del diseño a otras personas es el paso final en dicho proceso, expresando de la manera más efectiva lo que se propuso en el diseño, uso correcto de la máquina, mantenimiento requerido para su prolongado funcionamiento. Se tratará de vender o demostrar que la solución generada es la mejor y correcta, en este caso la propuesta para la máquina trituradora de sal y su manual de mantenimiento.

Hay tres formas de comunicación a la hora de exponer estos diseños: escrita, oral y gráfica.

### **1.5. Diagnóstico de la unidad socio preventiva**

“Como parte del análisis de flúor y yodo agregado en la sal de Guatemala, hubo un estudio sobre el porcentaje que posee la sal; dicho estudio a conocer la problemática en Guatemala. Esta investigación tuvo como objetivo principal establecer la concentración de flúor y yodo en la sal de consumo humano disponible en los mercados de la República de Guatemala. Se tomó como población objeto de estudio los mercados municipales y cantonales que venden

productos de consumo diario. El personal seleccionado para recolectar las muestras en los mercados estuvo conformado por profesores y estudiantes del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala y odontólogos del MSPA.”<sup>15</sup>

La Comisión Nacional Salud Bucal (CONASABU) es la instancia rectora en el país de la salud bucodental y está constituida por el Programa de Salud Bucodental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), Colegio Estomatológico y colaboradores como el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) y la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS).

El análisis para la determinación de los niveles de fortificación se realizó en el Laboratorio Nacional de Salud (LNS) con el método de determinación cuantitativa de flúor (método potenciométrico FQAP140) y para yodo el método de determinación cuantitativa de yodo en sal fortificada con yodato (FQAP103).

En el estudio que realizó la Facultad de Odontología, se recolectaron y analizaron 277 muestras de sal de las cuales el 31,4 % (87) no contaban con etiqueta, marca ni registro sanitario. Se identificaron 38 diferentes marcas de sal, incluyendo 4 originarias de México. La mediana de yodo fue de 16,4 mg/kg y para el flúor de 0,000 mg/kg demostrando una amplia variabilidad en los niveles de fortificación de ambos micronutrientes, especialmente, para el flúor donde prácticamente la fortificación es nula.

---

<sup>15</sup> SÁNCHEZ E; VANEGAS L; VILLAGRÁN, E. *Estudio epidemiológico de caries dental y fluorosis en Guatemala*. <http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2009/OH-GUTcpo.pdf>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

El 37 % de la sal analizada demostró niveles de yodo que se encontraron dentro de lo establecido en la norma, es decir, el 62 % de la sal que se expende en los mercados no cumple con los requerimientos establecidos para yodo, destacando dentro de este grupo, un 15 % de muestras a las que no se logró detectar ningún rastro del elemento.

En cuanto al flúor el escenario es aún peor, encontrando que el 97,5 % (n=269) de las muestras analizadas, no contienen ningún rastro de flúor a pesar que desde el año 2004 está en vigencia el acuerdo gubernativo 29-2004 que obliga a la fortificación de la sal con este micronutriente. De las 277 muestras de sal que recolectaron en los mercados de la República de Guatemala, 270 (97,5 %) no cumplen con la norma de fortificación con flúor. El 59 % de las muestras de sal que presentaron registro sanitario del MSPAS no cumplen con la norma de fortificación para yodo.

La CONASABU, con base en la *Ley general de enriquecimiento de los alimentos*, decreto 44-92 del Congreso de la República y en el acuerdo gubernativo 29-2004, *Reglamento para la fortificación de la sal con yodo y sal con yodo y flúor*, diseñó e implementó la presente investigación con el objetivo de visualizar la situación actual de los programas de fortificación de la sal de consumo humano en el país, específicamente, en lo relacionado a los niveles de yodo y flúor detectados en muestras de dicho alimento.

Con este propósito y tomando en cuenta que los mercados cantonales y municipales son puntos de venta de sal de amplia accesibilidad para grandes sectores de la población guatemalteca, decidieron utilizarlos como unidades de muestreo primarias, tomando como marco muestra la lista oficial de mercados registrados por el Instituto Nacional de Estadística.

La información que se presentó en dicha investigación, se suma a una serie de evidencias a nivel nacional e internacional que fundamentan la necesidad de fortificar alimentos que, como la sal, sirven de fuente de micronutrientes como el yodo y flúor. En este sentido es importante señalar que, según la Organización Mundial de la Salud, a nivel mundial, los desórdenes por deficiencia de yodo es la causa prevenible más importante de daño cerebral.

En relación con la caries dental y de acuerdo al último estudio a nivel nacional llevado a cabo también por la CONASABU entre 1999-2002, se demostró que cada escolar guatemalteco a los 12 años presenta en promedio 5,68 (IC95 % 5,26-6,10) piezas afectadas por caries, nivel considerado como alto según los criterios establecidos por la OMS.

Este índice posiciona a Guatemala como uno de los países con mayores necesidades de respuesta en el tema de salud bucal a nivel de salud pública, definiéndonos como estadio emergente, comparativo con otros países.

El monitoreo de los niveles de fortificación de los alimentos exige la implementación sistemática de investigaciones que, como la presente, aporten elementos objetivos de análisis y de toma de decisiones para hacer efectivo el mandato constitucional que, en su artículo 94, ordena al Estado velar por la salud y asistencia social de todos los habitantes de Guatemala.

La caries dental es una enfermedad infecciosa multifactorial que constituye uno de los principales problemas de salud bucal en el mundo. El 60 % - 90 % de los escolares de todo el mundo tienen caries dental. Afecta principalmente a los países de Asia y América Latina.

Dentro de las actividades recomendadas por la OMS está el impulsar los programas de fluoración para mejorar el acceso a los fluoruros principalmente en los países de bajos ingresos.

La prevención de enfermedades bucales es el principal objetivo de las instituciones que trabajan en salud pública. Se conoce científicamente que el consumo de flúor en una dosis adecuada previene el inicio y desarrollo de caries dental en las personas, basados en estas evidencias se implementaron regulaciones legales para fortificar la sal de consumo humano.

En 1988 se suscribió un convenio tripartito entre la Municipalidad de Guatemala, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social con el objetivo de implementar la fluoruración del agua potable de la ciudad capital, específicamente, en el sector que abastece la Empresa Municipal de Agua implementándose a partir del 15 de febrero de 1989.

En 1998 se evaluó la cantidad de fluoruro en los abastecimientos de agua de una muestra de escuelas ubicadas en la red de distribución de EMPAGUA encontrando niveles muy bajos (0,29 mg/l el 0,466 mg/l) lo que se considera insuficiente para un programa de prevención de caries dental.

“La Municipalidad de Guatemala decidió suspender el programa de fluoruración de agua debido, entre otras razones, a las deficiencias de las redes de distribución, además del reducido ámbito de impacto en determinadas zonas de la ciudad capital; también, se consideró que abundante evidencia científica que demuestra que en países con las características de desarrollo como Guatemala, la sal de consumo humano es el mejor vehículo para la

incorporación de ión flúor además de una alternativa de mayor relación costo-efecto.”<sup>16</sup>

La población de Guatemala está considerada entre las que presentan mayor morbilidad de caries dental en América Latina, lo que quedó evidenciado en los resultados del estudio basal de caries dental y fluorosis realizado entre 1999 y 2002 en el que se encontró un promedio de piezas dentarias cariadas, perdidas y obturadas de 5,68 (IC95 % 5,26-6,10) que se considera alto, según los criterios de la Organización Mundial de la Salud. El Decreto 44–92 y el Acuerdo Gubernativo 29–2004 integran el marco legal que regulan la fortificación de la sal de consumo humano, ordenando a los productores y expendedores su cumplimiento de manera obligatoria.

Derivado de lo anterior, este estudio se plantea como principal interrogante de investigación: ¿Cuáles son los niveles de concentración de flúor y yodo en la sal de consumo humano disponible en los mercados municipales y cantonales de la República de Guatemala?

Existen evidencias científicas que demuestran que la administración de flúor en dosis óptimas, reduce significativamente la prevalencia e incidencia de caries dental sin riesgo para la salud. Es bien conocida su capacidad para inhibir el inicio y progreso de la caries dental, así como para estimular la formación ósea. El flúor es un elemento químico del grupo de los halógenos de la tabla periódica.

Es un gas a temperatura ambiente, de color amarillo pálido siendo el más electronegativo y reactivo de todos los elementos.

---

<sup>16</sup> Municipalidad de Guatemala, Empresa Municipal de Agua. *Programa de incorporación de fluoruro al agua de consumo de la ciudad de Guatemala*. p. 3.

### **1.5.1. Fisiología de los fluoruros**

El fluoruro ingerido se absorbe a nivel del tracto gastrointestinal por simple difusión (estómago e intestino delgado). También, es absorbido a través de los pulmones por el fluoruro que se encuentra en la atmósfera. Una vez que fue absorbido pasa a la circulación sanguínea donde es transportado y distribuido a todo el organismo, especialmente, en tejidos calcificados como huesos y dientes. Se elimina principalmente en la orina a través de los riñones y en menor medida a través de sudor, heces y saliva.

### **1.5.2. Funciones del flúor en la estructura dentaria**

El flúor reacciona con el calcio de la estructura dentaria y se forma fluoruro de calcio, este reacciona con los cristales del esmalte (hidroxiapatita), resultando un compuesto que aumenta la resistencia del esmalte (fluorhidroxiapatita). Además, el flúor contribuye a la remineralización, ya que favorece el intercambio de iones de calcio y fosfato, esto se debe a que el flúor tiene carga negativa y el calcio y fosfato carga positiva. El flúor tiene acción antibacteriana atacando a las bacterias que colonizan la superficie de los dientes.

### **1.5.3. Fluoruración de la sal**

La introducción de los productos con fluoruro ha jugado un papel significativo en la disminución dramática de la prevalencia y severidad de la caries dental en muchos lugares, sobre todo en los países desarrollados. El fluoruro actúa promoviendo la desmineralización del esmalte, revirtiendo el proceso de la caries dental y adicionando iones de calcio y fosfato en la

estructura de hidroxiapatita, además de incorporar fluoruro como fluorhidroxiapatita.

La incorporación de fluoruros sistémicos al agua y la sal para consumo humano ha probado tener efectos beneficiosos para prevenir la caries dental en varios países de América y Europa. La fluoruración de la sal constituye un método seguro y efectivo para prevenir la caries dental.

El uso de sal fluorurada para prevenir la caries dental cuenta con el respaldo de investigaciones científicas, además de ser un procedimiento equitativo de salud pública que beneficia a todos por igual, independiente de la edad, el nivel socioeconómico o el acceso a los servicios de salud bucodental. La sal fluorurada es segura, efectiva y se utiliza en numerosos países permitiendo obtener los beneficios del fluoruro tanto tópico como sistémico para conservar la dentadura y reducir los gastos de atención odontológica.

Estudios para evaluar la efectividad de la fluoruración de la sal demuestran que para el grupo de niños de 12 años el nivel de reducción de caries está entre 35 % y 80 %.

Para el programa de fluoruración de sal, se debe estudiar la concentración natural del ión flúor en las fuentes de agua de consumo humano, para determinar la dosis óptima de flúor para cada comunidad.

En 1964 se inició una investigación en cuatro comunidades rurales del departamento de Antioquia, Medellín, Colombia para comprobar la eficacia de la sal de cocina como otro vehículo para hacer llegar los beneficios del flúor a las personas. Los resultados confirman que la fluoruración de la sal de cocina es un buen método de prevención de la caries dental. Se trata de un método viable

dado que la sal es un producto básico en la alimentación, de escaso costo y fácil de obtener.

Cuando se utiliza fluoruro de calcio y fluoruro de sodio a través de la sal de cocina, se logra una similitud en la fuerza preventiva de la caries dental como cuando se administra flúor a través del agua de bebida, dicha prevención está en el orden de 60 % a 65 %. Se determinó que una adición de 200 mg de ion flúor por kilogramo de sal, es la dosis óptima para lograr la prevención de la caries dental sin riesgo de fluorosis.

Dado que la sal de cocina es un ingrediente básico en la alimentación, independientemente de los hábitos alimentarios y que es de fácil distribución, aún en zonas alejadas, se puede concluir que es el mejor vehículo para suministrar flúor.

#### **1.5.4. Consumo promedio de sal en Guatemala**

En la Encuesta Nacional de Micronutrientes en Guatemala realizada en el año 1995, se investigó el consumo diario de sal por persona, el cual se estimó en 10,8 gramos. Se encontró una diferencia importante del consumo de sal entre las regiones del país, evidenciando que en el Departamento de Guatemala se consumen 9 gramos diarios y en el resto del país 11 gramos. Otros estudios realizados acerca del consumo de sal en la región central de Guatemala, demostraron que el consumo por persona independientemente de la condición urbana o rural de los hogares, es de 10,22 gramos diarios.

## 1.6. Proceso de fortificación

Se tiene como objetivo principal la fortificación de la sal con yodo y flúor para el consumo humano, por lo cual debemos dar a conocer a la sociedad en general la legislación vigente sobre fortificación, enriquecimiento y/o equiparación de alimentos.

La fortificación de alimentos de consumo masivo, debido a su bajo costo, biodisponibilidad y cobertura, es la estrategia más efectiva para brindar a la población los micronutrientes esenciales que son deficitarios en la dieta. El Congreso de la República de Guatemala, considerando que es deber del Estado velar por la salud integral de todos los habitantes del país y que la fortificación, enriquecimiento o equiparación de los alimentos es uno de los medios más eficaces de la lucha contra las enfermedades por deficiencias nutricionales específicas, emitió en 1992 la *Ley general de enriquecimiento de alimentos*.

Posteriormente, para operacionalizar dicha ley, se han emitido los reglamentos para la fortificación de tres alimentos básicos, consumidos por la mayoría de la población, seleccionados como vehículos para aportar a la mayor parte de la población los micronutrientes deficitarios que son importantes para la salud y que son: 1) azúcar, que se fortifica con vitamina "A"; 2) harina de trigo, que se fortifica con hierro, tiamina, niacina, riboflavina y ácido fólico, y 3) sal, que se fortifica con yodo y flúor. Para la Comisión Nacional de Fortificación, enriquecimiento y/o equiparación de alimentos, creada con la promulgación del decreto Ley núm. 44-92, se detalla en mayor profundidad la fortificación de la sal que será parte del proceso en las etapas de propuesta de diseño de suma importancia para el triturado, así como de su traslado final a la mezcladora.

### **1.6.1. Reglamento para la fortificación de sal con yodo y sal con flúor, Acuerdo Gubernativo 29-2004**

“Las informaciones sobre estos datos provienen directamente de dicho acuerdo emitido el 12 de enero del 2004 a toda sal que se comercialice o utilice en el país, para uso en la industria de alimentos, para consumo humano directo principalmente, así también de uso animal y para otro fin, cualquiera que sea su tipo u origen, se de producción nacional, importada o donada. Dada la resolución el enfoque se realizará para la sal producida en Guatemala por micro salineros que son los encargados de procesar la sal artesanal en época de verano y que para fines de fortificación y distribución de realizarán dicha propuesta de diseño de máquina de trituradora de sal.”<sup>17</sup>

### **1.6.2. Sal de calidad alimentaria para consumo humano directo**

La sal es un producto constituido principalmente por el compuesto químico cloruro de sodio, debe de estar fortificada con yodo y flúor ya que forma parte de la dieta alimentaria de la población, debe de estar sujeta a las normas en el reglamento antes mencionado.

### **1.6.3. Envase primario**

Es todo recipiente que contiene contacto con el producto, con la misión específico de protegerlo de su deterioro, contaminación, adulteración y facilitar su manipulación, en dicho caso se mencionará a toda maquinaria propuesta para el diseño que entrará en contacto directo con la sal para el proceso como lavado, secado, triturado y mezclado.

---

<sup>17</sup> Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Reglamento para la fortificación de la sal con yodo y sal con yodo y flúor*. *Diario de Centroamérica*. Acuerdo Gubernativo 29-2004.FALTA PÁGINA.

#### **1.6.4. Nivel de fortificación**

La sal para consumo humano directo debe de poseer en la planta de fortificación y expendios como mínimo veinte (20) miligramos de yodo por cada kilogramo de sal y como máximo sesenta (60) miligramos de yodo por cada kilogramo de sal y el flúor en un mínimo de ciento setenta y cinco (175) miligramos por kilogramo de sal y un máximo de doscientos veinticinco (225) miligramos de flúor por kilogramo de sal. El yodo podrá ser proporcionado en forma de yodato o yoduro de sodio y el flúor en forma de fluoruro de sodio o fluoruro de potasio.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> *La calidad de los alimentos.* file:///F:/Información%20de%20EPS%20CHRISS/Lery% 20 General%20de%20Enriquecimiento%20de%20los%20alimentos.pdf. Consulta: 29 de agosto de 2016.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Diseño de la máquina trituradora de sal**

#### **2.1.1. Análisis de diseño de la máquina**

Quando se habla de diseño de máquina se debe saber que esta varios componentes o etapas que se deben realizar en todo el proceso con mucha precisión para que cumpla con los objetivos a la cual será aplicada. Estos procesos se realizan bajo los siguientes criterios de selección:

##### **2.1.1.1. Precisión de la máquina trituradora de sal**

La máquina manejará una capacidad de trabajo de 1 tonelada, información obtenida en las visitas programadas con la unidad socio preventiva. Esta cantidad se toma en cuenta por lote ya que es la cantidad promedio de microsalineros de la región y es la cantidad diaria que producen en temporada de cosecha. Se tendrá en cuenta que la máquina a diseñar debe ser de bajo costo en su fabricación, así mismo, con un manejo que no dificulte el proceso y fácil mantenimiento. Para que la máquina trituradora de sal trabaje de manera correcta debe funcionar con energía eléctrica y, por supuesto, utilizar materiales de construcción adecuados y fáciles de conseguir en Guatemala.

##### **2.1.1.2. Restricciones**

En principio, una de las restricciones que se tendrá en el proceso de diseño de la máquina es que, por lo general, no se posee información sobre el

triturado idóneo en el área de procesos de sal en Guatemala, lo cual impide de manera significativa recopilar información con documentos que puedan facilitar los cumplimientos de la máquina con las características o requerimientos deseados.

#### **2.1.1.3. Parámetros a cumplir**

Existe en Guatemala el Decreto Ley núm. 44-92, *Ley general de enriquecimiento de alimentos* y también *Reglamento para la fortificación de la sal con yodo y sal con yodo y fluor* Acuerdo Gubernativo número 29-2004 Guatemala, 12 de enero de 2004, que ayudará a comprender de qué manera se debe tratar la sal en el proceso de fortificación y crear finalmente una máquina adecuada que cumpla con los requerimientos y no dañe el ambiente.

#### **2.1.1.4. Funciones de la máquina**

La máquina deberá triturar la sal de manera que se pueda reducir a un tamaño de grano aproximadamente entre 1,00 a 2,00 mm de diámetro, proveniente del secado para que, luego de este proceso, se traslade directamente a la máquina de mezclado y se proceda a incorporar el flúor y yodo.

#### **2.1.2. Criterios de selección**

Los criterios de selección son fundamentales para el proceso de triturado de sal según las necesidades que deberá cubrir la máquina tomando en cuenta la necesidad de su fortificación para los salineros. Entre los criterios podemos mencionar:

- Facilidad en el manejo: los salineros serán los encargados de manejar dicha máquina, por lo tanto, su diseño no debe ser complicado para el uso en consecuencia se generaría una reducción de gastos por contratación de mano de obra calificada para su uso.
- Seguridad en el manejo: principalmente, la protección a la integridad del encargado del uso de la máquina será de suma importancia; por lo tanto, el diseño de la máquina debe plantear con condiciones óptimas y especificaciones adecuadas para la seguridad mientras se utiliza.
- Tamaño de la máquina: debe ser creada en función de una necesidad a trabajar como también el manejo de materia prima total: en este caso es de aproximadamente 1 tonelada de sal a trabajar por día; con base en dichos parámetros se puede crear una máquina adecuada y no una voluminosa que genere mayores gastos en el diseño.
- Mantenimiento de la máquina: con el propósito de que la máquina genere pocos paros por reparaciones, será de suma importancia la creación de un manual de mantenimiento con la mayor exactitud y precisión posible.
- Costo de la máquina: este es uno de los temas principales para su construcción; en la selección de materiales y todo lo que conlleve a un diseño óptimo, será de suma importancia para la reducción de costos, tomando en cuenta el mercado nacional.
- Rendimiento de la máquina: la misma deberá estar disponible en todo momento cuando se logre el principal objetivo: reunir la tonelada de sal para que su funcionamiento sea el mejor.

- Facilidad en fabricación: en el proceso de diseño se propondrá por igual una sugerencia para el ensamble y fabricación con el fin de que su creación sea de fácil entendimiento y los costos no se eleven.
- Facilidad de carga y descarga: este diseño de máquina será creado con la finalidad óptima de que no genere problemas al ingreso de la sal antes del triturado, así como después del proceso, con el fin de no interferir en otras actividades de los colaboradores.
- Facilidad en adaptación: en esta parte se trabajará con el fin de que a la hora del ensamble no se requiera de herramienta complicada para su armado con el fin de la reducción de costos de ensamblaje.
- Vida útil: cuando se genere un buen diseño, también, se crea implícitamente el buen funcionamiento de la máquina para prolongar en función del tiempo el no deterioro de la máquina para que se pueda generar una mayor ganancia en el uso y no en sus reparaciones o mantenimientos.

### **2.1.3. Evaluación**

Se procede a realizar un análisis con el fin de obtener el diseño adecuado para realizar los cálculos que más adelante se realizarán. Esta evaluación consistirá en la separación de las ventajas y desventajas de los tipos de trituradoras mencionadas en el inciso 1.3.2., para que se elija, por medio de una tabla de decisiones, la mejor propuesta para el diseño. Al no contar con algún diseño específico o un patrón de triturado establecido, se toma en cuenta las funcionalidades del sistema. De acuerdo con el grano de reducción necesario

para la sal, donde  $n \leq 10$  el tamaño promedio del producto o de partículas en su caso (100mm).

Se evaluarán 3 tipos:

- Tipo 1: trituradora giratoria
- Tipo 2: trituradora de rodillos
- Tipo 3: trituradora de impacto o martillo

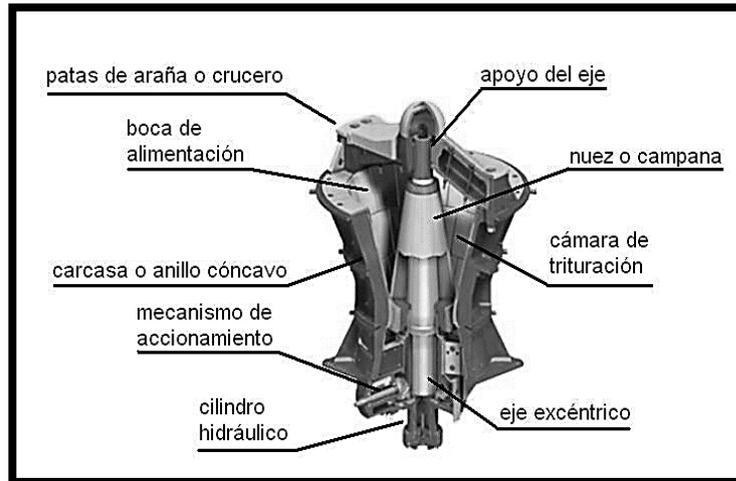
#### **2.1.3.1. Tipo 1: trituradora giratoria**

“Este tipo de trituradora posee la característica de que su proceso de trituración es por medio de esfuerzos y compresión entre dos partes troncocónicas: una es fija y la otra es un tronco de cono que genera un movimiento excéntrico. Este posee la opción de generar un tipo de grano: grande, mediano y pequeño.”<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> *Trituradora de giratoria.* <http://victoryepes.blogs.upv.es/2016/05/24/trituradoras-giratorias/>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

Figura 12. Trituradora giratoria



Fuente: *Trituradora de giratoria*. <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/files/2013/03/Trituradora-giratoria.jpg>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

#### 2.1.3.1.1. Ventajas del tipo 1

- Tienen un sistema de compensación hidráulico.
- Posee la capacidad que en su salida pueda generar un tipo diferente de tamaño de grano: grande, mediano o pequeño.
- Tiene un ajuste hidráulico.
- Este diseño es específicamente creado para trabajos sumamente pesados.
- Tiene la capacidad de una alta eficiencia productiva con base en tiempos.

- Su acondicionamiento es por medio de motor.
- La vida útil de estas máquinas con su debido mantenimiento es de aproximadamente 20 años.
- Los repuestos no son difíciles de adquirir.
- Sumamente rentable.

#### **2.1.3.1.2. Desventajas del tipo 1**

- Capacidad media
- Velocidad media
- Grandes cantidades de materia prima
- Gran tamaño

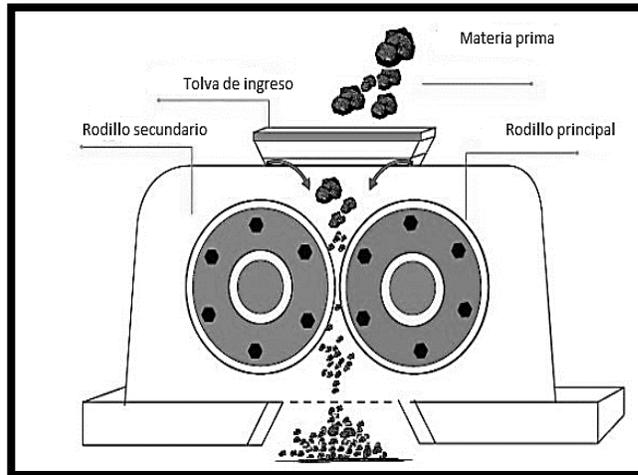
#### **2.1.3.2. Tipo 2: trituradora de rodillos**

“Este tipo de trituradora es la que posee dos tipos de rodillos: lisos o dentados que giran en sentido inverso y a similar velocidad de rotación, generando grados de trituración medianos y pequeños o en su defecto finos, ideales para procesos de trituración media.”<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> *Trituradoras de rodillos*. <http://maquinariasyequiposindustriales.blogspot.com/2014/01/trituradoras-de-rodillos.html>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

Figura 13. Trituradora de rodillos



Fuente: Calidad ISO. *Rodillo de la máquina trituradora de carbón de la piedra caliza trituradora.*  
<http://image.made-in-china.com/44f3j00ZEtQeTfsVzpw/ISO-Quality-Roller-Crusher-Coal-Limestone-Rock-Crusher-Machine.jpg>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

#### 2.1.3.2.1. Ventajas del tipo 2

- La distancia o separación de los rodillos puede ser ajustada por medio de soportes o tornillos.
- Es una máquina sencilla de buen tamaño y de fácil mantenimiento.
- Diseñada para la trituración de materiales secos, húmedos o pegadizos.
- La altura puede ser limitada en el diseño.
- La granulometría a la salida es muy regular, sin grandes tamaños ni de finos.

- Puede ser capaz de ingresar altos volúmenes de materia prima.
- Ideal para materiales de dureza media.
- Altas en sus fuerzas de trituración.
- Fácil instalación.
- Rodillos con elementos de trituración o lisos.
- Rentabilidad alta.
- Bajo costo de diseño.

#### **2.1.3.2.2. Desventajas del tipo 2**

- Desgaste de los rodillos
- No son adecuados para materiales sumamente duros y abrasivos
- Su relación de reducción es limitada
- Se necesita una constante alimentación y uniforme a lo largo del cilindro

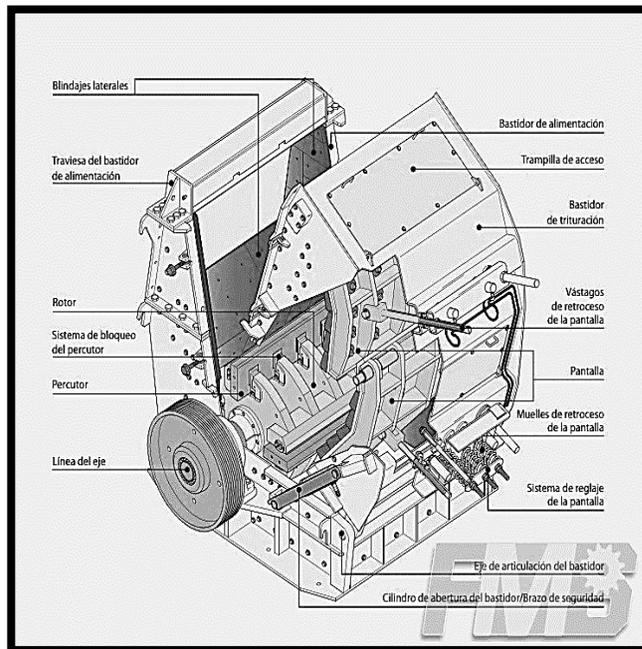
#### **2.1.3.3. Tipo 3: trituradora de impacto**

“La trituradora de impacto o martillo funciona por medio de impactos sucesivos sobre el material haciendo que se logre desintegrar en partículas pequeñas y finas.”<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> *Trituradora de impacto.* <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradoras-de-impacto-i.html>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

Figura 14. Trituradora de impacto



Fuente: *Trituradora de roca*. <http://trituradoras-de-roca.com/uploads/allimg/120615/1-120615145434129.jpg>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

### 2.1.3.3.1. Ventajas del tipo 3

- Puede ser utilizada para un rango alto de materiales
- Es muy útil para cualquier material o fibra
- Es muy alta la tasa en reducción
- Puede generar partículas en forma cúbica
- Su caída al ingreso es por gravedad
- Altos motores con mayor grado de inercia
- Son sencillas en su diseño
- Bajo costo en *stock* de repuestos

#### **2.1.3.3.2. Desventajas del tipo 3**

- No se recomienda para materiales sumamente duros
- En comparación con la trituradora de rodillos su eficiencia es baja
- Puede llegar a generar calor, ruido y exceso de polvos finos
- Debe tener un recubrimiento de placa de desgaste
- El costo de mantenimiento es elevado
- No existe una uniformidad en el tamaño final de las partículas

#### **2.1.4. Selección a seguir**

Para seleccionar la opción de la propuesta de diseño adecuada, se elegirán las características más adecuadas o relevantes que debe poseer la máquina, para que, con base en estas, se pueda ejecutar la decisión de diseño idónea con base en un criterio de ponderación.

Entre los factores a mencionar para dicha selección se pueden mencionar:

- Costo de construcción
- Diseño
- Tamaño
- Peso
- Disponibilidad de materiales
- Resistencia a la corrosión
- Nivel de interferencia por ruido
- Mantenimiento
- Seguridad
- Facilidad de construcción
- Capacidad de producción

- Tamaño de grano final

En la tabla I se muestra la decisión de cada una de las características a considerar de acuerdo con la importancia de la propuesta del diseño de la máquina trituradora. La ponderación será de 0 a 10 (mínimo-máximo, respectivamente).

Tabla I. **Selección a seguir**

Núm.	Selección a seguir	Factor de importancia	Alternativas				
			Ideal	Ponderación	T. Giratoria	T. de Rodillos	T. de martillos
1	Costo de producción	0,5	10	5	1	8	5
2	Diseño	0,8	10	8	3	10	8
3	Tamaño	0,1	10	1	3	8	6
4	Peso	0,9	10	9	8	7	7
5	Disponibilidad de materiales	0,7	10	1	5	6	9
6	Resistencia a la corrosión	1	10	10	5	6	2
7	Nivel de interferencia por ruido	1	10	10	1	7	3
8	Mantenimiento	0,8	10	8	6	8	6
9	Seguridad	0,7	10	7	5	8	5
10	Facilidad de construcción	0,9	10	9	7	8	8
11	Capacidad de producción	0,8	10	8	10	10	10
12	Tamaño del grano final	1	10	10	5	8	7
	<b>TOTAL</b>			<b>86</b>	<b>59</b>	<b>94</b>	<b>76</b>

Fuente: elaboración propia.

Del análisis de dichas alternativas propuestas, se obtuvo como resultado que la alternativa de 2 es la más viable en fabricación y diseño, es decir, una trituradora de rodillos.

### 2.1.5. Parámetros de diseño

En los requerimientos para la propuesta del diseño de la máquina trituradora de sal se pueden incluir:

- Como materia prima la sal.
- Se sabe que la condición para que se pueda triturar adecuadamente, es que la sal en la entrada del proceso de triturado debe de ingresar con una humedad entre el 0,2 % al 4 % de humedad.
- Se deberán considerar las propiedades del grano o cristal de sal y su densidad.
- Se tomará en cuenta que la propuesta de la máquina a diseñar debe ser manejable para que se pueda trasladar de un lugar a otro sin dificultad.
- Se entenderá que a la salida del triturado no posea ninguna dificultad para su debido transporte o traslado para el mezclado si se amerita.
- Para que pueda trabajar de manera adecuada debe poseer un operario a cargo de la recepción de la materia prima sin ningún inconveniente de estancamiento y su salida como parte del proceso.
- Se deberán tener en cuenta las características en su desmontaje para que sea fácil la ejecución de alguna reparación y mantenimientos programados.
- El material de contacto con la sal deberá ser de acero inoxidable por sus propiedades de anticorrosión.
- La estructura de la máquina deberá ser de acero, definiendo más adelante las especificaciones necesarias.

- Las condiciones de temperatura de la máquina será a temperatura ambiente aproximadamente 30<sup>0</sup>C, dependiendo la época del año.
- Conocer información acerca de la densidad de la sal.

Según los requerimientos que la máquina deberá cumplir, también, se tomará en consideración las necesidades y condiciones de operación a la que estará sometida; se pueden mencionar:

#### **2.1.6. Capacidad del sistema a diseñar**

Según la información obtenida en las visitas técnicas programadas y la finalidad de la propuesta para el diseño de la máquina trituradora de sal, se concluye, que la masa total a trabajar es de una tonelada exacta. Por lo cual se trabajará con ese parámetro para los cálculos en el tamaño del diseño.

#### **2.1.7. Especificaciones**

Las condiciones se tomarán en cuenta con la tonelada de sal a trabajar. Estas especificaciones ayudarán a los primeros datos técnicos de la máquina. Se sabe que el material o el producto que se trabaja será sal marina, por lo cual, como se menciona en el punto 1.3.1., se detallan brevemente las granulometrías luego de ser cosechada. Los granos de sal miden entre 0,7 mm y 3,2 mm de diámetro.

Se necesita sal que se pueda mezclar de manera correcta, la máquina trituradora de sal deberá cumplir con una reducción entre 0,2 mm a 0,4 mm como máximo. Ya que la sal luego de ser secada caerá por gravedad en la

garganta de ingreso de la trituradora; se procede a la información del material a utilizar.

### **2.1.8. Material a utilizar**

Para la construcción de la máquina se deberán tomar en cuenta ciertas características:

- Altamente higiénico para la sal.
- Altamente resistente a la corrosión.
- Gran durabilidad.
- Respuesta mecánica óptima para el soldado, corte, cizallado, corte a láser, entre otros.

Con los parámetros establecidos, se sabe de antemano que cuando se trabaja con un producto alimenticio, con este caso, sal, lo inocuo del material que protege de manera significativa sus propiedades en un alto grado el acero inoxidable que es el más adecuado para la fabricación de las piezas principales de la máquina trituradora.

El acero es una aleación de hierro (Fe) y carbono (C) siempre que el porcentaje de carbono sea inferior al 2 %. Este porcentaje de carbono suele variar entre el 0,05 % y el 2 % como máximo. A veces se incorporan a la aleación otros materiales como el Cr (cromo), el Ni (níquel) o el Mn (manganeso) con el fin de conseguir determinadas propiedades, se llaman aceros aleados.

Las aleaciones son una mezcla de dos o más elementos, de los cuales al menos uno, el que se encuentra en mayor proporción, es un metal. El acero es,

por tanto, un metal ferroso porque su componente principal es el hierro y de su fabricación, como todos los metales ferrosos, se encarga la industria siderúrgica.

“El acero, en general, es un material de elevada dureza (no se raya), tenacidad (resistencia a los golpes) y de gran resistencia mecánica.”<sup>22</sup>

Entre los aceros inoxidable, según la norma AISI, más comunes según su estructura cristalina para trabajar se pueden mencionar:

- Aceros austeníticos
- Aceros martensíticos
- Aceros ferríticos

### **2.1.8.1. Aceros austeníticos serie 200**

#### **2.1.8.1.1. AISI 201/J4**

“Son un sustituto del acero 304 que más adelante se mencionará, pero tiene un menor concentrado de níquel al 1,00 % - 4,00 %, utilizado normalmente en aparatos domésticos, escaleras, estructuras automotrices o en otras de fin estructural. Esta baja de níquel es compensado por 4 elementos adicionales que son carbono, manganeso, cobre y nitrógeno.”<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> *Acero inoxidable*. <http://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

<sup>23</sup> *Clasificación de los aceros inoxidables*. <http://www.multimet.net/pdf/clasificacionaceros.pdf>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

#### **2.1.8.1.2. AISI 202/JSL AUX**

Es un sustituto del acero 304 pero posee un mayor contenido de níquel en comparación con el 201. Este acero inoxidable es usado regularmente para la fabricación de ganchos, productos para embutidos extra profundos, o en otras aplicaciones con exposición limitada la corrosión. El porcentaje de níquel es de aproximadamente 4,00 % a 6,00 %.

#### **2.1.8.2. Aceros austeníticos serie 300**

##### **2.1.8.2.1. AISI 301**

Este tipo de acero inoxidable posee finalidades estructurales, correas transportadoras, equipos de transportes, fijadores, horquillas, conjuntos estructurales de alta resistencia para aviones, automóviles.

##### **2.1.8.2.2. AISI 304**

Su finalidad también es estructural, bajo contenido de carbono para equipos para la industria química y naval, industria farmacéutica, industria de tejidos y papel, almacenes de cerveza, tanques de almacenamiento de cerveza, canalones.

##### **2.1.8.2.3. AISI 304L**

Para recubrimiento de tolvas de carbón, tanques de pulverización de fertilizantes líquidos, tanques de almacenamiento de pastas. Puede ser fácilmente trabajado en frío para soldado, doblado, plegado, por ejemplo.

#### **2.1.8.2.4. AISI 310**

Este es un acero inoxidable refractario para altas temperaturas, como los calentadores de aire, estufas de secamiento, escudos de calderas de vapor, hornos de fundición, intercambiadores de calor, compuestas de horno, chimeneas y compuertas de chimeneas de hornos.

#### **2.1.8.2.5. AISI 316**

Utilizado para piezas que demandan alta resistencia en corrosión puntuales, equipos en la industria química, farmacéutica, textil, petrolera, papel, celulosa, caucho, nylon, instrumentos quirúrgicos.

#### **2.1.8.2.6. AISI 316L**

Para alta demanda de resistencia en corrosión puntuales, piezas de válvulas, tanques, agitadores y evaporadores, tanques de almacenamiento de productos químicos y orgánicos.

### **2.1.8.3. Aceros martensíticos serie 400**

#### **2.1.8.3.1. AISI 420**

“Utilizado para la fabricación de tornillos, cerraduras, mesas de plancha, cubiertos, instrumentos de medición, tamices, herramientas manuales, llaves.”<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> *Clasificación de los aceros inoxidables.* <http://www.multimet.net/pdf/clasificacionaceros.pdf>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

## 2.1.8.4. Aceros ferríticos serie 400

### 2.1.8.4.1. AISI 430

Para utensilios domésticos, fabricación de monedas, canalones, máquinas de lavar, pilas, adornos para automóviles, puerta de cajas fuertes.

Con una gama de selecciones en el mercado en los aceros inoxidable, el ideal a trabajar será, por consiguiente, serie 300 AISI 304 o AISI 304L por sus propiedades químicas, mecánicas, físicas y su utilización, ya que fueron comparados con los demás tipos mencionados. En la siguiente tabla se mencionan algunas propiedades químicas, mecánicas y físicas para el AISI 304 y AISI 304L, respectivamente.

Tabla II. **Propiedades químicas, mecánicas y físicas de los aceros inoxidables AISI 304 y AISI 304L**

TIPO DE ACERO	Material	304	304L
	Cromo	18-20	18-20
	Níquel	8-10,5	8-10
	Carbón	0,8	0,3
Valor químico %	Manganeso	2	2
	Silicio	1	1
	Fósforo	0,045	0,045
	Azúfre	0,03	0,03
	otros	-	-
	Esfuerzo de fluencia psi	35 000	33 000
	Esfuerzo último psi	84 000	81 000
Propiedades mecánicas	Elongación % 2" 100mm	55	55
	Dureza de Brinell BHN	149	149
	Rockwell B	80	80
	Módulo de elasticidad en tensión psi x 10 <sup>6</sup>	28	28
Resistencia térmica	Máximo de temperatura en operación °F	1 600	1 600
	Servicio continuo °F	1 700	1 700

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.9. Diseño de las partes principales**

Esta sección contará con los cálculos de cada uno de los elementos mecánicos que deberán ser diseñados y seleccionados de acuerdo a las normas y especificaciones técnicas que en conjunto cumplan la función de la máquina trituradora de sal; se pondrá en práctica lo aprendido a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica para que los resultados sean los correctos.

#### **2.1.9.1. Trituradora de rodillos**

El proceso de la máquina será atrapar por medio de una caída vertical la sal, que será la materia prima entre 2 cilindros trituradores, que a su vez, por medio de movimiento rotacional, desarrollarán una velocidad proveniente de un motor de corriente eléctrica y que por medio de la separación dada procedan a la disminución del cristal de sal a un aproximado entre 2,00mm a 1,00 mm de diámetro que es ideal para el consumo humano, la comúnmente llamada sal de cocina.

Para un diseño óptimo se deberá tomar en cuenta la potencia a la cual será triturada la sal, por lo cual se tendrá que tomar en cuenta los siguientes factores:

- Diseño de los rodillos
- Cargas a la cual estarán sujetos los rodillos
- El tipo de sistema de transmisión
- Selección de las chavetas

### **2.1.9.2. Diseño de los rodillos**

Los rodillos serán de acero inoxidable según la norma AISI 304; se le agregará, para que sea mucho más eficiente y se evite el estancamiento, un fresado a los rodillos para un mejor grado en trituración de la sal. Estos rodillos estarán colocados en sentido opuesto, la velocidad angular podrá ser igual o distinta.

### **2.1.9.3. Número de rodillos**

Se establecerá según la necesidad del diseño. Como se conoce, se usará 2 rodillos y como se mencionó en el inciso anterior, deberán tener un fresado para que puedan reducir el grano de sal en bruto que se recolecta artesanalmente de un tamaño aproximado entre 5,00 mm a 7,00 mm de diámetro a un promedio entre 2,00 mm a 1,00 mm de diámetro.

### **2.1.9.4. Diámetro de rodillos**

Se tomará en cuenta que para calcular el mínimo requerido para que el cristal de sal sea triturado será necesario calcular el ángulo al cual estará separado.

#### **2.1.9.4.1. Ángulo de separación de los rodillos**

Según los ángulos que se forman en las tangentes a las caras de los rodillos con el punto de contacto de estos con el producto. Para que las partículas o los cristales de sal sean atraídos por fricción hacia los rodillos se emplea la siguiente ecuación:

$$\tan \theta = \mu \quad (\text{ecu. 2.1})$$

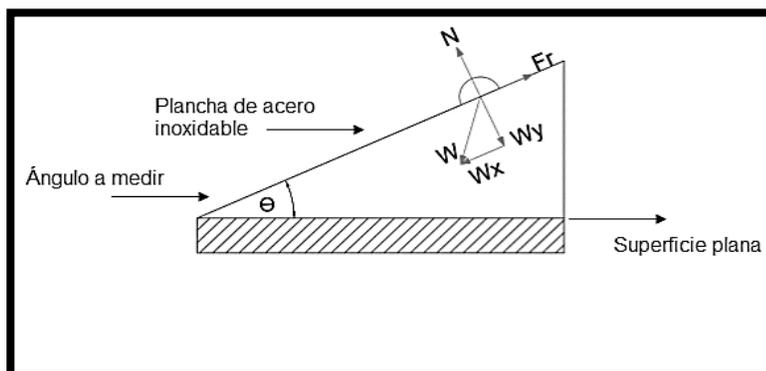
Donde:

- $\theta$ : ángulo de separación de los rodillos
- $\mu$ : coeficiente de fricción

#### 2.1.9.4.2. Determinación del coeficiente de fricción de la sal

“Este coeficiente se obtendrá experimentalmente: se colocará en una plancha un puñado de sal que se obtiene en los supermercados sobre una placa de acero inoxidable AISI 304; se parte del ángulo cero y ascendientemente se toman varias medidas con el objetivo de ver hacia que ángulo  $\theta$  se estará deslizando la misma y luego se calcula el coeficiente de fricción. En la tabla III, se tabularán los datos obtenidos.”<sup>25</sup>

Figura 15. **Determinación del coeficiente de fricción**



Fuente: elaboración propia.

<sup>25</sup> *El rozamiento por deslizamiento.* <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

Tabla III. **Tabla de resultados obtenidos**

Núm.	Ángulo $\theta$	Coefficiente de fricción $\tan \theta = \mu$
1	51	1,2348
2	53	1,3270
3	50	1,1917
4	56	1,4825
5	54	1,3763

Fuente: elaboración propia.

Con los resultados obtenidos, el promedio de los valores del coeficiente de fricción de la tabla III, se obtiene:

$$\frac{1,2348+1,3270+1,1917+1,4825+1,3763}{5} = 1,3224$$

$$\mu = 1,3224$$

#### 2.1.9.4.3. **Proceso de cálculo para el diámetro en los rodillos**

Esta fórmula relaciona el ángulo de separación entre estos:

$$\cos (\theta) = \frac{D_r + D_f}{D_r + D_t} \quad (\text{ecu. 2.2})$$

Donde:

- $\theta$  = ángulo de separación de los rodillos
- $D_r$  = diámetro de los rodillos en mm
- $D_f$  = diámetro medio de las partículas finales en mm
- $D_t$  = diámetro medio de las partículas añadidas en mm

“Se tiene entonces despejando la variable para  $D_r$  y luego se sustituye el valor promedio encontrado de  $\mu$ , se podrá encontrar el diámetro promedio de las partículas.”<sup>26</sup>

$$D_r = \frac{D_t \cdot \cos(\theta) - D_f}{1 - \cos(\theta)} \quad (\text{ecu. 2.3})$$

Se sabe que el ángulo  $\theta$  de separación sería:

- $\tan \theta = \mu$
- $\theta = \tan^{-1}(\mu)$
- $\theta = \tan^{-1}(1,3224)$
- $\theta = 52,9033$

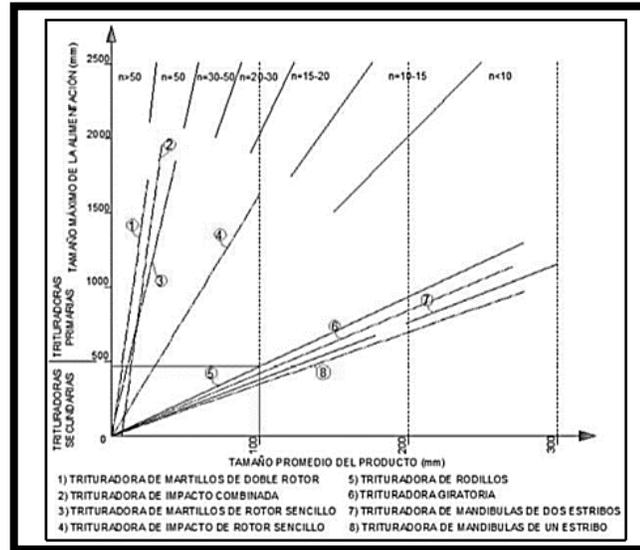
El diámetro promedio de las partículas  $D_t$  es:

De acuerdo con el criterio de selección y como se detalla en la figura 16, a continuación, el grano de reducción necesario para la sal, donde para  $n \leq 10$  el tamaño promedio del producto o de partículas en su caso 100 mm.

---

<sup>26</sup> Trituración de materias primas. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

Figura 16. **Tamaño de alimentación vrs tamaño de producto**



Fuente: *Trituración de materia prima*. [http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMaterias Primas.pdf](http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMaterias%20Primas.pdf). Consulta 12 de septiembre de 2016.

$$D_t = 50,00 \text{ mm}$$

Se sabe que el diámetro final que se desea obtener es:

$$D_f = 2,00 \text{ mm}$$

Se sustituyen los valores necesarios para encontrar el diámetro de los rodillos  $D_r$ .

$$D_r = \frac{D_t \cdot \cos(\theta) - D_f}{1 - \cos(\theta)}$$

$$D_r = \frac{50 [\text{mm}] \cdot \cos(52,9033) - 2 [\text{mm}]}{1 - \cos(52,9033)}$$

$$D_r = 70,9561 \text{ [ mm ]}$$

Por situaciones de cálculos y relaciones de longitudes, se basará en 2 cilindros de diámetro de 100 mm y por parámetro de diseño el largo se colocará de 500 mm.

#### **2.1.9.4.4. Proceso de cálculo de las revoluciones por minuto en los rodillos**

“Se deberá calcular primero la velocidad a la cual el primer rodillo girará, para lo cual se basará en la fórmula siguiente.”<sup>27</sup>

$$Q = 50 * L * D_r * D_f * N * \rho \quad (\text{ecu. 2.4})$$

Donde:

- Q = capacidad de trituración de los rodillos en [ t/hora ]
- N = revoluciones por minuto de los rodillos en [ rpm ]
- $D_r$  = diámetro de los rodillos en [ m ]
- $D_f$  = diámetro medio de las partículas finales en [ m ]
- L = longitud a usar de los rodillos [ m ]

Se sabe que, la cantidad que se trabajará en todo el proceso desde el lavado, secado, triturado y mezclado de la sal será de  $1 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{hora}} \right]$ , por lo cual se procederán a realizar ciertas conversiones para aplicar la (ecu. 2.4.), para trabajar con las mismas dimensionales.

---

<sup>27</sup> *Trituración de materias primas*. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

1 ton = 1 000 kg

Se deberá conocer por igual algunas condiciones en la cual es la sal estará trabajando; por lo cual se tendrá que encontrar la densidad de la sal y su humedad específica con la cual será empleada.

#### 2.1.9.4.5. Densidad teórica

La densidad teórica de la sal se obtiene por medio de una tabla de densidades en unidades (Blug\*) que proporciona las densidades en tonelada métrica sobre metro cúbico.

Tabla IV. Densidad de la sal

Sal	1,0-1,4
Sal bruta	1,50
Sal común	0,67-0,80
Sal gema	2,20
Sal común	0,90
Sal de fosfato	0,70
Sal de Glauber	1,40
Sal de plomo	1,10
Sal de potasa	0,90
Sal de roca molida	0,45

Fuente: Tamizado y molienda. *Molino de martillos*. [http://puertodemamonal.com/cms/wpcontent/uploads/2012/12/Tabla\\_de\\_densidades.pdf](http://puertodemamonal.com/cms/wpcontent/uploads/2012/12/Tabla_de_densidades.pdf). Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Como se observa en la figura, existen tipos diferentes para obtener su densidad, por procesos de cálculos se tomará la información de la sal común la cual es:

$$d_{\text{teórica}} : 0,90 \left[ \frac{\text{tm}}{\text{m}^3} \right]$$

#### 2.1.9.4.6. Densidad experimental

Esta densidad se obtuvo mediante las visitas realizadas a las empresas de sal y a los microsalineros. Esta aproximación fue de:

$$0,89 \left[ \frac{\text{tm}}{\text{m}^3} \right] \text{ a } 0,97 \left[ \frac{\text{tm}}{\text{m}^3} \right]$$

El valor final para una densidad experimental será entonces:

$$d_{\text{experimental}} : 0,9300 \left[ \frac{\text{tm}}{\text{m}^3} \right]$$

Con estos resultados se procede a calcular la capacidad teórica del sistema realizándolo de la siguiente manera:

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

Donde:

- $\rho$  = densidad
- $m$  = masa
- $v$  = volumen
- $v = \frac{m}{\rho}$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1 \text{ tonelada métrica}}{0,9300 \left[ \frac{\text{tm}}{\text{m}^3} \right]} = 1,0752 \text{ m}^3$$

Realizando los cálculos se obtiene que la capacidad teórica del sistema es 1,0752 m<sup>3</sup>; este dato en sí ayudará para el volumen total de la máquina para que esta opere con el espacio suficiente para sobrecargar el sistema.

#### 2.1.9.4.7. Capacidad de trituración

La capacidad a la cual estará sometida la máquina trituradora de sal es:

$$1 \left[ \frac{\text{tonelada}}{\text{hora}} \right]$$

Con este dato se sabe cuál será su capacidad para incluirla en la fórmula.

Dato obtenido de los microsalineros, que será la cantidad a trabajar.

$$Q = 1 \left[ \frac{\text{t}}{\text{hora}} \right]$$

Finalmente, se despeja N de la ecuación 2.4, obteniendo que:

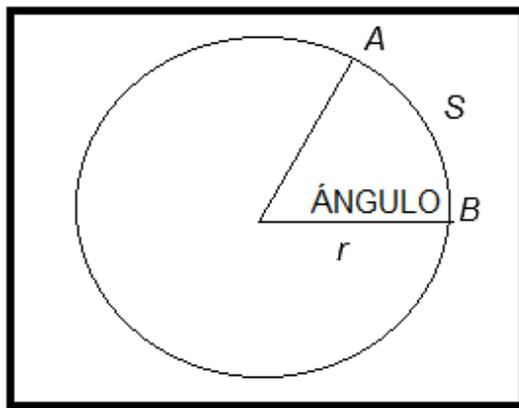
$$N = \frac{Q}{50 * L * Dr * Df * \rho}$$
$$N = \frac{1,00 \left[ \frac{\text{t}}{\text{hora}} \right]}{50 * 0,5 \text{ [m]} * 0,1 \text{ [m]} * 0,002 \text{ [m]} * 0,9300 \left[ \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \right]}$$
$$N = 215,0537 \text{ [ rpm ]}$$

Para la máquina trituradora de sal se recomienda entonces que los rodillos giren a 215 rpm. Se garantiza que, con esta velocidad, los cristales de sal serán triturados de manera correcta para desear el tamaño final.

#### 2.1.9.4.8. Procedimiento del cálculo de la superficie en contacto entre el grano de sal y los rodillos

“Esta se determina como el área donde actúan las fuerzas de compresión y corte.”<sup>28</sup>

Figura 17. Superficie de contacto en los rodillos



Fuente: elaboración propia.

Se tiene la siguiente fórmula:

$$S = r * \theta_{\text{cont}} ; S = l_{\text{arco}}$$

<sup>28</sup> Sector y trapecio circular problemas con respuestas de nivel UNI. <http://matematicasn.blogspot.com/2016/01/longitud-de-arco-sector-circular-ruedas.html>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

$$l_{\text{arco}} = r * \theta_{\text{cont}}$$

$$l_{\text{arco}} = \frac{D_r}{2} * \theta_{\text{cont}} \quad (\text{ecu. 2.5})$$

Donde:

- $\theta_{\text{cont}}$  = ángulo de contacto en radianes [ rad ]
- $l_{\text{arco}}$  = longitud del arco de contacto [ mm ]
- $D_r$  = diámetro de los rodillos [ mm ]

Para encontrar el arco de contacto, se sustituye la información ya obtenida en la (ecu. 2.5).

$$D_r = 100 \text{ mm}$$

$$\theta_{\text{cont}} = 52,9033^\circ$$

Realizando la conversión de grados a radianes:

$$52,9033^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} = 0,9233 \text{ rad}$$

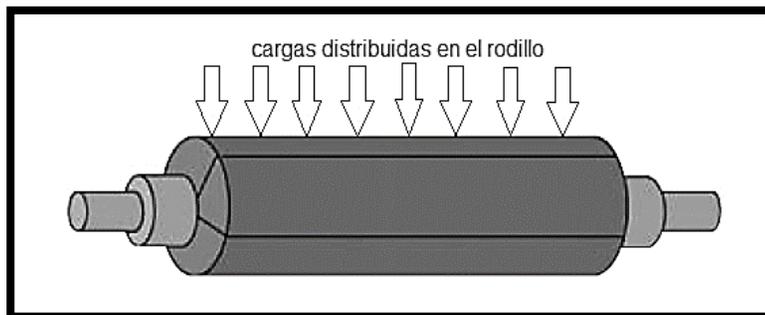
$$l_{\text{arco}} = \frac{100}{2} * 0,9233 \text{ rad}$$

$$l_{\text{arco}} = 46,165 \text{ mm}$$

#### 2.1.9.4.9. Proceso de cálculo en la carga de los rodillos

Esta depende de la fuerza a la cual están sometidos los rodillos y es directamente a la fuerza de compresión generada por los cristales de sal. Se esquematizará con una figura la distribución de la fuerza de compresión.

Figura 18. **Distribución de carga del rodillo**



Fuente: *Medición de la fuerza de compresión en el plano del liner y del fluting.*

[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=386:ique-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid=](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=386:ique-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid=)Consulta: 12 de septiembre de 2016.

“Se sabe que el producto a triturar es sal, por lo cual en esta parte se les dará enfoque a las condiciones críticas: dureza a la ruptura de la sal y dimensiones que podría tener un grano de sal. Con en base en lo investigado se obtiene lo siguiente:”<sup>29</sup>

- Dureza =  $D_{sal} = 2$  [ kg<sub>f</sub> ]
- Área =  $A_{sal} = 0,7$  [ mm ] \*  $3,2$  [ mm ] =  $2,24$  [ mm<sup>2</sup> ]

<sup>29</sup> *Enfoque en química.* <http://www.pdv.com/lexico/museo/minerales/sal.htm>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Por lo cual se sabe que: 
$$\sigma = \frac{f}{A} \quad (\text{ecu. 2.6})$$

Donde:

- $\sigma_{\text{sal}}$  = esfuerzo de compresión por las cargas distribuidas del rodillo generado por el grano de sal.
- $f$  = fuerza de la compresión = dureza =  $D = 2$  [ kgf ]
- $A$  = área =  $2,24$  [ mm<sup>2</sup> ].

$$\text{Entonces: } \sigma = \frac{2 \text{ [ kgf ]}}{2,24 \text{ [ mm}^2\text{ ]}} = 0,8928 \text{ [ } \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \text{ ]}$$

Con este valor se realizará el cálculo del esfuerzo de deformación unitario con el fin de obtener el valor de la carga que afectará a la deformación del rodillo; se tiene entonces que:

$$q_c = \sigma * l \quad (\text{ecu. 2.7})$$

Donde:

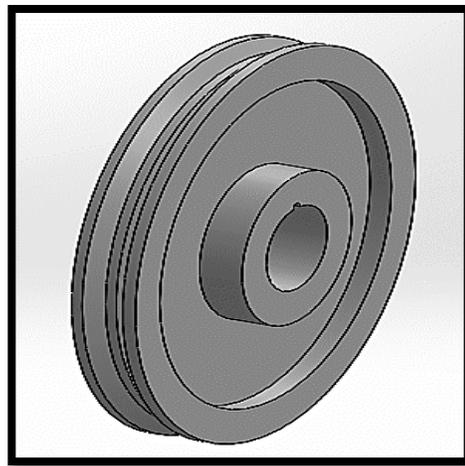
- $q_c$  = carga unitaria [  $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}}$  ]
- $\sigma$  = resistencia a la ruptura [  $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  ]
- $l$  = largo del arco en contacto con el rodillo [ mm ]
- $q_c = 0,8928 \text{ [ } \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \text{ ]} * 46,165 \text{ [ mm ]}$

- $$q_c = 41,2161 \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} \right] = \frac{9,8066 \text{ [N]}}{1 \text{ [kgf]}} * \frac{10 \text{ [mm]}}{1 \text{ [cm]}} * \frac{100 \text{ [cm]}}{1 \text{ [m]}} = 404,1898 * 10^3 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

### 2.1.9.5. Proceso de cálculo para el diámetro de las poleas

“Para este dimensionamiento es necesario obtener una relación de transmisión, que es la razón del número en revoluciones de las poleas y la obtenemos de la ecuación siguiente.”<sup>30</sup>

Figura 19. Polea



Fuente: Poleas. <https://es.slideshare.net/julioserranoserrano/poleas-10578877>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

<sup>30</sup> Poleas. <https://es.slideshare.net/julioserranoserrano/poleas-10578877>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Se tiene la ecuación siguiente:

$$i = n_2/n_1 \quad (\text{ecu. 2.8})$$

Donde:

- $i$  = relación de transmisión.
- $n_2$  = número de revoluciones de la polea primaria [ 215.05 rpm ] valor ya obtenido anteriormente.
- $n_1$  = número de revoluciones de la polea secundaria [ 212,24 rpm ] relación a trabajar. Este dato se obtiene mediante la adquisición de un motor eléctrico que a su vez estará unido a un motorreductor. Dicho motor estará girando a 3 500 [ rpm ] de ratio 16,49 = 1 que es la relación a la salida y será de 212,24 [ rpm ] ya mencionado.

$$\frac{3500 \text{ [ rpm ]}}{16,49} = 212,24 \text{ [ rpm ]}$$

Entonces:

$$i = \frac{215,05 \text{ [ rpm ]}}{212,24 \text{ [ rpm ]}} = 1,01$$

Se deberán, entonces, diseñar 2 poleas que posean esta relación 1,01:1. Así mismo, se debe encontrar el diámetro de la polea conducida por lo cual se tiene el diámetro del eje que es de 80 [mm] y que sean iguales para no perder la relación de revoluciones, el cual se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$i = D_o/D_m \quad (\text{ecu. 2.9})$$

Donde:

- $i$  = relación de transmisión
- $D_c$  = diámetro primitivo de la polea secundaria [ mm ]
- $D_m$  = diámetro primitivo de la polea motriz 80 [ mm ]
- $D_c = i * D_m = 1,01 * 80$  [ mm ] = 80,08 [ mm ]

Las especificaciones de las dimensiones de las poleas se colocan en el anexo 1.

#### 2.1.9.5.1. Material de las poleas

Las poleas en V o trapezoidales por lo general se fabrican en fundición gris, fundición de acero, aluminio o acero laminado; por lo cual, por procesos de costos siguientes selecciona aluminio con las siguientes propiedades físicas del mismo:<sup>31</sup>

Tabla V. Propiedades físicas del aluminio

Propiedades físicas del aluminio	Dato
Estado ordinario	sólido
Densidad	2698,4 kg/m <sup>3</sup>
Punto de fusión	933,47 K (660 °C)
Punto de ebullición	2792 K (2519 °C)
Entalpía de evaporación	293,4 kJ/mol
Entalpía de fusión	10,79 kJ/mol
Presión de vapor	2,42 × 10 <sup>-6</sup> Pa a 577 K
Volumen molar	10,00×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /mol

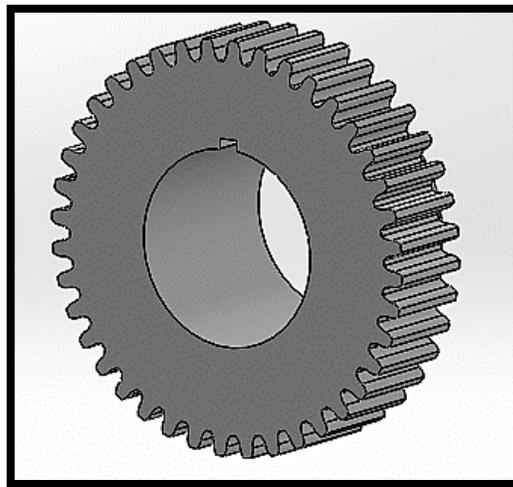
Fuente: *Tetraedro de aluminio*. <http://cienciasdelosmaterialesalexandrap.blogspot.com/2012/12/tetraedro-del-aluminio-aplicaciones-el.html>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

<sup>31</sup> *Poleas en "V"*. <http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manua-poleas-en-v-intermec.pdf>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

### 2.1.9.6. Engranajes

“Elemento o mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro de una máquina. Están formados por dos ruedas dentadas para transmitir movimiento circular para evitar los deslizamientos.”<sup>32</sup>

Figura 20. Engranaje



Fuente: *Poleas*. <https://es.slideshare.net/julioserranoserrano/poleas-10578877>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

#### 2.1.9.6.1. Proceso de cálculo para el diámetro en los engranes

Este se encuentra con el dato obtenido de la distancia entre centros de los rodillos, con esto se encontrará el diámetro primitivo de la rueda dentada que es

---

<sup>32</sup> *Engranajes*. <https://www.fisicalab.com/apartado/engranajes#contenidos>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

de 102 [ mm ] como anteriormente se había mencionado. Reemplazando los datos en la ecuación siguiente obtenemos.<sup>33</sup>

$$c = \frac{(D_p + d_p)}{2} \quad (\text{ecu. 2.10})$$

Donde:

- $c$  = distancia entre centros [ mm ]
- $D_p$  = diámetro primitivo de la rueda dentada 1 [ mm ]
- $d_p$  = diámetro primitivo de la rueda dentada 2 [ mm ]

Entonces:

- $102 = 100$  mm distancia entre centros + 2 mm que es la separación de los rodillos para el paso de la sal.
- $102 = \frac{(D_p + d_p)}{2}$
- $204 = (D_p + d_p)$ ; donde  $D_p = d_p$
- $2 D_p = 200$
- $D_p = d_p = 102$  mm

#### **2.1.9.6.2. Número de dientes en los engranes**

$$D_p = Z * M = D_p = Z * 2,5 \quad (\text{ecu. 2.11})$$

---

<sup>33</sup> MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. p. 115.

Donde:

- $D_p$  = diámetro primitivo de la rueda dentada [ mm ]
- $Z$  = número de dientes
- $M$  = módulo (fresado núm. 6 con módulo de 2,5)

Entonces:

- $102 = Z * 2,5$
- $Z = 40,8 = 41$  [ dientes ]

### **2.1.9.6.3. Diámetro externo en el engrane**

$$D_e = (Z + 2) * M \quad \text{(ecu. 2.12)}$$

Donde:

- $D_e$  = diámetro externo de la rueda dentada [ mm ]
- $Z$  = número de dientes
- $M$  = módulo

Entonces:

- $D_e = ( 40,8 [ \text{mm} ] + 2 ) * 2,5$
- $D_e = 107$  mm

#### 2.1.9.6.4. Proceso de cálculo del paso en el engrane

$$P_c = \pi * M \quad (\text{ecu. 2.13})$$

Donde:

- $P_c$  = paso de la rueda dentada [ mm ]
- $M$  = módulo

Entonces:

- $P_c = \pi * 2,5$
- $P_c = 7,8539$  mm

#### 2.1.9.6.5. Cálculo de altura del diente en el engrane

$$H = 2,25 * M \quad (\text{ecu. 2.14})$$

Donde:

- $H$  = altura del diente [ mm ]
- $M$  = módulo

Entonces:

- $H = 2,25 * 2,5$
- $H = 5,625$  mm

#### **2.1.9.6.6. Determinación del diámetro interno en el engrane**

$$D_i = D_e - 2 * H \quad (\text{ecu. 2.15})$$

Donde:

- $D_i$  = diámetro interno [ mm ]
- $D_e$  = diámetro externo [ mm ]
- $H$  = altura del diente [ mm ]

Entonces:

- $D_i = 107 - 2 * ( 5,625 )$
- $D_i = 95,75$  mm

#### **2.1.9.6.7. Determinación del espesor en el diente**

$$e = s = P_c / 2 \quad (\text{ecu. 2.16})$$

Donde:

- $e$  = espesor del diente [ mm ]
- $s$  = espacio entre dientes
- $p_c$  = paso del engrane [ mm ]

Entonces:

- $e = s = \frac{7,8539 \text{ [ mm ]}}{2}$
- $e = s = 3,9269 \text{ mm}$

#### **2.1.9.6.8. Determinación de la longitud en el diente**

$$B = 10 * M \quad (\text{ecu. 2.17})$$

Donde:

- $B = \text{longitud del diente [ mm ]}$
- $M = \text{módulo}$

Entonces:

- $B = 10 * 2,5$
- $B = 25 \text{ [ mm ]}$

#### **2.1.9.6.9. Material de los engranes**

Este material se obtiene mediante una selección que se amplía en el anexo 2 que describe los tipos de aceros usados para la fabricación de engranajes y de acuerdo a sus propiedades mecánicas el utilizado será el acero AISI 4340 con un excelente rendimiento mecánico.<sup>34</sup>

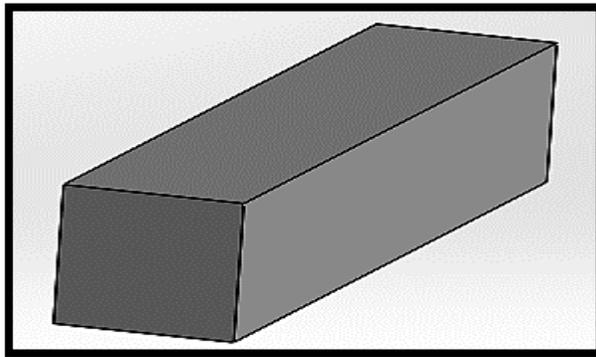
---

<sup>34</sup> MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. p. 189.

### **2.1.9.7. Determinación en la selección de las chavetas**

Se denomina chaveta a un elemento mecánico o pieza de sección rectangular o cuadrada que se inserta entre dos elementos que deben ser solidarios entre sí, normalmente fabricada de acero sin tratamientos, para transmitir potencia y evitar que se produzcan deslizamientos de una pieza sobre la otra.<sup>35</sup>

Figura 21. **Esquema de una chaveta**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.9.7.1. Selección en las dimensiones de las chavetas y sus chaveteros**

Esta información está en el anexo 3 que ayuda para la selección con base en las partes de la máquina para su acople: las poleas, y los engranajes.

---

<sup>35</sup> *Diseño y análisis de un elemento de suspensión por Finite Element Method (FEM).* <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/chaveta-definicion-significado/>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

- Poleas
  - Para diámetros del eje motriz de diámetros entre 30,1 a 38,1 mm la chaveta del eje motriz y polea es: R 10x8 norma DIN 6886, con profundidad del cubo de:  $d+2,4-0,1$ .
  - Para diámetros del eje conducido de diámetros entre 22 a 29,9 mm la chaveta del eje conducido y polea conducida es: R 8x7 DIN 6886, con profundidad del cubo de:  $d+2,4-0,1$ .
  
- Engranajes
  - Para diámetros del eje motriz de diámetros entre 22 a 29,9 mm la chaveta del eje motriz y rueda dentada es: R 8x7 DIN 6886, con profundidad del chavetero y profundidad del cubo de:  $d+2,4-0,1$ .
  - Para diámetros del eje conducido de diámetros entre 22 a 29,9 mm la chaveta del eje conducido y piñón es: R 8x7x38 DIN 6886, con profundidad del chavetero y profundidad del cubo de:  $d+2,4-0,1$ .

#### **2.1.9.7.2. Determinación del material de las chavetas**

“El material para la fabricación las chavetas de acero inoxidable o acero al carbono según la característica de la parte a trabajar; en este caso se basará en la norma DIN 6880 que se amplía en el anexo 3.”<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> *El repositorio ESPE.* <http://www.tosuga.com/pdf/pespeciales/Chavetas.pdf>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

### **2.1.9.8. Determinación del cálculo de la potencia necesaria en los elementos mecánicos**

Para dichos cálculos se tomará en cuenta no solo los rodillos, engranajes y poleas, ya que están en contacto.

#### **2.1.9.8.1. Determinación de la potencia necesaria en el rodillo principal**

- Para determinar la potencia se debe tomar en cuenta lo siguiente:
  - Inercia
  - Aceleración angular
  - Torque

#### **2.1.9.8.2. Determinación del momento de inercia en el rodillo principal**

Se determina con la ecuación siguiente:

$$I_{\text{rodillo}} = \frac{(\pi * D_r^4 * \rho * l)}{32} \quad (\text{ecu. 2.18})$$

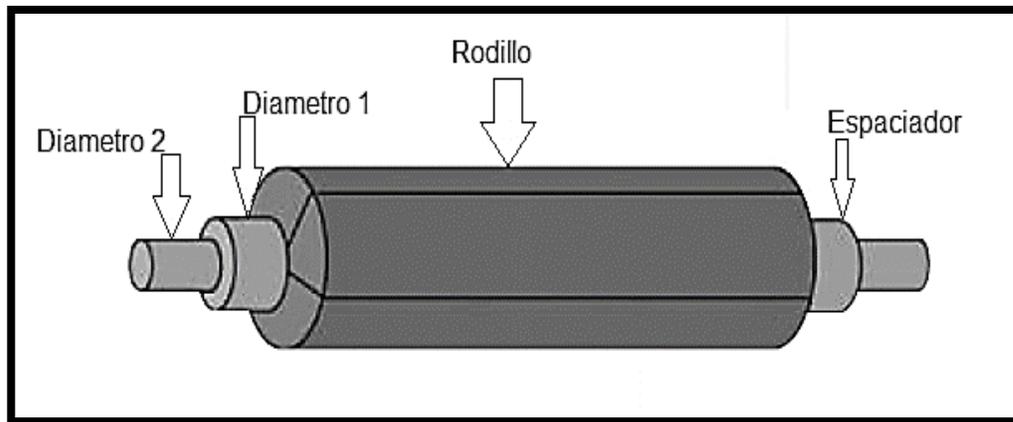
Donde:

- $I_{\text{rodillo}}$  = inercia de la masa total [ kg\*m<sup>2</sup> ]
- $D_r$  = diámetro del rodillo [ mm ] = 100 [ mm ]

- $\rho_{\text{aceroinox}}$  = densidad del acero inoxidable
- AISI 304 es  $7930 \text{ [ kg/m}^3 \text{ ]} = 7,93 \text{ [ gr/cm}^3 \text{ ]}$
- $l$  = longitud del rodillo [ m ] =  $500 \text{ [ mm ]}$

Se toma en cuenta el cilindro total en sí, incluyendo las otras partes del cilindro donde se conectarán las poleas y los engranes, así como su respectiva chaveta. En la siguiente figura, se mostrarán las partes adicionales al rodillo sujeto a la trituración de la sal.

Figura 22. **Esquema de rodillo principal**



Fuente: *Medición de la fuerza de compresión en el plano del liner y del fluting.*

[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=386:iqie-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=386:iqie-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid). Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Entonces:

- $$I_{\text{rodillo}} = \frac{(\pi * (0,100 \text{ [m]})^4 * 7930 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 0,500 \text{ [m]})}{32}$$
- $$I_{\text{rodillo}} = 38,9262 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$$

- $I_{\text{espaciador}} = \frac{(\pi * (0,0750 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,025 \text{ [m]}}{32}$
- $I_{\text{espaciador}} = 0,6158 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$
- $I_{\text{diámetro1}} = \frac{(\pi * (0,0750 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,025 \text{ [m]}}{32}$
- $I_{\text{diámetro1}} = 0,6158 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$
- $I_{\text{diámetro2}} = \frac{(\pi * (0,050 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,050 \text{ [m]}}{32}$
- $I_{\text{diámetro2}} = 0,2432 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$  ; este valor se multiplica por 2
- $= 2 (0,2432 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}) = 0,4864 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$
- $I_{\text{rodillo total}} = I_{\text{rodillo}} + I_{\text{espaciador}} + I_{\text{diámetro1}} + I_{\text{diámetro2}} \quad (\text{ecu. 2.19})$
- $I_{\text{rodillo total}} = 40,6442 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$

### 2.1.9.8.3. Determinación de la velocidad angular en el rodillo principal

Se Utiliza la siguiente ecuación:

$$w = w_0 + \alpha * t \quad (\text{ecu. 2.20})$$

Donde:

- $w$  = velocidad angular final [rad/s]
- $w_0$  = velocidad angular inicial [rad/s]
- $\alpha$  = aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]
- $t$  = segundos [s]

El tiempo para que la máquina pueda estabilizarse en sus funcionamientos será aproximadamente de 0,2 segundos.

Además, como el funcionamiento de la máquina partirá en reposo se deduce que la velocidad angular inicial será igual a cero.

Entonces:

- $\alpha = \frac{w}{t}$

En la sección 2.1.9.3.8., se encuentra la velocidad final en la cual la máquina trabajará 200 rpm, la cual se debe convertir a  $[\frac{\text{rad}}{\text{seg}}]$  por procesos de cálculos.

$$w = 215,05 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2 \pi}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 22,5199 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]$$

Entonces:

- $\alpha = \frac{22,5199 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]}{0,2 \text{ [seg]}}$
- $\alpha = 112,59 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \right]$

#### **2.1.9.8.4. Determinación del torque necesario en el rodillo principal**

Se tiene la siguiente ecuación:

$$T = I * \alpha \quad (\text{ecu. 2.21})$$

Donde:

- $T = \text{torque [ N*m ]}$
- $I = \text{inercia [ kg*m}^2 \text{ ]}$
- $\alpha = \text{aceleración angular [ } \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \text{ ]}$

Se sustituyen los valores obtenidos:

- $T = 40,6442 \times 10^{-3} \text{ [ Kg * m}^2 \text{ ]} * 112,59 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \right]$ ; donde  $1 \text{ N} = \text{kg*m/s}^2$
- $T = 4,5761 \text{ [ N * m ]}$

#### **2.1.9.8.5. Determinación de la potencia necesaria del rodillo principal**

Con algunos valores, se procede a sustituirlo en la siguiente ecuación los datos:

$$P = T * w \quad (\text{ecu. 2.22})$$

Donde:

- $P =$  potencia principal del rodillo [ watts ]
- $T =$  torque [ N\*m ]
- $w =$  velocidad angular final [  $\frac{\text{rad}}{\text{seg}}$  ]

Entonces:

- $P = 4,5761 \text{ [ N * m ]} * 22,5199 \text{ [ } \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \text{ ]}$  ; donde 1 watts = [  $\frac{\text{N*m}}{\text{s}}$  ]
- $P = 103,0540 \text{ [ watts ]}$

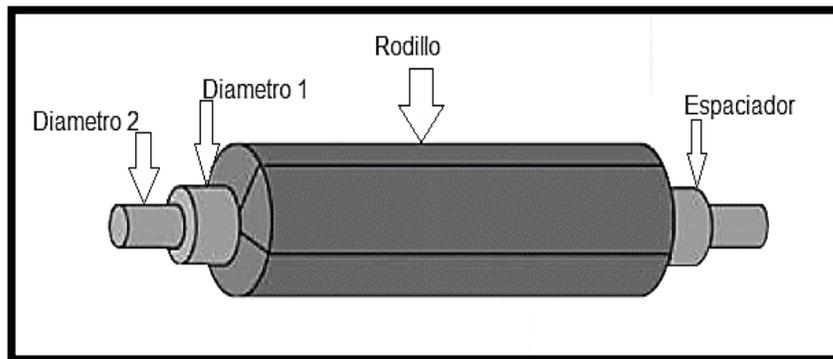
#### **2.1.9.8.6. Determinación de la potencia necesaria del rodillo secundario**

Como se sabe el rodillo primario transmite el movimiento al siguiente rodillo por medio de engranes, por lo cual se debe calcular la potencia requerida que se necesita para el movimiento.

#### **2.1.9.8.7. Determinación del cálculo en el momento de inercia para el rodillo secundario**

Se colocará como referencia la figura 23 con el nombre de las partes para los cálculos correspondientes para el rodillo secundario.

Figura 23. Esquema de rodillo secundario



Fuente: *Medición de la fuerza de compresión en el plano del liner y del fluting.*  
[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=386:iq-que-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid.Consulta:12 de septiembre de 2016.](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=386:iq-que-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid.Consulta:12%20de%20septiembre%20de%202016)

Entonces:

- $$I_{\text{rodillo secundario}} = \frac{(\pi * (0,100 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,500 \text{ [m]}}{32}$$
- $$I_{\text{rodillo secundario}} = 38,9262 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$$
- $$I_{\text{espaciador 2}} = \frac{(\pi * (0,0750 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,025 \text{ [m]}}{32}$$
- $$I_{\text{espaciador 2}} = 0,6158 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$$
- $$I_{\text{diámetro1}} = \frac{(\pi * (0,0750 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,0250 \text{ [m]}}{32}$$
- $$I_{\text{diámetro1}} = 0,6158 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$$
- $$I_{\text{diámetro2}} = \frac{(\pi * (0,0500 \text{ [m]})^4 * 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0,050 \text{ [m]}}{32}$$
- $$I_{\text{diámetro2}} = 0,2342 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$$
- $$I_{\text{rodillo total 2}} = I_{\text{rodillo}} + I_{\text{espaciador2}} + I_{\text{diámetro1}} + I_{\text{diámetro2}}$$
- $$I_{\text{rodillo total 2}} = 34,401 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]}$$

#### 2.1.9.8.8. Determinación del torque necesario en el rodillo secundario

$$T = I * \alpha \quad (\text{ecu. 2.23})$$

Entonces:

- $T = 34,401 \times 10^{-3} \text{ [ kg*m}^2 \text{ ]} * 112,59 \text{ [ } \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \text{ ]}$ ; donde  $1 \text{ N} = \text{kg*m/s}^2$
- $T = 3,8732 \text{ [ N * m ]}$

#### 2.1.9.8.9. Determinación de la potencia necesaria del rodillo secundario

$$P = T * w \quad (\text{ecu. 2.24})$$

- $P = 3,8732 \text{ [ N * m ]} * 22,5199 \text{ [ } \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \text{ ]}$ ; donde  $1 \text{ watts} = \text{[ } \frac{\text{N*m}}{\text{s}} \text{ ]}$
- $P = 87,2242 \text{ [ watts ]}$

#### 2.1.9.9. Determinación de la potencia necesaria para las poleas

Se sabe que la trituradora será accionada por medio de un motor eléctrico por medio de poleas, por lo cual es será necesario calcular la potencia que generan para dicho movimiento, por lo cual se tiene:

### 2.1.9.9.1. Determinación del volumen en la polea motriz

Se Utiliza la ecuación siguiente:

$$V_{\text{polea}} = \frac{\pi}{4} * ( D_{\text{exterior}}^2 - D_{\text{interior}}^2 ) * l_{\text{polea}} \quad (\text{ecu. 2.25})$$

Donde:

- $V_{\text{polea}}$  = volumen de la polea [ m<sup>3</sup> ]
- $D_{\text{exterior}}$  = diámetro exterior de la polea [ mm ]
- $D_{\text{interior}}$  = diámetro interior de la polea [ mm ]
- $l_{\text{polea}}$  = longitud de la polea [ mm ]

Entonces:

- $V_{\text{polea}} = \frac{\pi}{4} * ( 80^2 - 50^2 ) * 30$
- $V_{\text{polea}} = 91\,891,5851$  [ mm<sup>3</sup> ]
- $V_{\text{polea}} = 9,1891 * 10^{-5}$  [ m<sup>3</sup> ]

### 2.1.9.9.2. Determinación de la masa en la polea motriz

Se Utiliza la ecuación siguiente:

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

Donde:

- $P_{\text{alum}}$  = densidad del material (aluminio)  $2698,4 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
- $m$  = masa [ kg ]
- $v$  = volumen =  $v_{\text{polea}} = 9,1891 * 10^{-5} \left[ \text{m}^3 \right]$

Entonces:

- $m = \rho * v$
- $m = 2698,4 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 9,1891 * 10^{-5} \left[ \text{m}^3 \right]$
- $m = 0,2479 \left[ \text{kg} \right]$

### 2.1.9.9.3. Determinación de la inercia en la polea motriz

$$I_{\text{polea}} = \frac{m}{8} * ( D_{\text{exterior}}^2 + D_{\text{interno}}^2 ) \quad (\text{ecu. 2.26})$$

Donde:

- $I_{\text{polea}}$  = inercia de la polea [ kg \* m<sup>2</sup> ]
- $m_{\text{polea}}$  = masa de la polea [ kg ]
- $D_{\text{exterior}}$  = diámetro exterior de la polea [ mm ]
- $D_{\text{interno}}$  = diámetro interno de la polea [ mm ]

Entonces:

- $I_{\text{polea}} = \frac{0,2479 \text{ [ kg ]}}{8} * ( (0,08 \text{ [ m ]})^2 + (0,05 \text{ [ m ]})^2 )$
- $I_{\text{polea}} = 2,7578 * 10^{-4} \text{ [ kg * m}^2 \text{ ]}$

#### 2.1.9.9.4. Determinación del volumen en la polea conducida

- $V_{\text{polea conducida}} = \frac{\pi}{4} * ( D_{\text{exterior}}^2 - D_{\text{interior}}^2 ) * l$
- $V_{\text{polea conducida}} = \frac{\pi}{4} * ( 80,08^2 - 50^2 ) * 30,08$
- $V_{\text{polea conducida}} = 92\,439,1776 \text{ [ mm}^3 \text{ ]}$
- $V_{\text{polea conducida}} = 9,2439 * 10^{-5} \text{ [ m}^3 \text{ ]}$

#### 2.1.9.9.5. Determinación de la masa en la polea conducida

- $m = \rho * v$
- $m = 2698,4 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 9,2439 * 10^{-5} \text{ [ m}^3 \text{ ]}$
- $m = 0,2494 \text{ kg}$

#### 2.1.9.9.6. Determinación de la inercia en la polea conducida

- $I_{\text{polea conducida}} = \frac{m}{8} * ( D_{\text{exterior}}^2 + D_{\text{interno}}^2 )$

- $I_{\text{polea conducida}} = \frac{0,2494 \text{ [ kg ]}}{8} * ((0,08008 \text{ [ m ]})^2 + (0,05 \text{ [ m ]})^2)$
- $I_{\text{polea conducida}} = 2,7785 * 10^{-4} \text{ [ kg * m}^2\text{ ]}$

Se Realiza una sumatoria de inercias de las poleas para encontrar su cantidad total:

- $I_{\text{polea total}} = I_{\text{polea motriz}} + I_{\text{Polea conducida}}$
- $I_{\text{polea total}} = 2,7578 * 10^{-4} \text{ [ kg * m}^2\text{ ]} + 2,7785 * 10^{-4} \text{ [ kg * m}^2\text{ ]}$
- $I_{\text{polea total}} = 5,5363 * 10^{-3} \text{ [ kg * m}^2\text{ ]}$

Finalmente, se podrá calcular el torque de sistema el cual es:

$$T_{\text{polea}} = I_{\text{polea total}} * \alpha$$

Donde:

- $T_{\text{polea}}$  = torque de polea
- $I_{\text{polea total}}$  = inercia de la polea total
- $\alpha$  = aceleración angular

Entonces:

- $T = (5,5363 * 10^{-4} \text{ [ kg * m}^2\text{ ]}) * 112,59 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \right]$ ; donde  $1 \text{ N} = \text{kg} * \text{m} / \text{s}^2$
- $T = 0,06233 \text{ [ N * m ]}$

Con este dato se puede calcular la potencia que se requiera para las poleas:

- $P_{\text{polea}} = T_{\text{polea}} * w$
- $P_{\text{polea}} = 0,06233 [ \text{N} * \text{m} ] * 22,5199 [ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} ] ; \text{ donde } 1 \text{ watts} = [ \frac{\text{N} * \text{m}}{\text{s}} ]$
- $P_{\text{polea}} = 1,4037 [ \text{watts} ]$

### 2.1.9.10. Determinación de la potencia requerida en los engranes

Se calculan los datos para los engranes:

#### 2.1.9.10.1. Determinación del volumen en el engrane

- $V_{\text{engrane}} = \frac{\pi}{4} * ( D_{\text{exterior}}^2 - D_{\text{interior}}^2 ) * l$
- $V_{\text{engrane parte 1}} = \frac{\pi}{4} * ( (107)^2 - (50)^2 ) * 57$
- $V_{\text{engrane parte 1}} = 400\,626,1054 [ \text{mm}^3 ]$
- $V_{\text{engrane parte 2}} = \frac{\pi}{4} * ( (95,75)^2 - (50)^2 ) * 45,75$
- $V_{\text{engrane parte 2}} = 239\,596,5949 [ \text{mm}^3 ]$
- $V_{\text{engranes}} = V_{\text{engrane parte 1}} + V_{\text{engrane parte 2}} =$
- $V_{\text{engranes}} = 640\,222,7003 [ \text{mm}^3 ]$
- $V_{\text{engranes}} = 6,4022 * 10^{-4} \text{ m}^3$

#### 2.1.9.10.2. Determinación de la masa en el engrane

- $m = \rho * v$

- $m = 7930 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 6,4022 * 10^{-4} [\text{m}^3]$
- $m = 5,0579 \text{ kg}$

### 2.1.9.10.3. Determinación de la inercia en el engrane

- $I_{\text{engrane}} = \frac{m}{8} * (D_{\text{exterior}}^2 + D_{\text{interno}}^2)$
- $I_{\text{engrane}} = \frac{5,0579 [\text{kg}]}{8} * ((107 [\text{mm}])^2 + (50 [\text{mm}])^2)$
- $I_{\text{engrane}} = 8819,0808 [\text{kg} * \text{mm}^2]$
- $I_{\text{engrane}} = 8,8190 * 10^{-3} [\text{kg} * \text{m}^2]$

Se tomará en cuenta que la máquina posee 2 engranes por lo cual el resultado obtenido se multiplica por 2 ya que son 2 rodillos.

- $I_{\text{engrane total}} = 8,8190 * 10^{-3} [\text{kg} * \text{m}^2]$
- $I_{\text{engrane total}} = 2 * (8,8190 * 10^{-3} [\text{kg} * \text{m}^2])$
- $I_{\text{engrane total}} = 17,638 * 10^{-3} [\text{kg} * \text{m}^2]$

### 2.1.9.10.4. Determinación del torque en el engrane

- $T = I * \alpha$

Donde:

- $T = \text{torque}$

- $I$  = inercia
- $\alpha$  = aceleración angular

Entonces:

- $T = 17,638 * 10^{-3} [ \text{kg} * \text{m}^2 ] * 112,59 [ \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} ]$ ; donde  $1 \text{ N} = \text{kg} * \text{m} / \text{s}^2$
- $T = 1,9858 [ \text{N} * \text{m} ]$

#### 2.1.9.10.5. Determinación de la potencia en el engrane

- $P = T * \omega$
- $P = 1,9858 [ \text{N} * \text{m} ] * 21,5199 [ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} ]$ ; donde  $1 \text{ watts} = [ \frac{\text{N} * \text{m}}{\text{s}} ]$
- $P = 42,7342 \text{ watts}$

#### 2.1.9.11. Determinación de la potencia necesaria para triturar los granos de sal

Este cálculo se basará en la ecuación siguiente:

$$T = \mu * q_c * I * r \quad (\text{ecu. 2.27})$$

Donde:

- $T$  = torque [  $\text{N} * \text{m}$  ]
- $\mu_{\text{roz}}$  = coeficiente de rozamiento
- $q_c$  = carga unitaria

- $l$  = longitud de contacto
- $r_{\text{rodillo}}$  = radio del rodillo

Entonces:

- $T = 1,3224 * ( 4,3776 * 10^6 [ N \cdot m ] ) * 46,165 [ mm ] * 50 [ mm ]$
- $T = 13,3625 * 10^3 [ N * m ]$

Obtenido el valor, se utiliza la ecuación siguiente:

- $P = T * w$ , entonces  $P = 13,3625 [ N * m ] * 21,5199 [ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} ]$
- $P = 287,5596 \text{ watts}$

Con dichos valores se realiza una sumatoria total de los elementos incluyendo los agregados a los cilindros para obtener la potencia total requerida.

- $P_{\text{requerida}} = P_{\text{trituration}} + P_{\text{engrane}} + P_{\text{polea}} + P_{\text{rodillo secundario}} + P_{\text{rodillo primario}}$
- $P_{\text{requerida}} = 287,5596 [watts] + 42,7343 [watts] + 1,4037[watts] + 87,2447 [watts] + 103,0540 [watts]$
- $P_{\text{requerida}} = 521,9963 [ watts ] = 0,5219 [ kwatts ] = 0,6994 \text{ hp}$

### **2.1.9.12. Determinación de los parámetros en el motorreductor**

Para esta selección se deberá tomar en cuenta, un factor de servicio  $f_s$ , el cual es una carga adicional o condición no prevista que afecta incrementando la

demanda de potencia del motor. Entonces de la potencia que requerimos ya calculada agregaremos el  $f_s = 1,5$ .<sup>37</sup>

- $P_{total} = P_{requerida} * f_s$
- $P_{total} = 0,6994 [ hp ] * 1,5$
- $P_{total} = 1,0492 \text{ hp}$

Finalmente, la potencia total del motor se relaciona, por parámetros de diseño y cargas adicionales que puedan aportar un incremento de potencia del motor, se estará seleccionando un motor eléctrico de 1 hp.

### **2.1.9.13. Correa de transmisión**

Una correa de transmisión es un tipo de transmisión mecánica que se basa en la unión de dos o más poleas, en un movimiento de rotación, por medio de la misma, la cual ejerciendo fuerza de fricción por medio de una rueda motriz hace que esta gire.

Se debe destacar que las correas de transmisión se basan fundamentalmente en la fuerza de fricción a comparación: las cadenas de transmisión y las correas dentadas, ya que estas se basan en la interferencia mecánica entre los distintos elementos de transmisión y claro está mencionar que, por referencia a los costos y mantenimiento, es menor la correa de transmisión en comparación a los demás elementos a usar. Por lo general las correas de transmisión se fabrican de goma y se pueden clasificar de 2 tipos: planas y trapezoidales.

---

<sup>37</sup> *Factor de servicio, factor de seguridad y factor de diseño.* [http://www.remiskungfu.mx/images/5147/Factor%20de%20Seguridad\\_Servicio\\_Dise%C3%B1o.pdf](http://www.remiskungfu.mx/images/5147/Factor%20de%20Seguridad_Servicio_Dise%C3%B1o.pdf). Consulta: 12 de septiembre de 2016.

### **2.1.9.13.1. Determinación en la selección de correas de transmisión**

Para dicho diseño se usarán las de tipo trapezoide ya que estas permiten aumentar la fuerza de fricción entre las correas y las poleas.

### **2.1.9.13.2. Determinación en los parámetros de diseño para correas de transmisión**

“La selección se genera debido al bajo costo en repuestos y también de mantenimiento; además, es una de la más comunes utilizadas en el mercado para transmitir potencia de un eje principal a un eje conducido y claro esta mencionar que se estará utilizando de tipo trapezoidal por su eficiencia; también, por la mayor acción a la fuerza de fricción entre la polea y las correas, así mismo su operación es silenciosa y suave.”<sup>38</sup>

También se deberá calcular la potencia del diseño o potencia que diseñará la correa. La potencia que desarrolla el motor conductor (P) es el punto de partida, pero a este valor habrá que afectarlo de un coeficiente corrector en función de diversos factores como son:

- Tipo de motor conductor que se utilice para accionar la transmisión
- Tipo de máquina conducida que se vaya a accionar
- Horas de servicio por día

---

<sup>38</sup> *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

De esta manera la potencia corregida ( $P_c$ ) o total de la potencia transmitida, que es la que habrá que utilizar en el diseño, vendrá dada por la siguiente expresión.

$$P_d = P * K_{\text{servicio}} \quad (\text{ecu. 2.28})$$

Donde:

- $P_d$  = es la potencia corregida del motor [ hp ] o potencia del diseño
- $P$  = es la potencia transmitida del motor conductor
- $K_{\text{servicio}}$  = es el factor de corrección de la potencia

Se seleccionará un factor de servicio para las correas de transmisión de  $f_k = 1,1$  para transportes de arena o granos.

Se definió el factor de servicio como una medida que depende de las horas de trabajo de la máquina. El factor de servicio se puede determinar de tablas en las que el factor de diseño es función de las características de la máquina a la cual se quiere accionar por medio de la transmisión por correa y las horas de servicio de la máquina:  $1,0 \leq K_s \leq 1,8$ .

Con los seleccionados se podrá, más adelante, calcular la potencia en el diseño debido a que es necesario incorporar estos factores de servicio para eliminar de alguna manera la sobrecarga de los motores eléctricos y disminuir el tiempo de vida al cual están estipulados dichos motores con la finalidad de garantizar su óptimo funcionamiento.

El factor de servicio para correas de transmisión se detallará en la siguiente tabla:

Tabla VI. **Factor de servicio K**

Máquinas motrices	Motores eléctricos, térmicos, multicilíndricos			Motores eléctricos, monocilíndricos		
	≤8 h/d	8 a 16 h/d	16 a 24 h/d	≤8 h/d	8 a 16 h/d	16 a 24 h/d
Cargas uniformes ligeras: Agitadores para líquidos, bombas y compresores centrífugos, ventiladores hasta 7,5 kw, pequeños transportadores	1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Cargas uniformes medias: Transportadores de cinta, (arena granos), ventiladores superiores a 7,5 kw, generadores, alternadores, maquinas herramientas, maquinaria artes gráficas, prensas, cizallas, lavadoras, bombas rotativas.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Cargas irregulares con sobrecarga: Máquinas para ladrillos y cerámica, elevadores con cangilones, compresores y bombas de pistones, maquinaria de papel, pulverizadores, máquina textil	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Cargas irregulares y sobrecargas importantes: molinos, machacadoras, calandras mezcladoras, laminadoras, grúas, dragas	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,6
Cargas muy irregulares y con sobrecargas	2	2	2	2	2	2

Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Consulta: 12 de septiembre de 2016.

### 2.1.9.13.3. **Potencia teórica de la correa de transmisión**

Está determinada por la potencia que se requiere, se que es  $P = 1,0494$  [ hp ] obtenida en la sección 2.1.9.12..

### 2.1.9.13.4. **Determinación en la potencia total del diseño**

Es la que usa para la selección de la correa de transmisión trapezoidal, ya se puede usar la ecuación 2.28.

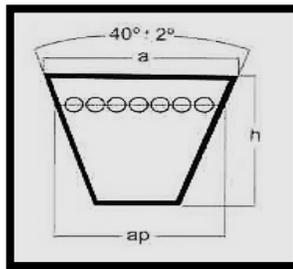
Entonces:

- $P_d = P * K_{servicio}$
- $P_d = 1,0494 [ hp ] * 1,1$
- $P_d = 1,1543 [ hp ]$

### 2.1.9.13.5. Selección de la correa de transmisión

Según las normas ISO 4184 o DIN 7753, Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*), las correas trapecoidales se dividen en dos grandes grupos: las correas de secciones con los perfiles clásicos Z, A, B, C, D y E.

Figura 24. Esquema de una banda trapecoidal



Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Donde:

- $a$  = ancho de la correa
- $h$  = altura o espesor de la correa
- $ap$  = ancho primitivo de la polea

En la siguiente tabla se muestran los valores de los parámetros anteriores según el perfil de la correa.

Tabla VI. **Valores según perfil de correa**

Sección	a (mm)	h (mm)	ap (mm)
Z	10	6	8,5
A	13	8	11
B	17	11	14
C	22	14	19
D	32	19	27
E	38	25	32

Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Cada fabricante dispone de gráficas donde se muestra el tipo de correa adecuada para trabajar en función de su potencia que se le va a transmitir y las revoluciones en el giro de la polea. Como ya se tienen dichos datos, se presenta en la siguiente gráfica los tipos a usar.

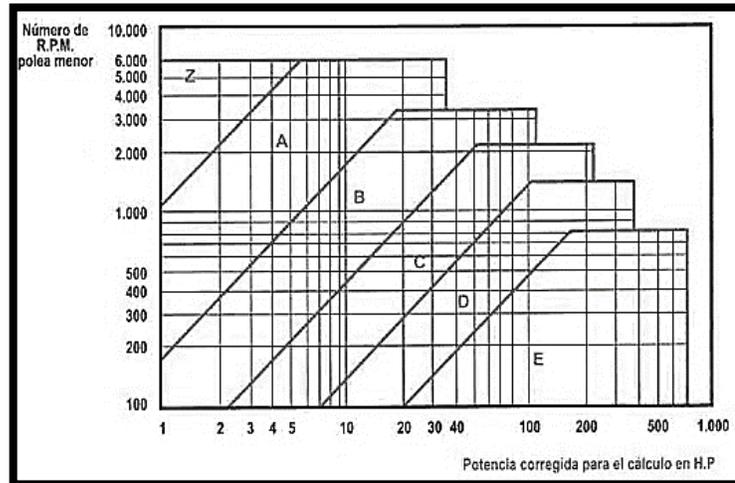
- Potencia de diseño = 1,1543 [ hp ]
- Número de revoluciones = 215,05 [ rpm ]

Entonces:

La selección del perfil de la correa de transmisión será:

**SECCIÓN “ A ”**

Figura 25. Selección de la correa



Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Consulta: 12 de septiembre de 2016.

### 2.1.9.13.6. Determinación en la selección del diámetro para las poleas

Se tiene seleccionado el tipo de correa de transmisión y necesario también un mínimo de polea requerido para dicha elección. Se presenta una tabla para definir el parámetro.

Tabla VII. Diámetro mínimo de poleas

Sección	A	B	C	D	E
Diámetro primitivo mínimo (in)	2,6	4,6	7	12	18
Diámetro primitivo mínimo (mm)	66,04	116,84	177,8	304,8	457,2

Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Diámetro de las poleas:

- Polea conducida:  $D_c = 80,08$  [ mm ]
- Polea motriz:  $D_m = 80$  [ mm ]

Los parámetros están comprendidos en la correa de transmisión “A”.

### 2.1.9.13.7. Parámetros de las distancias comprendidas entre centros

Se utiliza le siguiente ecuación:<sup>39</sup>

$$D_c \leq C \leq 3 * ( D_c + D_m ) \quad (\text{ecu. 2.29})$$

Donde:

- $C$  = distancia entre centros
- $D_m$  = diámetro de la polea motriz [mm]
- $D_c$  = diámetro de la polea conducida [mm]

Entonces:

- $C = 80,08$  [ mm ]  $\leq C \leq 3 * ( 80,08$  [ mm ] +  $80$  [ mm ] )
- $C = 80,08$  mm  $\leq C \leq 480,24$  mm

Por lo tanto, la distancia que se utilizará entre centros será de 350 [mm].

---

<sup>39</sup> MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquina*. p. 198.

### 2.1.9.13.8. Determinación del ángulo de contacto

El ángulo de contacto está integrado por el arco efectivo que transmite la potencia y el arco inactivo el que no produce cambio en la velocidad y fuerza.<sup>40</sup>

$$\theta_S = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} * \frac{(D_c - D_m)}{2C} \quad (\text{ecu. 2.30})$$

$$\theta_L = \pi + 2 * \text{sen}^{-1} * \frac{(D_c - D_m)}{2C} \quad (\text{ecu. 2.31})$$

Donde:

- $\theta_S$  = ángulo de contacto de la polea motriz
- $\theta_L$  = ángulo de contacto de la polea conducida

Entonces:

- $\theta_S = 180^\circ - 2 * \text{sen}^{-1} * \frac{(80,08 [\text{mm}] - 80 [\text{mm}])}{2*(250)}$
- $\theta_S = 179,9816^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} =$
- $\theta_S = 3,1412 [\text{rad}]$
- $\theta_L = 180^\circ + 2 * \text{sen}^{-1} * \frac{(80,08 [\text{mm}] - 80 [\text{mm}])}{2*(250)}$
- $\theta_L = 180,0183^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} =$
- $\theta_L = 3,1419 [\text{rad}]$

<sup>40</sup> SHIGLEY, J.; MITCHELL, L. *Manual de diseño mecánico*. p. 125.

### 2.1.9.13.9. Determinación de longitud en la banda

Se utiliza la ecuación siguiente:<sup>41</sup>

$$L = \sqrt{4C^2 - (D_c - D_m)^2} + \frac{1}{2} * (D_c \cdot \theta_L + D_m \cdot \theta_s) \quad (\text{ecu. 2.32})$$

Entonces:

- $L = \sqrt{4 * (250)^2 - (80,08 - 80)^2} + \frac{1}{2} * (80,08 * 3,1412 + 80 * 3,1419)$
- $L = 751,4496 \text{ mm}$

Determinada la longitud de banda, se basará en el anexo 4 para elegir la banda correcta.

### 2.1.9.14. Determinación del cálculo para el diseño en los rodillos

Para dicho proceso de diseño se deberán conocer las cargas que actúan sobre él, para luego encontrar el momento máximo, es base en el cual se seleccionarán las dimensiones más adecuadas de acuerdo a su funcionalidad.

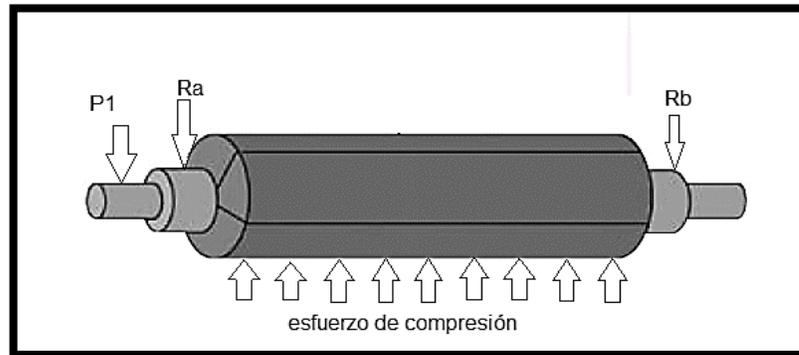
#### 2.1.9.14.1. Esquema del diagrama de cuerpo libre en los rodillos

Se presentarán por medio de una figura las principales fuerzas que actúan en el rodillo.

---

<sup>41</sup> Op. Cit. p. 129.

Figura 26. Fuerzas que actúan en el rodillo



Fuente: *Medir en el proceso de corrugado*. [http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=386:iqme-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid.](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=386:iqme-medir-en-el-proceso-de-corrugado&catid.)

Consulta: 12 de septiembre de 2016.

#### 2.1.9.14.2. Determinación del momento flector y fuerza de corte en los rodillos

Para encontrar las fuerzas resultantes en este caso P1, será necesario partir de la potencia total requerida de trituración de los granos de sal encontrados en la sección 2.1.9.11., y para generar el movimiento al sistema.

$$P = T * w$$

Donde:

- $P_{requerida}$  = potencia requerida para triturar los granos de sal  $\left[ \frac{N * mm}{seg} \right]$
- T = torque [ N\*mm ]

- $w$  = velocidad angular  $\left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]$

Entonces:

- $T = \frac{P}{w}$
- $T = \frac{13,6323 \cdot 10^3 \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right]}{21,5199 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]}$
- $T = 633,4741 \left[ \text{N} \cdot \text{m} \right] = 633\,474,1332 \left[ \text{N} \cdot \text{mm} \right]$

Luego de haber encontrado este valor se procede con el cálculo de la fuerza P1.

$$T = F \cdot r$$

Donde:

- $T$  = torque  $\left[ \text{N} \cdot \text{mm} \right]$
- $F$  = fuerza = P1 =  $\left[ \text{N} \right]$
- $r$  = distancia =  $\left[ \text{mm} \right]$

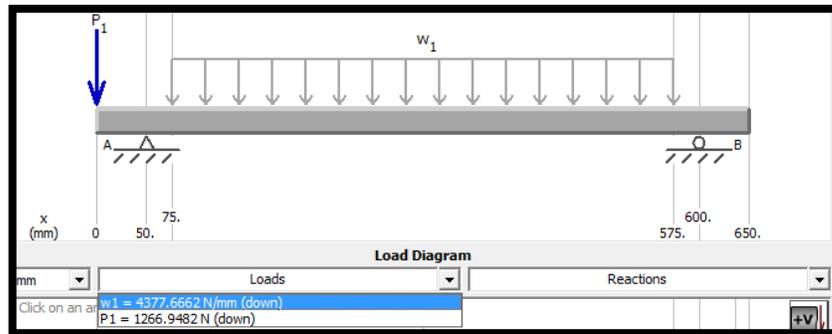
Entonces:

- $P1 = \frac{633\,474,1332 \left[ \text{N} \cdot \text{mm} \right]}{500 \left[ \text{mm} \right]} = P1 = 1266,9482 \left[ \text{N} \right]$

Se tiene el valor de esfuerzo de compresión en el rodillo encontrado en la sección 2.1.9.4.4.5., que es:

$$q_c = 446,40 \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} \right] = 446,40 \text{ kgf} * \left[ \frac{9,80860 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} \right] = 4377,6662 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

Figura 27. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: elaboración propia, empleando Md solids 3.5.

### 2.1.9.14.3. Determinación del diseño estático en los rodillos

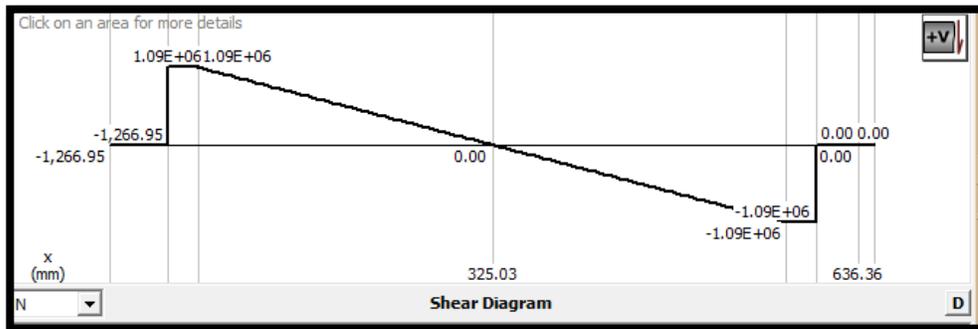
Esta parte se enfocará en la estimación de las dimensiones de los rodillos, ya que este tipo de análisis ayuda a comprender de mejor manera dicho criterio. Estos cálculos se consideran en la superficie del rodillo de diámetro  $d$ , que está sometido a cargas estáticas de compresión y fuerzas.

### 2.1.9.14.4. Determinación del esfuerzo normal máximo en los rodillos

$$\sigma_x = \frac{32 * M_{max}}{\pi * D^3} \quad (\text{ecu. 2.33})$$

$$\sigma_x = \frac{32 * (164,13 \times 10^6 \text{ [ N*mm ]})}{\pi * (100 \text{ [mm]})^3} = 1671,8144 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Figura 28. Diagrama del esfuerzo cortante



Fuente: elaboración propia, empleando Md solids 3.5.

#### 2.1.9.14.5. Determinación del esfuerzo de torsión en los rodillos

$$T_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad (\text{ecu. 2.34})$$

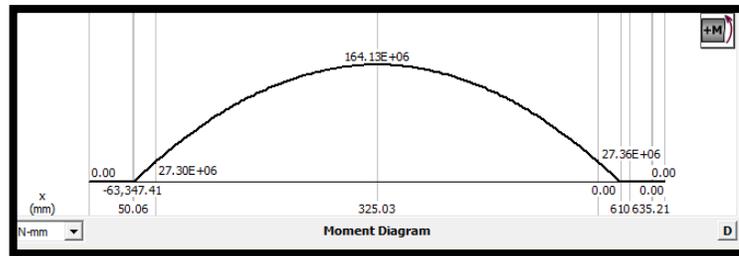
- $$T_{xy} = \frac{16 * (633\,474,1332 \text{ [ N*mm ]})}{\pi * (100 \text{ [mm]})^3} = 3,2262 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

#### 2.1.9.14.6. Teoría de la energía de distorsión

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (T_{xy})^2} \quad (\text{ecu.35.})$$

- $\sigma' = \sqrt{(1671,8444 [\frac{N}{mm^2}])^2 + (3,2262 [\frac{N}{mm^2}])^2}$
- $\sigma' = 1671,84 [\frac{N}{mm^2}]$

Figura 29. Diagrama del momento flector



Fuente: elaboración propia, empleando Md solids 3.5.

#### 2.1.9.14.7. Determinación del factor de seguridad

$$n * \sigma' = S_y \quad (\text{ecu. 2.36})$$

- $n = \frac{S_y}{\sigma'}$
- $n = \frac{310 [\frac{N}{mm^2}]}{1671,84 [\frac{N}{mm^2}]}$
- $n = 0,18$

Se calcula el diámetro asumiendo ya el factor de seguridad:<sup>42</sup>

<sup>42</sup> MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquina*. p. 201.

- $d = \left[ \frac{32 * n}{\pi * S_y} * \sqrt{[ M^2 + \frac{3 T_{xy}^2}{4} ]} \right]^{1/3}$
- $d = \left[ \frac{32 * 0,18}{\pi * 310 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} * \sqrt{[(164,13 * 10^{A6} \left[ \frac{N}{mm^2} \right])^2 + \frac{3 * (3,2262 \left[ \frac{N}{mm^2} \right])^2}{4}]^{1/3}} \right]$
- $d = 89,95 \text{ mm}$

El valor encontrado, 89,95 mm, indica que el diseño o bien las dimensiones del rodillo cumplen con los parámetros de diseño y si el resultado fuera mayor a lo establecido, se deberá proceder con el dimensionamiento correcto para un diseño adecuado de máquina.

### 2.1.9.15. Determinación en el diseño dinámico en los rodillos

Este tipo de cálculos muestra la manera o la forma en que fallan los elementos en condiciones que no son en reposo o estáticas en su caso y se diseñan para que resistan a tales efectos.<sup>43</sup>

Con este cálculo dinámico para ejes macizos de diámetro (d), se trata de optimizar el diseño y asegurarse que no falle.

#### 2.1.9.15.1. Determinación del límite de resistencia en los rodillos

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e' \quad (\text{ecu. 2.37})$$

<sup>43</sup> SHIGLEY, J.; MITCHELL, L. *Manual de diseño mecánico*. p. 215.

Donde:

- $S_e$  = límite de la resistencia a la fatiga del elemento mecánico
- $k_a$  = 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 la resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304

$$S_{ut} = 620 \text{ [MPa]} ; S_y = 310 \text{ [MPa]}$$

**2.1.9.15.2. Determinación del límite de la resistencia a la fatiga de la muestra de la viga rotatoria  $S_e$**

- $S_e' = 0,5 * S_{ut}$   $S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)}$
- $S_e' = 100 \text{ kpsi (700 MPa)}$   $S_{ut} > 200 \text{ kpsi (1400 MPa)}$

Entonces:

- $S_e' = 0,5 * (620 \text{ MPa})$
- $S_e' = 310 \text{ (MPa)}$

### 2.1.9.15.3. Determinación del acabado superficial $k_a$

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (\text{ecu. 2.38})$$

Tabla VIII. Condición superficial de Marín

Acabado superficial	FACTOR a		EXPONENTE b
	[kpsi]	Mpa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frio	2,7	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272	-0,995

Fuente: SHIGLEY, J.; MITCHELL, L. *Manual de diseño mecánico*. p. 224.

Con estos datos se podrán reemplazar en la ecuación 2.38.

- $k_a = a * S_{ut}^b$
- $k_a = 4,51 \text{ [ MPa ] } * (620 \text{ [ MPa ] })^{-0,265}$
- $k_a = 0,821$

### 2.1.9.15.4. Determinación y condiciones del tamaño $k_b$

Se tienen las condiciones siguientes:

$$\left(\frac{d}{0,3}\right)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} \quad 0,11 \leq d \leq 2\text{plg}$$

$$0,91d^{-0,157} \quad 2 > d \leq 10\text{plg}$$

$$\left(\frac{d}{762}\right)^{-0,107} = 1,24d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51\text{mm}$$

$$1,51d^{-0,107}$$

$$51 < d < 254\text{mm}$$

Entonces:

- $K_b = 1,51 * d^{-0,107}$
- $K_b = 1,51 * (100)^{-0,107}$
- $K_b = 0,92$

#### 2.1.9.15.5. Determinación del factor de confiabilidad $k_c$

Tabla IX. Factor de confiabilidad estándar de 8 % del límite de fatiga

Confiabilidad %	Variación de transformación $Z_n$	Factor de confiabilidad $k_c$
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,1645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

Fuente: SHIGLEY, J.; MITCHELL, L. *Manual de diseño mecánico*. p. 228.

En la tabla IX se tomará el factor del 99 % y se obtiene el factor de:

- $K_c = 0,814$

#### 2.1.9.15.6. Condiciones para el efecto de temperatura $k_d$

Posee las condiciones siguientes:

	1	$T \leq 450 \text{ }^{\circ}\text{C} (840 \text{ }^{\circ}\text{F})$
$k_d =$	$1-5,8 * (10)^{-3} * (T-450)$	$450 \text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	$1-3,2 * (10)^{-3} * (T-450)$	$840 \text{ }^{\circ}\text{F} < T \leq 1020 \text{ }^{\circ}\text{F}$

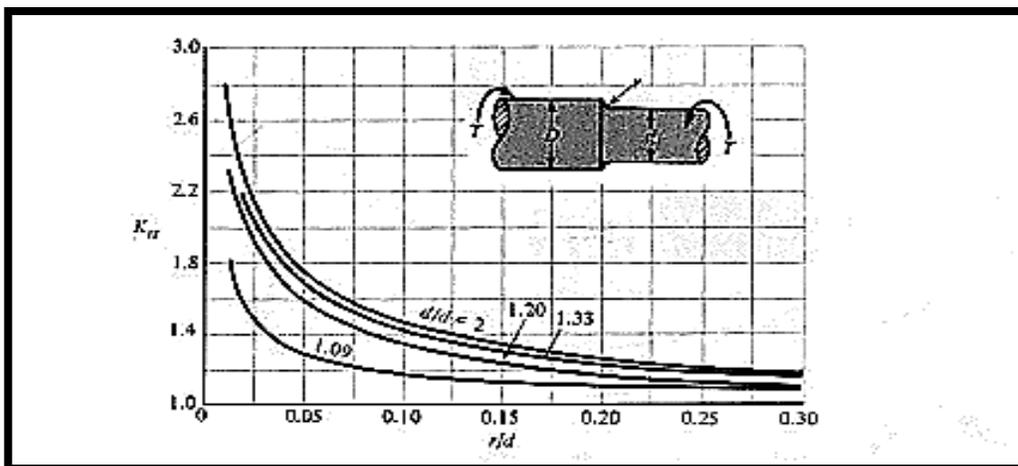
La trituración de la sal será menor a  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$  entonces:

- $K_d = 1$

### 2.1.9.15.7. Determinación en la concentración de esfuerzos en los rodillos

Mediante la figura siguiente se evalúa la concentración de los esfuerzos:

Figura 30. Barra circunferencial sometida a torsión

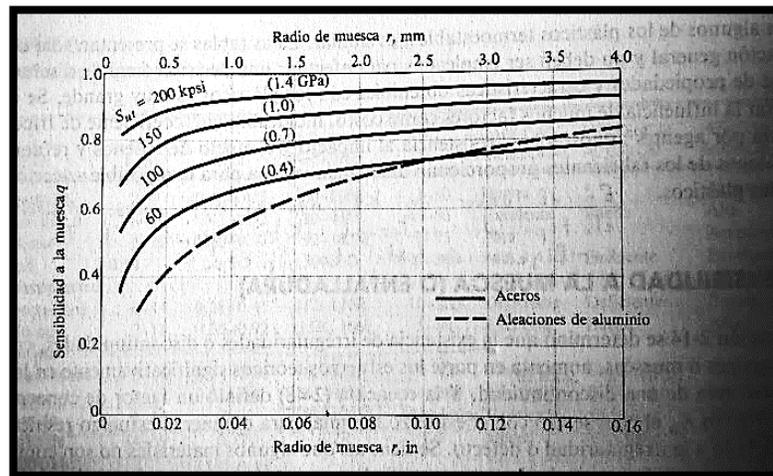


Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Se obtiene para  $K_t = 1,9$ , para luego encontrar el valor de ( $q$ ) que es la sensibilidad de la muesca para valores de  $r = 1,5$  [ mm ] y un  $S_{ut} = 1,4$  GPa.

Figura 31. **Diagrama de sensibilidad de la muesca para aceros y aleaciones de aluminio**



Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

De esta figura se obtiene el valor de  $q = 0,74$ . Luego de encontrar estos valores se procederá a sustituirlos en la ecuación siguiente:<sup>44</sup>

$$K_f = 1 + q * (k_t - 1) \quad (\text{ecu. 2.39})$$

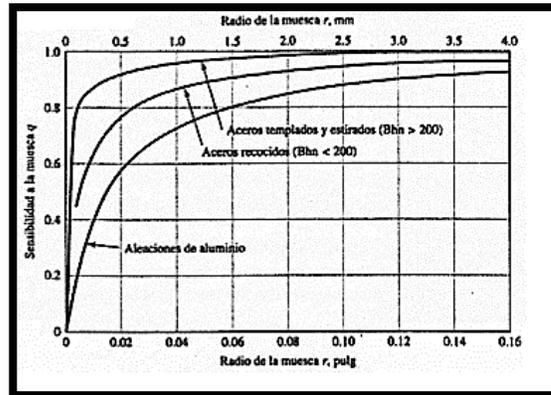
$$K_f = 1 + 0,74 * (1,9 - 1)$$

$$K_f = 1,6660$$

De la siguiente figura se obtiene la sensibilidad de la muesca:

<sup>44</sup> SHIGLEY, J.; MITCHELL, L. *Manual de diseño mecánico*. p. 245.

Figura 32. **Diagrama de sensibilidad de la muesca de materiales sometidos a torsión inversa**

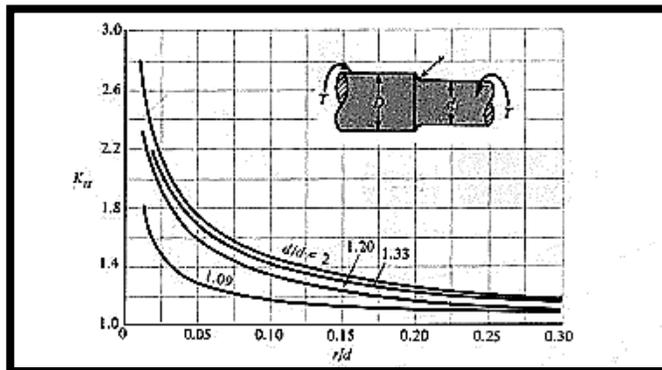


Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Donde  $q = 0,9$

Figura 33. **Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión**



Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Dónde  $K_{ts} = 2$ , entonces ya con los valores se sustituye en la siguiente ecuación:

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante} * (K_{ts} - 1) \quad (\text{ecu. 2.40})$$

$$K_{fs} = 1 + 0,9 * (2-1)$$

$$K_{fs} = 1,9$$

#### 2.1.9.15.8. Determinación del factor de modificación por concentración de esfuerzos

Se tiene la ecuación siguiente:

$$K_e = \frac{1}{K_f} \quad (\text{ecu. 2.41})$$

$$K_e = \frac{1}{1,6650} = K_e = 0,5970$$

Finalmente, se obtuvo por separado los valores para la ecuación 2.37, se procederá a sustituir los valores para obtener el resultado.

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

Donde:

- $S_e' = 310 \text{ [ MPa ]}$
- $k_a = 0,821$

- $K_b = 0,839$
- $K_c = 0,14$
- $K_d = 1$
- $K_e = 0,970$
- $K_f = 1,6660$

Entonces:

- $S_e = (0,821) * (0,92) * (0,814) * (1) * (0,6006) * (1,660) * (310 \text{ [ MPa ]})$
- $S_e = 114,4728 \text{ [ MPa ]}$

#### 2.1.9.15.9. Criterio de la falla a la fatiga de Goodman

Se tiene la ecuación siguiente:<sup>45</sup>

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \quad (\text{ecu. 2.42})$$

#### 2.1.9.15.10. Determinación del esfuerzo de amplitud

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_{xa})^2 + 3 * (T_{xya})^2} \quad (\text{ecu. 2.43})$$

Al ser el  $\sigma_m$  y  $\sigma_a$  menor que  $S_y$  se utiliza:  $K_f$  y  $K_{fs}$ .

$$\sigma_{xa} = K_f * \frac{32 * Ma}{\pi * d^3} \quad (\text{ecu. 2.44})$$

<sup>45</sup> Mecapedia. *Criterio de Goodman*. [http://www.mecapedia.uji.es/criterio\\_de\\_Goodman.htm](http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_Goodman.htm). Consulta: 11 de octubre de 2016.

Donde:

- $K_f = 1,6660$
- $d = 100 \text{ [ mm ]}$
- $M_a = 164,13 \times 10^6 \text{ [ N * mm ]}$

Entonces:

- $\sigma_{xa} = 1,6660 \cdot \frac{32 * (164,13 \times 10^6 \text{ [ N*mm ]})}{\pi * (100 \text{ [ mm ]})^3}$
- $\sigma_{xa} = 2785,24 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

$$T_{xya} = K_{fs} * \frac{16 * T_a}{\pi * d^3} \quad (\text{ecu. 2.45})$$

Condición:

$$T_a = 0 \rightarrow \sigma_{xyz} = 0$$

Entonces:

$$\sigma_a = \sigma_{xa} = 2785,24 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

#### 2.1.9.15.11. Determinación del esfuerzo medio en los rodillos

Se tiene la ecuación siguiente:

$$\sigma_m = \sqrt{(\sigma_{xm})^2 + 3 * (T_{xym})^2} \quad (\text{ecu. 2.46})$$

Se posee por igual:

$$\sigma_{xm} = K_f * \frac{32 * Mm}{\pi * d^3} \quad (\text{ecu. 2.47})$$

Condición:

- $M_m = 0$ ; esto debido a que no existen cargas axiales
- $\sigma_{xm} = 0$

Entonces:

- $\sigma_m = \sqrt{3 * (T_{xym})^2}$

$$T_{xym} = K_{fs} * \frac{16 * Tm}{\pi * d^3} \quad (\text{ecu. 2.48})$$

Donde:

- $T_m = 633\,474,1332 \text{ [ N * mm ]}$
- $K_{fs} = 1,9$
- $d = 100 \text{ [mm]}$

Entonces:

- $T_{xym} = 1,9 * \frac{16 * 633\,474,1332 \text{ [ N*mm ]}}{\pi * (100 \text{ [mm]})^3} =$
- $T_{xym} = 6,1298 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

Se sustituye el valor encontrado:

- $\sigma_m = \sqrt{3 * (T_{xym})^2}$
- $\sigma_m = \sqrt{3 * (6,1298 \left[ \frac{N}{mm^2} \right])^2}$
- $\sigma_m = 18,3899 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

Finalmente se podrán sustituir los valores de la ecuación 2.42.

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

Donde:

- $\sigma_a = 2785,24 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$
- $\sigma_m = 18,3899 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$
- $S_e = 114,4728 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$
- $S_{ut} = 620 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

Entonces:

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

$$\frac{2785,24 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{114,47 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} + \frac{18,3899 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{620 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} = \frac{1}{n}$$

$$n = 0,0410$$

Este factor  $n$  que se ha encontrado sirve para concluir que las dimensiones obtenidas para la propuesta del diseño en los rodillos cumplen o son correctas para garantizar el óptimo funcionamiento en su operación.

#### **2.1.9.16. Factores en la selección de chumaceras**

Una chumacera es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol. Las chumaceras se encuentran en varios sistemas de transporte y son a menudo autolubrificantes.

Hay dos tipos básicos de rodamientos de chumacera de acuerdo a su uso: las chumaceras hidrodinámicas se utilizan a bajas velocidades y, eventualmente, eliminan el contacto de metal a metal ya que la velocidad del dispositivo en el que el rodamiento está montado alcanza su límite; las chumaceras hidrostáticas mientras tanto no tienen ningún contacto de metal a metal, son capaces de soportar cargas pesadas y a velocidades diferentes y tienen un bajo coeficiente de fricción.

Las chumaceras se componen de varios diseños: simple-perforado, de hierro fundido, sólidas, revestidas de metal anti-fricción, sólidas y partidas, cojinetes de brida y tomas, divididas pulidas de bronce, de lámina sólida y cepilladas lubricadas.

Por motivos de diseño y diámetro a tomar es 50 [ mm ] y será una de hierro fundido, ya que hay medidas de eje de 12 a 140 [ mm ] o en pulgadas desde ½" hasta 4" 15/16", tensora.

En el siguiente anexo 5 se presentan los tipos y selección a seguir.

### **2.1.9.17. Diseño de tolva para ingreso de sal**

#### **2.1.9.17.1. Criterios de selección y diseño**

El diseño y dimensionamiento de las tolvas tienen en cuenta la caracterización del régimen de flujo y de la dinámica de descarga del material contenido en ellas. Son determinantes.

Para ello se estará utilizando una tolva en forma piramidal con forma de cuna, adecuadas para polvos finos, para materiales con bajo índice de deslizamiento y fácilmente degradables, para reducir los tiempos de almacenaje que podrían comportar el surgimiento de fenómenos de descomposición, segregación, oxidación. Las consideraciones a tener en cuenta son:

- El ángulo de roce interno del material (estado de hundimiento del material), el cual sabemos que por gravedad caerá directamente en los rodillos trituradores para disminuir el diámetro de grano de sal.
- El ángulo de rozamiento entre el material y la pared de la tolva. Este se pretende que por la caída sea directa a los rodillos trituradores y existe un mínimo contacto en las paredes de la tolva.
- El ángulo de inclinación de la tolva respecto a la vertical, que por procesos de diseño propondremos un ángulo de  $25^{\circ}$  esto es para garantizar el flujo de producto continuo hacia los rodillos.

- Apertura del caudal de descarga. El total a trabajar será de 1 tonelada por hora.

Además, será importante evaluar las condiciones de operación y de proceso:

- La capacidad solicitada, que es 1 tonelada
- La frecuencia y el tiempo de descarga 1 hora
- Temperatura, que es la del ambiente
- Protección ambiental

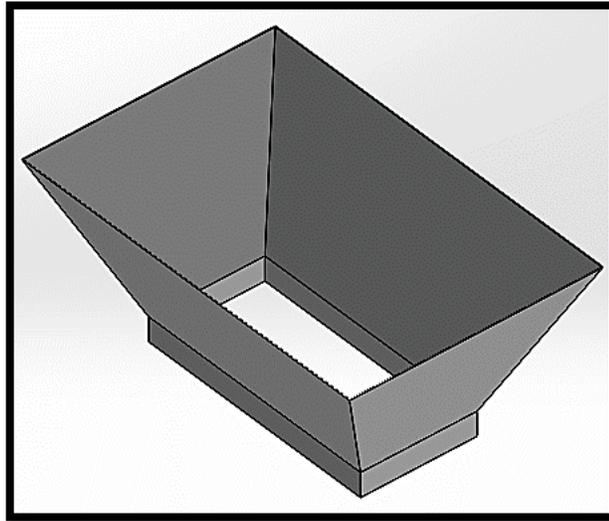
La tolva representa el elemento por el cual la sal que es el material a triturar tendrá el primer contacto con la máquina, por lo cual su diseño depende de la capacidad de producción que es  $1 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{hora}} \right] = 1000 \left[ \frac{\text{kilogramo}}{\text{hora}} \right]$ .

Se tiene como referencia que la densidad de la sal es  $0,930 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$  por lo cual se genera la relación siguiente:

- $$V_{\text{tolva}} = \frac{1 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{hora}} \right]}{0,9300 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]}$$
- $$V_{\text{tolva}} = 1,0752 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right]$$

Este volumen encontrado dará una referencia para determinar las dimensiones óptimas, que mediante un programa a utilizar ayudará con el dimensionamiento. Esta será una pirámide escalonada con la capacidad de que será llenada constantemente en el transcurso de 1 hora, alcanzando su capacidad de producción establecida, el esquema se presenta a continuación:

Figura 34. **Diseño de la tolva**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.9.17.2. Selección del material de la tolva**

Para la selección de dicha propuesta, el acero inoxidable serie 300 AISI 304 o AISI 304L es el adecuado para dicha función, por sus propiedades químicas, mecánicas, físicas y el uso que fueron comparadas con los demás tipos mencionados en la sección 2.1.8. Así mismo, se deberán conocer los aspectos que deberá cumplir el material de la tolva a diseñar:

- La tolva deberá ser fácil para desmontarla y por igual su mantenimiento.
- La tolva deberá soportar el flujo continuo de sal y su peso si llegará deformarse.
- El material deberá ser resistente a la fricción con la sal.

- El material no deberá reaccionar químicamente con la sal, su limpieza o desinfección.
- La tolva se puede colocar apropiadamente a la máquina trituradora para garantizar una alimentación continua.

#### **2.1.10. Volumen total de la máquina**

Con base en el dimensionamiento que se propone, tomará como principio la referencia de la base donde estarán colocados los elementos de máquina de 650 [ mm ], así mismo, la altura de la estructura de soporte que será de 1600 [ mm ]. Por último se toma la altura de la tolva que será de 300 [ mm ] y el diámetro de los rodillos que es 100 [ mm ]. El cálculo del volumen total de la máquina será de: 0,784 [m<sup>3</sup>].

#### **2.1.11. Grosor de lámina a utilizar**

Se podrá mencionar que el grosor necesario dependerá siempre de las condiciones a trabajar, pero también se debe de tomar en cuenta con que se dispone en el mercado para su adquisición; por lo cual por ser el acero comercial AISI 304 o AISI 304L se buscará un grosor de 3 mm el cual se adapta para la comodidad de la construcción de la máquina, además, de ser un grosor comercial.

También, por procesos de seguridad el factor de seguridad de la siguiente tabla será referencia para la elección del material.

Tabla X. **Factores de seguridad dependiendo la carga aplicada**

Tipo o clase de carga	Acero, material dúctil	Hierro fundido, metal frágil	Madera de construcción
	Basado en la resistencia	Basado en la fluencia	Basado en la resistencia
Carga muerta o carga variable bajo análisis de fatiga	3-4	1,5-2	5-7

Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>.

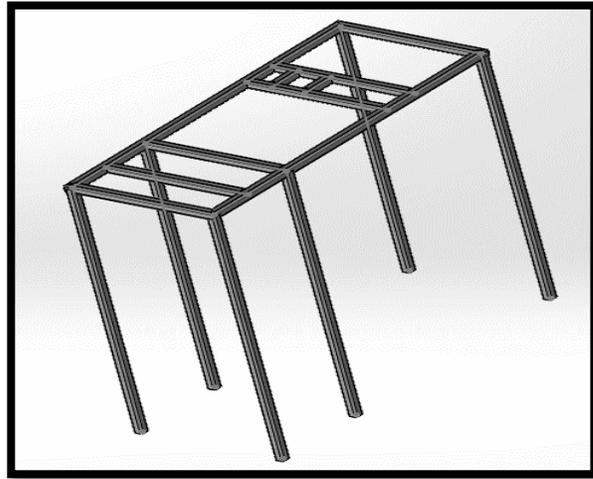
Consulta: 11 de octubre de 2016.

Los valores que aparecen son valores mínimos del factor de seguridad para las condiciones dadas, para usos del proyecto se usará un valor mayor para el factor de seguridad, haciendo más confiable el valor del grosor a obtener, por lo que utilizará un valor de FS de 4.

### 2.1.12. Estructura de soporte del material

La estructura de soporte del material es la encargada de mantener a la maquina en una posición rígida y segura para su operación. Esta estructura debe ser un marco de acero resistente a las condiciones del ambiente y en lo principal para resistir la corrosión de la sal. Para esta estructura se propondrá utilizar un tubo cuadrado con especificaciones de fabricación bajo la norma ASTM A500 con las siguientes características.

Figura 35. Estructura de soporte



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Tubo cuadrado con especificaciones de fabricación bajo la norma ASTM 500

Espesor	Ancho	Calibre	Sy	Su	I
3,4[mm]	51[mm]	10	320 MPa	430MPa	19,5 cm <sup>4</sup>

Fuente: elaboración propia.

Para realizar los cálculos que proveerán de los datos necesarios para constatar que el material propuesto para la estructura de la máquina es el adecuado es necesario determinar el peso total que soportar dicha estructura. Para lo cual se tiene lo siguiente:

Tabla XII. **Peso de cada parte propuesta para la estructura**

Núm.	Parte de la máquina	Peso en kg
1	Tolva	22,72 kg
2	Rodillos	61,55 kg
3	Engranés	6,81 kg
4	Poleas	0,87 kg
5	Motorreductor	200 kg
6	Peso del material	100 kg
7	Chumaceras	5,76 kg
TOTAL		<b>397,71kg</b>

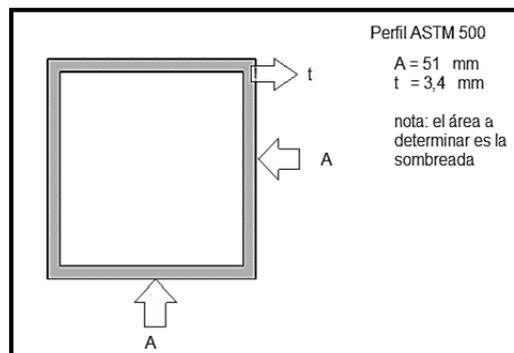
Fuente: elaboración propia.

Al realizar la sumatoria de la tabla anterior, la misma refleja que la estructura tiene que soportar un peso de 397,71 kg que genera una fuerza de 3977,10 N.

### 2.1.12.1. Cálculo del área del tubo

Información que será sumamente importante por el esfuerzo de compresión que se genera a lo largo del tubo y determinar si dicho material soporta las carga.

Figura 36. **Cálculos del área del tubo**



Fuente: elaboración propia.

Al realizar los cálculos correspondientes se tiene un área de:

- $A_p = 6,47 \cdot 10^{-4} \text{ [ m}^2 \text{ ]}$

### 2.1.12.2. Análisis del esfuerzo de compresión

Al determinar el área, es necesario analizar el esfuerzo de compresión que se concentra en el tubo de la estructura. Para esto se tiene los dos datos principales para el cálculo, por lo que el esfuerzo viene dado por la siguiente expresión:

- $\sigma_c = \frac{P}{A}$

Donde:

- $\sigma_c$  = esfuerzo de compresión
- P = fuerza ejercida por el peso total la máquina
- A = área afectada por la fuerza  $6,47 \cdot 10^{-4} \text{ [ m}^2 \text{ ]}$

Entonces:

- $\sigma_c = \frac{3977,10 \text{ [ N ]}}{6,47 \cdot 10^{-4} \text{ [ m}^2 \text{ ]}}$
- $\sigma_c = 6,1469 \text{ MPa}$

El valor encontrado sirve para asegurar que el esfuerzo de compresión sea el permitido y no sobrepase el último esfuerzo del material que soporta. Para lo cual también se agregará un factor de seguridad entre el último esfuerzo que resiste el material. ( $S_y = 320 \text{ MPa}$ ) valor que usualmente es tomado para

diseño y cálculos) y el esfuerzo aplicado al material ( $\sigma_c$ ) por el factor de seguridad que es  $F= 15,05$ .

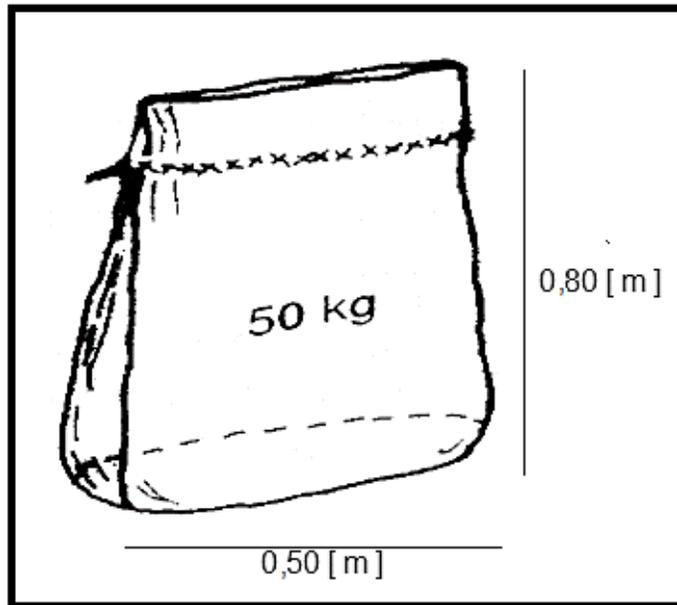
Al analizar el valor del factor de seguridad se podrá asegurar que el tubo ASTM 500 no fallará por el esfuerzo de compresión ejercido por todo el peso de la máquina. Es necesario notar que el análisis se realiza para un solo tubo con toda la carga de la máquina, el diseño de la estructura lleva 6 tubos que sostienen a toda la carga, por lo que existe mayor confiabilidad que la estructura no fallará por el esfuerzo de compresión.

### **2.1.12.3. Análisis del pandeo de los tubos ASTM 500**

Es necesario realizar el estudio del pandeo que los tubos puedan tener a causa del peso que genera la máquina sobre los mismos, en este análisis se relaciona íntimamente la longitud de los tubos que estarán libres para sostener toda la máquina y el espesor del tubo.

Se usa un saco promedio como referencia para determinar una altura  $h_s$  que ayuda para ciertos cálculos y así dimensionar la altura total donde estarán situados los componentes de la trituradora para que, después de haber sido disminuido el diámetro del cristal de sal pueda la siguiente máquina transportadora depositarlo correctamente y sin problemas.

Figura 37. Dimensiones de un saco promedio



Fuente: *Correas de transmisión*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Por propósitos de diseño en su altura se indicará el total con el cual se trabajará:

- Altura del saco 80 [ cm ]
- Altura de los perfiles 130 [ cm ]
- Diámetro de los rodillos 10 [ cm ]
- Caja de los rodillos 20 [ cm ]
- Altura de tolva 30 [ cm ]

Por tanto, la altura total del sistema será de 1,90 [ m ].

Se tiene una referencia de la altura total del sistema y procederá al cálculo de la esbeltez, la esbeltez de transición para que con ello se verifique si la estructura posee las columnas largas o cortas.

### 2.1.12.3.1. Esbeltez

La esbeltez de una columna da a conocer el comportamiento de la misma por medio de la relación de su longitud y las dimensiones de las secciones transversales. Esta relación viene dada por:<sup>46</sup>

$$\lambda = \frac{k * L_e}{r_g} \quad (\text{ecu. 2.49})$$

Donde:

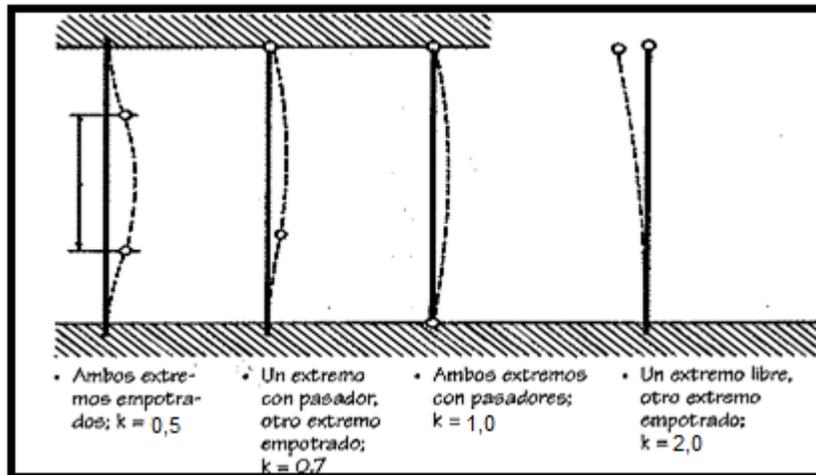
- $k$  = coeficiente de empotramiento de la columna
- $L_e$  = longitud efectiva (longitud entre empotramientos de la columna)
- $r_g$  = radio de giro

El valor de  $k$  se obtiene de la siguiente figura:

---

<sup>46</sup> *Esbeltez en columnas*. [http://esbeltezencolumnas.blogspot.com/2012/03/esbeltez-en-columnas\\_27.html](http://esbeltezencolumnas.blogspot.com/2012/03/esbeltez-en-columnas_27.html). Consulta 11 de octubre de 2016.

Figura 38. **Coefficiente de empotramiento de la columna**



Fuente: *Constructor civil*. <http://www.elconstructorcivil.com/search?updated-max=2013-09-09T10:15:00-07:00&max-results=7>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Para lo cual se usará un valor de  $k = 2,0$  ya que el perfil estará soldado, creando un empotramiento libre entre la columna y la trituradora de sal.

Entonces el radio de giro está definido por la siguiente expresión:

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A_p}} \quad (\text{ecu. 2.50})$$

Donde:

- $r_g$  = radio de giro
- $I$  = inercia del perfil  $19,5 \text{ [ cm}^4 \text{ ]}$
- $A_p$  = área afectada por la fuerza  $6,47 \cdot 10^{-4} \text{ [ m}^2 \text{ ]}$

Entonces:

- $r_g = \sqrt{\frac{1,95 \cdot 10^{-7} [\text{m}^4]}{6,47 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2]}}$
- $r_g = 0,0173 [\text{m}]$
- $r_g = 1,73 [\text{cm}] = 17,36 \text{ mm}$

Con este valor se procede a encontrar el valor de la esbeltez, entonces:

$$\lambda = \frac{k * Le}{r_g}$$
$$\lambda = \frac{2,0 * 1,30 [\text{m}]}{0,0173 [\text{m}]}$$
$$\lambda = 150,2890$$

#### 2.1.12.3.2. Esbeltez de transición

Esta dada por la ecuación:<sup>47</sup>

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} \quad (\text{ecu. 2.51})$$

Donde:

- $C_c$  = esbeltez de transición
- $S_y$  = último esfuerzo del material
- $E$  = módulo de elasticidad

<sup>47</sup> Razón de esbeltez de transición – I. <http://ingenieroenmecanica.blogspot.com/2014/01/razon-de-esbeltez-de-transicion-i.html>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Entonces:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 3,4 * 10^{-3} \text{ [ m ]}}{320 \text{ [ MPa ]}}}$$

$$C_c = 144,82$$

Al comparar la esbeltez con la esbeltez de transición se podrá notar que la esbeltez de transición es de menor valor que la esbeltez; esto indica que se deberá aplicar un análisis para una columna larga utilizando el criterio de la carga crítica de Euler.

Ahora es necesario determinar la carga última que el perfil propuesto soporta para que el mismo no se deflece en su eje simétrico. Para este análisis se usa la carga crítica de Euler para columnas sometidas a compresión para determinar si la estructura no colapsará por pandeo lateral.

Por lo tanto, la carga crítica está definida por:

$$P_E = \frac{\pi^2 * E * A_p}{\lambda^2} \quad (\text{ecu. 2.52})$$

Donde:

- $P_E$  = carga crítica de Euler
- $A_p$  = área del perfil  $6,47 * 10^{-4} \text{ [ m}^2 \text{ ]}$
- $E$  = módulo de elasticidad  $(2,038 * 10^6 \text{ Kg/cm}^2 = 19\,9927,8 \text{ MPa})$

- $\lambda^2$  = esbeltez de la columna

Entonces:

$$P_E = \frac{\pi^2 * E * A_p}{\lambda^2}$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 19\,9927,8 \text{ Mpa} * 6,47 * 10^{-4} \text{ [ m}^2 \text{ ]}}{(150,2890)^2}$$

$$P_E = 56\,522,6901 \text{ [ N ]}$$

Esta carga es la que hará que el perfil propuesto se refleje y la columna falle por pandeo lateral. Ahora determinamos el factor de seguridad para la carga aplicada y la última carga que soporta el material.

$$FS = \frac{\text{carga última que resiste el material}}{\text{carga real aplicada del material}} \quad (\text{ecu. 2.53})$$

- $FS = \frac{56\,522,6910 \text{ [ N ]}}{3977,10 \text{ [ N ]}}$
- $FS = 14,21$

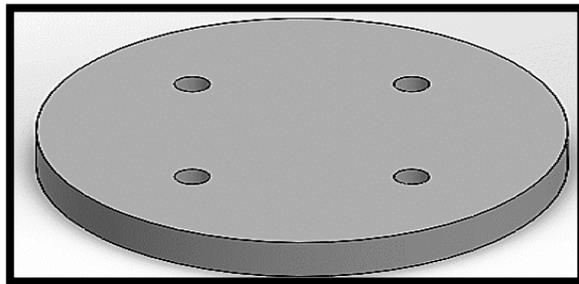
El valor obtenido del factor de seguridad es arriba de catorce, por lo que podemos estar seguros que el tubo cuadrado ASTM A500 no fallará por pandeo cuando la máquina esté trabajando a completa carga.

### 2.1.13. Estructura de cimentación de la máquina

Para que la estructura de la trituradora de sal quede fija y no genere movimientos innecesarios al estar en funcionamiento, será empotrada en el

piso. Para ello, se diseñará una placa base que distribuya el peso de la trituradora uniformemente. En la siguiente figura se detalla el esquema.

Figura 39. **Esquema de la placa base**



Fuente: elaboración propia.

En el reglamento del concreto estructural ( AICI 318-02 ) publicado por el *American Concrete Institute* ( ACI ), se define como  $D_c$  = al factor de reducción al aplastamiento,  $D_c = 0,65$ ; este dato es tomado cuando la placa cubre el área del concreto y también se toma en cuenta las normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala en su actualización 2010, que la norma sigue en vigencia.

Se tiene entonces, la siguiente ecuación:<sup>48</sup>

$$P_p = 0,85 * f_c' * A_1 \quad (\text{ecu. 2.54})$$

Donde:

- $f_c'$  = resistencia a la compresión del concreto a los 28 días ( 3 [ ksi ] )

<sup>48</sup> *Biomecánica*. [http://Catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/Orozco/\\_l\\_d/capitulo3.pdf](http://Catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/Orozco/_l_d/capitulo3.pdf). 10p. Consulta: 11 de octubre de 2016.

- $A_1$  = área de la placa

También se tiene la siguiente ecuación para la fuerza ejercida por la fuerza nominal:

$$f_{p \text{ máxima}} = 0,85 * f_c' \quad (\text{ecu. 2.55})$$

La presión última es determinada por la ecuación siguiente:

$$f_{p u \text{ máxima}} = D_c * f_{p \text{ máxima}} \quad (\text{ecu. 2.56})$$

La presión ejercida por el concreto no debe ser mayor que  $f_{p \text{ máxima}}$  por lo que:

$$\frac{P_u}{A_1} \leq f_{p u \text{ máxima}} \quad (\text{ecu. 2.57})$$

Donde:

$P_u$  = carga axial que actúa sobre una de las columnas en la estructura por lo que se obtiene:

$$A_1 = \frac{P_u}{f_{p u \text{ máxima}}} \quad (\text{ecu. 2.58})$$

Considerando que para el diseño no existe confinamiento de concreto, el área mínima requerida para la placa base se calcula de la siguiente manera:

$$A_1 = \frac{P_u}{0,85 * D_c * f_c'} \quad (\text{ecu. 2.59})$$

Son las condiciones se sustituyen los valores siguientes:

- $P_u = \frac{397,71 \text{ [ kg ]}}{6} = 66,285 \text{ [ kg ]} = 146,1334 \text{ [ lbs ]}$
- $A_1 = \frac{P_u}{0,85 * D_c * f_c'}$
- $A_1 = \frac{146,1334 \text{ [lbs]}}{0,85 * 0,65 * 3 \text{ [ ksi ]}}$
- $A_1 = 88,16 \text{ [ plg}^2 \text{ ]}$

Entonces:

- $A_1 = \pi * r^2$
- $88,16 \text{ [ plg}^2 \text{ ]} = \pi * r^2$
- $r = 5,9795 \text{ [ plg ]} = 134,3556 \text{ mm}$

Por lo cual considera una placa de soporte de la estructura de la trituradora de rodillos de 135 mm.

Ahora se procede a determinar el grosor de la placa base con la ecuación siguiente:<sup>49</sup>

$$t_{\min} = l * \sqrt{\frac{2 * P_u}{D_f * F_y * A}}$$

---

<sup>49</sup> *Biomecánica*. [http://Catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/Orozco/\\_l\\_d/capitulo3.pdf](http://Catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/Orozco/_l_d/capitulo3.pdf). Consulta: 11 de octubre de 2016.

Donde:

- $t_{\min}$  = espesor mínimo de la placa base [ mm ]
- $l_{\text{critica}}$  = longitud crítica [ mm ]
- $P_u$  = carga axial que actúa sobre la columna en [ lbs ]
- $D_{\text{fred}}$  = factor de reducción de resistencia a la flexión, igual a 0,90
- $F_y$  = límite de fluencia de acero ASTM A-36 ( 36 000 psi )
- $A_{\text{con}}$  = área de contacto [ plg<sup>2</sup> ]

Entonces:

- 
- $$t_{\min} = l * \sqrt{\frac{2 * P_u}{D_f * F_y * A}}$$
- $$t_{\min} = 130 \text{ [ mm ] } * \sqrt{\frac{2 * 66,285 \text{ [ lbs ]}}{0,90 * 36\,000 \text{ [ psi ] } * 26,143 \text{ [ plg}^2\text{]}}}$$
- $t_{\min} = 0,8892 \text{ [ mm ]}$

Por propósitos de diseño se tomará el espesor de 5 mm.

### 2.1.13.1. Selección de pernos para el anclaje

Se tiene que tomar en cuenta en utilizar un perno de fijación para la trituradora de sal de acero inoxidable AISI 304 de ½ [ plg ] de grosor por 4 [ plg ] de largo por su resistencia a la corrosión, así mismo, se presenta el tornillo de fijación y aplicaciones a estructuras de acero, acordes al espacio disponible de la placa base y se colocarán 4 tornillos en cada base de la estructura para asegurar de la mejor manera la sujeción de la máquina.

Figura 40. **Perno de fijación**



Fuente: *Puntoseco*. [http://materiales.puntoseco.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/p/e/perno\\_fwa\\_1.png](http://materiales.puntoseco.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/p/e/perno_fwa_1.png). Consulta: 11 de octubre de 2016.

#### **2.1.14. Especificación de motores**

Es sumamente importante poseer información adecuada para elegir un motor eléctrico que sea capaz de cumplir con las necesidades, para ello se incluye también información general de motores eléctricos.

Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio: arrancar, acelerar, mover, frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción

de caballo hasta varios miles y con una amplia variedad de velocidades: fijas, ajustables o variables.

En cuanto a los tipos de motores eléctricos genéricamente se distinguen motores monofásicos, que contienen un juego simple de bobinas en el estator y polifásicos, que mantienen dos, tres o más conjuntos de bobinas dispuestas en círculo.

Según la naturaleza de la corriente eléctrica transformada, los motores eléctricos se clasifican en: motores de corriente continua, también denominada directa; motores de corriente alterna, que, a su vez, se agrupan, según su sistema de funcionamiento, en: motores de inducción, motores sincrónicos y motores de colector.

Figura 41. **Motor eléctrico**



Fuente: *Principios físicos del funcionamiento de un motor eléctrico*. [http://historiaybiografias.com/archivos\\_varios4/motorelectrico.jpg](http://historiaybiografias.com/archivos_varios4/motorelectrico.jpg). Consulta: 11 de octubre de 2016.

Para la selección del motor y en la sección 2.1.9.12., se encontraron los parámetros del motor en función a su potencia requerida e incluyendo cualquier

otra carga adicional que pueda incurrir a un aumento en la potencia tenemos lo siguiente:

- $P_{requerida} = 521,9923 \text{ watts} = 0,5219 \text{ kwatts}$
- $P_{requerida} = 0,6994 \text{ [ hp ]}$
- $P_{total} = 0,6994 \text{ [ hp ]} * 1,5$
- $P_{total} = 1,0494 \text{ [ hp ]}$
- $P_{totalrequerida} = 1 \text{ hp}$

## **2.2. Manual de construcción de la máquina**

En esta parte se realizará un manual de construcción para la máquina trituradora de sal para que sea una guía en el momento de su puesta en marcha, que detallará aspectos técnicos que se deberán tomar en cuenta al momento de los ensambles y que estos estén acordes a lo previamente calculado.

### **2.2.1. Generalidades de la construcción**

Para tener una máquina trituradora de sal se debe de contar con personal especializado en metal-mecánica con su respectivo taller de preferencia con especialización en aceros inoxidables ya que la mayoría de las piezas a ensamblar estarán formadas de dicho material. En relación a lo descrito, se creará una lista de herramientas que se utilizarán para dicha propuesta.

### **2.2.2. Objetivos**

- Presentar una guía de la máquina trituradora de sal en la cual permita fácilmente y de forma eficiente su construcción.

- Expresar en forma de diagramas de procesos los pasos a seguir para la construcción de la máquina.
- Facilitar los documentos que se requieran para detallar cualquier aspecto técnico en la construcción de la máquina.

### **2.2.3. Alcances**

La información tratará de manera sencilla las técnicas y aspectos aplicables para la construcción de la máquina trituradora de sal que se desarrolla de manera simple para su mejor entendimiento ya que el encargado en la construcción será el personal de la salinera. Este manual incorpora fundamentos para una construcción de maquinaria desde diagramas hasta aspectos como tipos de soldadura como referencia para un buen desempeño en el proceso de construcción.

### **2.2.4. Responsables**

A todo personal de las salineras involucrado tanto de la construcción como también del proceso en la producción de sal y su mantenimiento respectivo.

### **2.2.5. Listado de materiales**

- Planchas de acero inoxidable AISI 304 o AISI 304-L
- Chumaceras de fundición gris
- Pernos de anclaje
- Acero estructural ASTM A500
- Motor eléctrico
- Polea de aluminio motriz

- Polea de aluminio conducida
- Rodillo triturador motriz de acero inoxidable AISI 304 o AISI 304-L
- Rodillo triturador conducido de acero inoxidable AISI 304 o AISI 304-L
- Engrane recto motriz AISI 4340
- Engrane recto conducido AISI 4340
- Motorreductor
- Tornillos de ajuste para el motor eléctrico
- Pernos de anclaje
- Chavetas
- Tornillo de fijación de rodillos
- Arandelas
- Electrodo para soldadura de acero inoxidable E308-16

#### **2.2.6. Equipo para la construcción**

- Equipo de medición
  - Cinta métrica metálica
  - Niveles
  - Micrómetro
  - Pie de rey o vernier
- Banco de trabajo
  - Prensa manual
- Soldadura eléctrica manual
  - Electrodo E312-13
- Herramienta mecánica de banco
  - Martillo

- Punzón
- Lima
- Limatón
- Cepillo de alambre
- Sierra
- Arco de sierra
- Alicate
- Pinzas
  
- Dobladora industrial
- Torno industrial
- Cizalla de acero inoxidable
- Roladora para acero inoxidable
- Brocas
- Barreno
- Fresadora
  - Fresa escalonada
  - Fresa avellanadora
  
- Taladro de pedestal
  - Juego de brocas rectificadas
  - Brocas de cobalto y de titanio
  - Brocas con mango cilíndrico, reducido, hexagonal y cónico
  
- Juego de machos
  - Reparación de roscas
  - Machos insertos
  - Terrajas

- Gira macho

### **2.2.7. Procedimientos**

En este punto se describirán los procesos más importantes en la construcción de la máquina trituradora de sal. Se tomarán muy en cuenta los aspectos en trabajos con acero inoxidable, el principal material con el que se estará trabajando.

### **2.2.8. Cortes**

El acero inoxidable puede ser cortado de muchas maneras por medio de varias técnicas como el aserrado, cizallado, punzonado, el corte por chorro de agua, corte por plasma y corte por láser. Se debe tomar en cuenta que no se puede utilizar la técnica de corte con oxiacetilénico porque no se puede asegurar que un proceso sea mejor que otro, todos tienen ventajas y desventajas; la recomendación es que para seleccionar adecuadamente el método ideal, el documento deberá considerar los factores particulares de su requerimiento: espesor de material, velocidad de corte que necesita, acabado de la pieza a cortar, precisión, afectación de la zona térmicamente, necesidad de operaciones secundarias, complejidad de la pieza a cortar, costos de la operación e inversión.

#### **2.2.8.1. Aserrado, cizallado y punzonado**

Para el maquinado o trabajo en el acero inoxidable es muy útil el cizallado y punzonado, cortes fríos, en los que no existe calor que pueda afectar o distorsionar las propiedades especiales de este tipo de acero: sus propiedades mecánicas, multidireccional (puede cortar en cualquier dirección), no deja

agrietamiento en el corte que pudiera favorecer eventualmente la corrosión, el principal factor en el mantenimiento.

Su principal desventaja es que requiere operaciones secundarias de acabado; el punzonado tiene la limitación de cortar espesores menores que los que cortan los métodos térmicos; por ejemplo, el espesor máximo del acero inoxidable que se puede punzonar es de aproximadamente 20 mm, pero es importante considerar que en espesores mayores de 10 mm se pueden agrietar las líneas de corte y favorecer así la corrosión.

En estos procesos, es muy importante limpiar todas las cuchillas, punzones, dados y utillaje que tengan contacto con el material, también, preparar y pulir el borde expuesto al ambiente del acero para eliminar rendijas o hendiduras. La presión de los pisadores o sujetadores debe graduarse de forma que no marquen la lámina; de ser posible, proteger el material con plastificante, goma u otro material deformable.

Si se deben efectuar operaciones de trazado, hay que evitar el uso de punzones duros y procurar utilizar lápices o marcadores de fácil eliminación con un trapo o disolvente.

Si las láminas de inoxidable están protegidas con película plástica se deberá trazar sobre ésta. Para cortar el acero inoxidable con sierra se deben utilizar las sierras circulares, que son las más adecuadas para esto.

Este tipo de sierras permite un sinfín de cortes en distintos materiales, solo hace falta seleccionar la cuchilla correcta. No hay que forzar sino hacer el movimiento suave pero firme para que el acabado sea completamente limpio.

Tabla XIII. **Métodos de corte de acero inoxidable**

<b>Método</b>	<b>Espesor y geometría</b>	<b>Observaciones</b>
Guillotina	Láminas, cintas, placas finas	Se debe realizar una preparación previa del borde expuesto al ambiente para eliminar el riesgo de rendijas.
Corte por sierra y abrasivo	Amplio rango de espesores	Se recomienda eliminar restos de lubricantes o líquidos de corte antes de proceder a la soldadura o el tratamiento térmico previo.
Maquinado	Formas geométricas variadas	Se recomienda eliminar restos de lubricantes o líquidos de corte antes de proceder a la soldadura o el tratamiento térmico previo.
Corte con arco de plasma	Amplio rango de espesores	Antes de soldar, se debe amolar los bordes y superficies cortadas para ampliar el metal.
Corte en polvo metálico	Amplio rango de espesores	Se trata de un corte menos preciso que el corte con plasma y una vez realizado el corte se debe eliminar toda escoria formada.
Corte por arco de grafito	Usado para acanalar la parte posterior de soldadura y para piezas con formas irregulares	Antes de soldar, se debe amolar los bordes y superficies cortadas para ampliar el metal.

Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

### **2.2.8.2. Doblado de acero inoxidable**

El doblado del acero inoxidable no requiere, necesariamente, herramientas especiales y tiende a ser un método particularmente económico para producir componentes geoméricamente simples. Es importante tener presente que el comportamiento tensión-deformación del acero inoxidable difiere del comportamiento del acero al carbono en varios aspectos; la fabricación en frío del acero inoxidable genera un endurecimiento del material, es por ello que se requiere mayor fuerza para transformarlo que la requerida para doblar el acero al carbono. Así mismo, el acero inoxidable tiende más a la recuperación elástica, que el acero al carbono, en ese sentido debe sobre-doblarse.

En cualquier caso, hay que señalar que el acero inoxidable puede absorber impactos considerables sin que sobrevenga la fractura, gracias a su excelente ductilidad y a sus características de endurecimiento por deformación.

Generalmente, se pueden solicitar al proveedor los rollos, flejes, hojas, entre otros, con una película plástica protectora y mantenerla durante los procesos de transformación para aislar la superficie de daños.

También, se recomienda también para los procesos de doblado evitar desplazar el material sobre elementos o superficies abrasivas, ásperas o con esquinas que puedan causar cualquier daño al acero.

### **2.2.8.3. Operaciones de corte y montaje**

Luego de que las piezas se soldan deberán ser cortadas con las medidas y geometrías precisas que se estarán proporcionando más adelante en sus respectivos diagramas, para luego ser posicionadas y montadas. Con excepción del corte oxiacetilénico, el acero inoxidable puede ser cortado con los mismos métodos de corte utilizados en los aceros al carbono.

Es sumamente importante mencionar que el único método de corte que no puede emplearse en los aceros inoxidables es el corte oxiacetilénico. El motivo de no poderse emplear el procedimiento de corte oxiacetilénico es porque se forma una gran cantidad de óxidos de cromo refractarios cuyo punto de fusión es superior al del metal base lo que impide que pueda llevarse a cabo un corte preciso y de calidad.

En la siguiente tabla se indican los procedimientos de corte más empleados en piezas de acero inoxidable, en función de su espesor y forma

geométrica que servirán como referencia para saber qué trabajo se tendrá que realizar.

### 2.2.9. Soldadura

La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material, (generalmente metales), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte (metal), que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar (el baño de soldadura) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón. A veces se utiliza conjuntamente presión y calor, o solo presión por sí misma, para producir la soldadura.

Quizá sea una de las funciones más importantes en el montaje ya que de esta dependerán muchas partes que estarán unidas y debido a ello se enfocará a mayor detalle en este punto. Se integrará la siguiente tabla para entender la diferencia entre el acero inoxidable y el acero al carbono.

Tabla XIV. **Comparativa entre la soldadura en aceros inoxidables austeníticos vr aceros al carbono**

	<b>Aceros inoxidables austeníticos</b>	<b>Aceros al carbono</b>	<b>Observaciones</b>
Punto de fusión	1400 - 1450 °C (Acero inoxidable AISI 304)	1540 °C	El acero inoxidable tipo 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor aportado por la fuente de soldeo, o bien, requiere emplear menos calor para la misma velocidad de soldeo.

Continuación de la tabla XIV.

<p>Velocidad de conductividad térmica a 100 °C</p> <p>a 650 °C</p>	<p>28 %</p> <p>66 %</p>	<p>100 %</p> <p>100 %</p>	<p>El acero inoxidable 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual va a producir gradientes de temperatura más pronunciados. Esto va a originar como resultado que se genere una mayor deformación en la pieza soldada. Asimismo, que los aceros inoxidables tengan una menor velocidad de la conductividad térmica significará una difusión más lenta del calor a través del metal de base. Esto va a provocar que la zona soldada permanecerá caliente por más tiempo, originándose así un mayor riesgo de producirse fenómenos como la precipitación de carburos de cromo, que como se verá más adelante, va a reducir la resistencia a la corrosión del acero.</p>
<p>Resistencia eléctrica (microhm.cm,aprox.) a 20 °C</p> <p>a 885 °C</p>	<p>72,0</p> <p>126,0</p>	<p>12,5</p> <p>125</p>	<p>Esto tiene especial relevancia en los métodos de soldar por resistencia eléctrica. En efecto, una mayor resistencia eléctrica de los aceros inoxidables 304 implica que se genera mayor calor para el paso de la misma corriente eléctrica. Esta propiedad, junto con la menor velocidad de conductividad térmica de los aceros inoxidables, va a condicionar que los métodos de soldar por resistencia eléctrica sean más efectivos en los aceros inoxidables que en los aceros al carbono.</p>
<p>Expansión térmica pulg./pulg./°C x 10<sup>-6</sup></p>	<p>17,6 (20 - 500 °C)</p>	<p>11,7 (20 - 628 °C)</p>	<p>El acero inoxidable 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que los aceros al carbono, lo cual significa que son más propensos a sufrir grandes deformaciones durante la soldadura. Por lo tanto, en el caso de los aceros inoxidables habrá que cuidar el proceso de embridado de las piezas con el fin de permitir la expansión y contracción de manera que se pueda controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para los aceros inoxidables deberán usarse más puntos de soldadura (más puntadas) para la sujeción y posicionado de las piezas que para el caso del acero al carbono.</p>

Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*  
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

## **2.2.10. Especificaciones de soldadura**

### **2.2.10.1. Tipos de soldadura para el acero inoxidable**

Los aceros inoxidables se pueden soldar empleando la mayoría de los procesos comerciales de soldadura, siendo los más populares: la soldadura manual con electrodo revestido, el procedimiento TIG y el procedimiento MIG. No obstante, existen otros procesos que pueden ofrecer ciertas ventajas respecto a los anteriores cuando se trata de altas producciones o fabricaciones especiales.

Por ejemplo, el proceso de soldar por arco con electrodo tubular ha tenido gran avance en los últimos años, produciendo una soldadura de mucha calidad en los aceros inoxidables y de mayor eficiencia que los procedimientos con electrodo revestido.

En otras ocasiones, cuando los espesores de las piezas a soldar sobrepasan los 6 mm, o bien para soldadura en solapa, el procedimiento de soldadura por arco sumergido resulta el más rentable y de mejor aplicación.

Por el contrario, la soldadura oxiacetilénica no se recomienda para la soldadura de aceros inoxidables. Ello es debido porque durante la soldadura se generan óxidos de cromo de un elevado punto de fusión, superior al del metal base.

Estos óxidos no funden y quedan sobre la superficie del baño dificultando el proceso de soldadura, además de disminuir la resistencia a la corrosión, tanto de la soldadura como de las áreas adyacentes.

### **2.2.10.2. Aspectos operativos para la soldadura en el acero inoxidable**

“En primer lugar, hay que reseñar que la soldadura en los aceros inoxidables genera un baño que en general resulta menos fluido que el de un acero ordinario y además la penetración obtenida en la soldadura no es tan grande. Para compensar estos inconvenientes se debe prestar especial atención a las operaciones previas de preparación y separación de bordes. En este sentido, se recomienda realizar siempre un chaflán en los bordes para facilitar la fluidez y penetración del baño de fusión, además de poder conseguir así de más espacio para que la pasada de raíz pueda ser más ancha.”<sup>50</sup>

Además, en comparación con el resto de aceros al carbono, los aceros inoxidables muestran una mayor resistencia eléctrica debida a su estructura interna y composición, lo que implicará el empleo de mayores niveles de intensidad de corriente en el equipo de soldeo eléctrico, entre un 25 % y 50 % superior a los utilizados para soldar un acero común.

Si se emplease una corriente de intensidad demasiado baja dará lugar a un arco inestable, con interferencias de la escoria en el arco que terminará pegándose en el electrodo y dará lugar a una incorrecta forma del cordón. Por el contrario, si se emplea una corriente de intensidad demasiado elevada generará un salpicado excesivo y poco control sobre el baño de fusión, que terminará produciendo fisuras y una pérdida de resistencia a la corrosión por pérdida de cromo en la composición final del cordón.

---

<sup>50</sup> *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.* <http://ingemecanica.com/tutorial/semanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

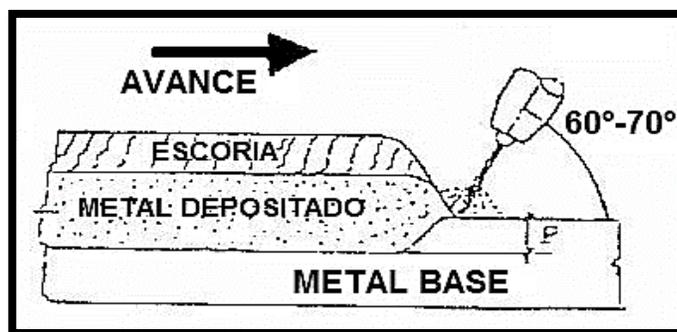
En cuanto a la posición a mantener del electrodo, esta dependerá de las distintas técnicas de avance en función de la posición en que se realiza la soldadura, que a saber son:

- Soldadura a la derecha
- Soldadura a la izquierda
- Soldadura vertical
- Soldadura en cornisa
- Soldadura en techo

### 2.2.10.3. Soldadura a la derecha

La soldadura a derecha proporciona una mayor penetración y avance de la pistola. Por otro lado, se evita el riesgo de inclusiones de escorias y, además, disminuye la probabilidad de formación de poros o de falta de fusión del baño. Genera un baño muy caliente y fluido, lo que requiere cierta habilidad por parte del operario. Se ejecuta mediante pasadas estrechas.

Figura 42. Esquema de soldadura a la derecha



Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

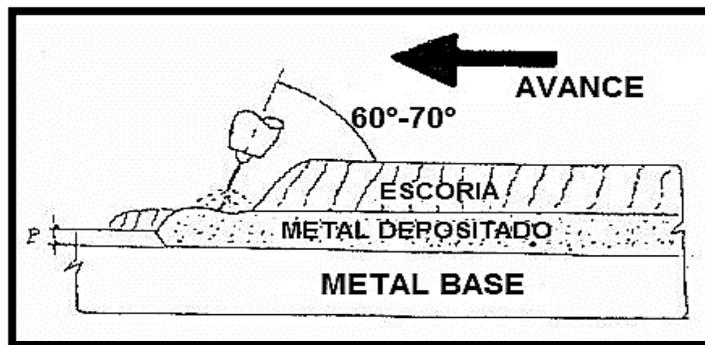
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

#### 2.2.10.4. Soldadura a la izquierda

La soldadura ejecutada a izquierda proporciona poca penetración, por lo que sólo se recomienda para soldar chapas finas. Por otro lado, requiere menor intensidad de corriente, por lo que el calor aportado al proceso es menor.

Tiene tendencia a la formación de poros y de falta de fusión en el baño. Genera cordones anchos.

Figura 43. Esquema de soldadura a la izquierda



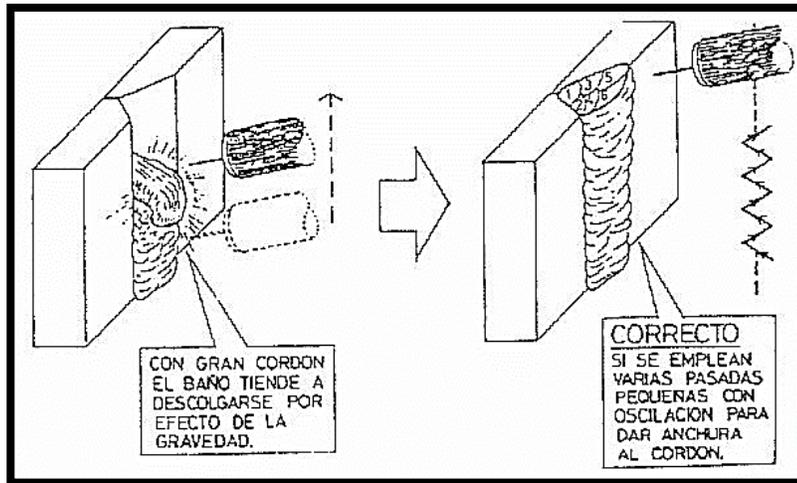
Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

#### 2.2.10.5. Soldadura en vertical

Para soldadura vertical el electrodo se recomienda mantenerlo perpendicular a la pieza, usándose una leve oscilación en la pasada de raíz.

Figura 44. Esquema de soldadura vertical

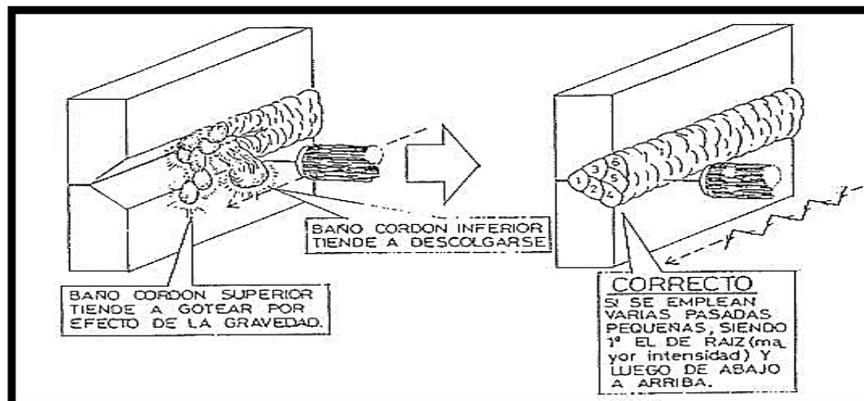


Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

### 2.2.10.6. Soldadura en cornisa

Figura 45. Esquema de soldadura de cornisa



Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

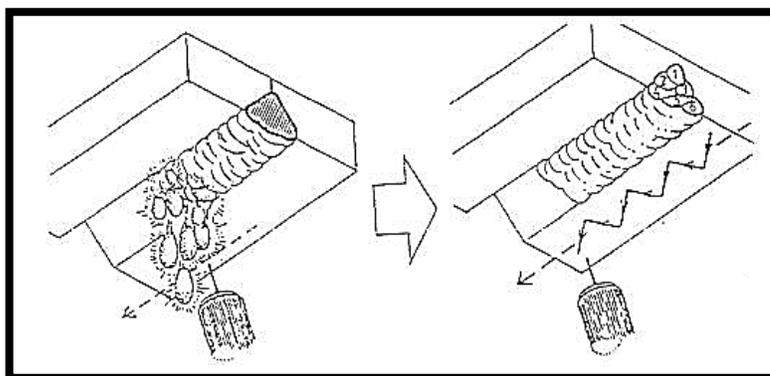
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

### 2.2.10.7. Soldadura en techo

Para las soldaduras ejecutadas en techo se recomienda realizar varias pasadas pequeñas con oscilación. En general, para cualquier soldadura en aceros inoxidable se recomienda emplear la intensidad de corriente mínima, pero que proporcione un arco estable y cordones rectos.

Con ello se conseguirá un cordón con mejor resistencia a la corrosión y minimizará también el aporte de calor, lo que reduce el riesgo a la fisuración del cordón y a la generación de deformaciones.

Figura 46. **Esquema de soldadura en techo**



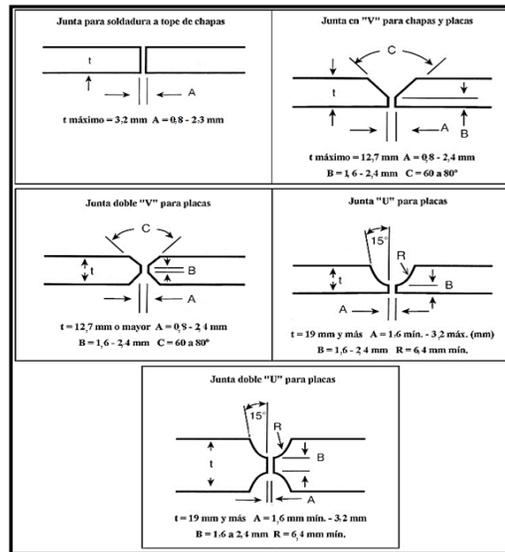
Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

### 2.2.10.8. Preparación de los bordes de la soldadura

En esta parte se expondrá con imágenes las recomendaciones para la soldadura en el acero inoxidable en chapas y planchas con el objetivo de obtener una calidad de soldadura óptima.

Figura 47. Preparación de bordes



Fuente: *Principio físico del funcionamiento de un motor eléctrico.*

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

### 2.2.10.9. Tamaño en la soldadura

Para que una soldadura a tope pueda desarrollar totalmente sus propiedades de resistencia mecánica es necesario que la penetración del metal de aporte sea completa, de manera que rellene todo el espacio entre las piezas soldadas. Es muy importante evitar que se formen huecos o rendijas sin rellenar de material de aporte por una falta de penetración pues esto, además de reducir la resistencia mecánica de la soldadura, es un foco de corrosión.

En efecto, las grietas y rendijas son zonas donde no existe suficiente aireación por lo que suele haber una escasez de oxígeno. Esta escasez de oxígeno impide la correcta formación de la capa protectora de óxido de cromo sobre la superficie del acero, es decir, no tiene lugar la pasivación del acero que

le confiere la naturaleza de inoxidable. Por lo tanto, grietas y rendijas se convierten en puntos críticos por donde suele comenzar la corrosión del metal.

#### **2.2.10.10. Humedad**

Otros de los aspectos que habrá que cuidar mucho es la humedad, cuya presencia puede producir porosidades en el cordón de soldadura.

La humedad no sólo puede presentarse en el ambiente que rodea mientras se ejecuta la soldadura, sino que puede estar presente a través del metal base o estar ya impregnada en el propio revestimiento de los electrodos inoxidables que se empleen.

Para ello se recomienda mantener los electrodos en ambientes cerrados y calefactados a 100 °C, o bien en termos portátiles hasta su utilización, para evitar que se produzca la absorción de humedad por parte del revestimiento del electrodo. Síntomas que puedan avisar de la presencia de humedad en el revestimiento de los electrodos es la dificultad que presenta la remoción de la escoria de la superficie del cordón o la presencia visible de porosidad.

#### **2.2.10.11. Limpieza**

Otro aspecto a cuidar es la limpieza tanto del propio cordón como de las zonas cercanas en una distancia de 5 cm a 8 cm. Una limpieza insuficiente podrá provocar una pérdida de resistencia a la corrosión del propio cordón de soldadura o de las zonas adyacentes afectadas térmicamente por la soldadura, así como dar origen a una posible aparición de fisuras, porosidad o discontinuidades internas por falta de fusión.

En este punto se colocarán algunas recomendaciones en función a la limpieza del acero inoxidable al momento de la soldadura.

- Antes de ejecutar la soldadura tanto los bordes como las superficies adyacentes deberán estar limpias y libres de grasas, aceites, para lo que se recomienda el empleo de disolventes no clorados (los disolventes clorados pueden dejar restos de cloruros sobre la superficie del acero que si no se limpian adecuadamente pueden originar corrosión).
- También los bordes de las piezas a soldar deben estar libres de óxidos superficiales, los cuales suelen quedar después de realizar cortes por métodos térmicos.
- Estos óxidos están compuestos principalmente de cromo y níquel proveniente del propio acero inoxidable, los cuales poseen una temperatura de fusión mucho mayor que la del metal de base y, por lo tanto, no se funden durante la soldadura.

#### **2.2.10.12. Ventilación y control de humos**

Una adecuada ventilación es importante para minimizar la exposición de los operarios soldadores a los humos, producidos durante los procesos de soldadura y corte de todos los metales, incluyendo al acero inoxidable.

Además de una buena ventilación, los soldadores deben evitar aspirar los humos que se desprenden del trabajo de soldeo, posicionándose de tal manera que su cabeza se encuentre fuera de la columna de humo.

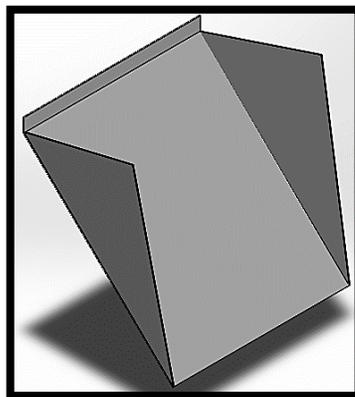
La composición de los humos de soldadura varía con el metal de aporte y el proceso.

Las soldaduras por arco también producen gases como ozono y óxidos de nitrógeno. Se ha manifestado preocupación en la soldadura con consumibles de acero inoxidable y aceros de alta aleación debido al cromo y en menor grado al níquel, presentes en los humos de soldadura. Una buena ventilación minimizará estos riesgos a la salud.

#### **2.2.11. Estructura del recipiente del triturado**

Esta la conforma una plancha de acero inoxidable que es la encargada por gravedad trasladar la sal triturada a la banda transportadora que finalmente la llevará al mezclado deseado.

Figura 48. **Esquema del recipiente del triturado**

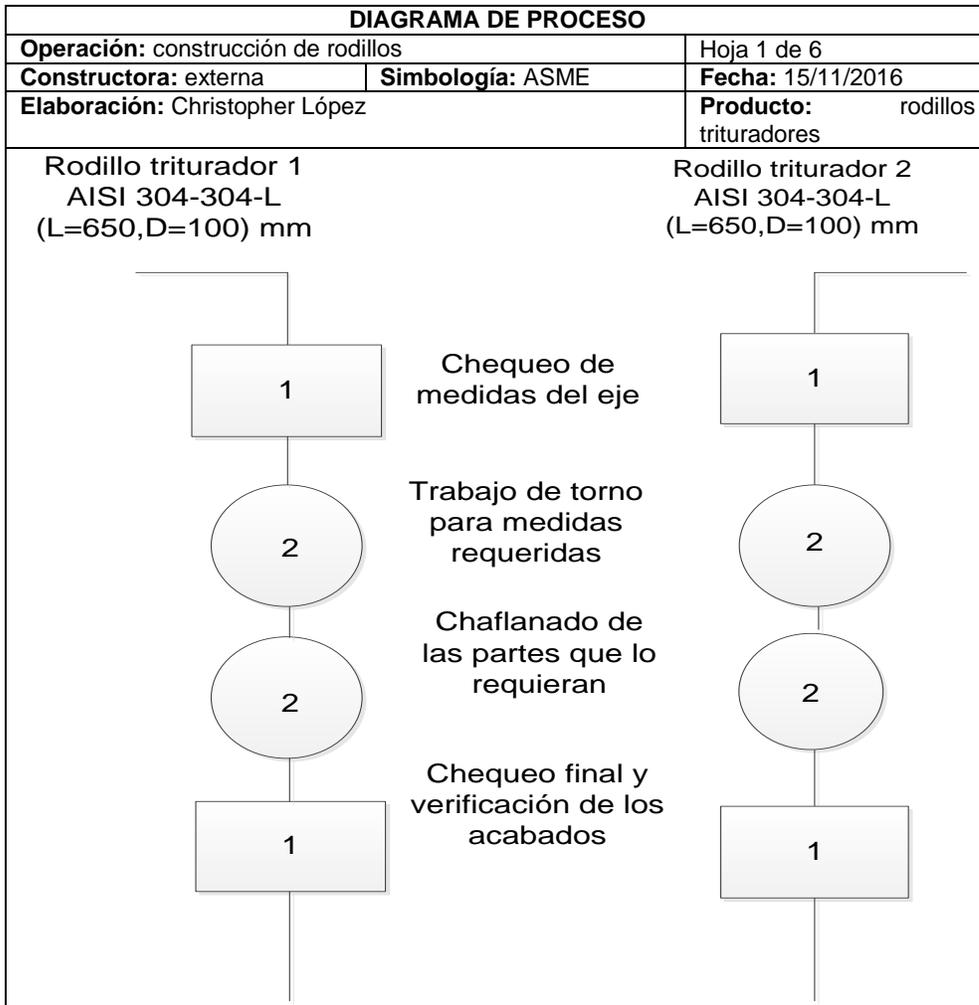


Fuente: elaboración propia.

### 2.2.12. Diagrama de ensamble

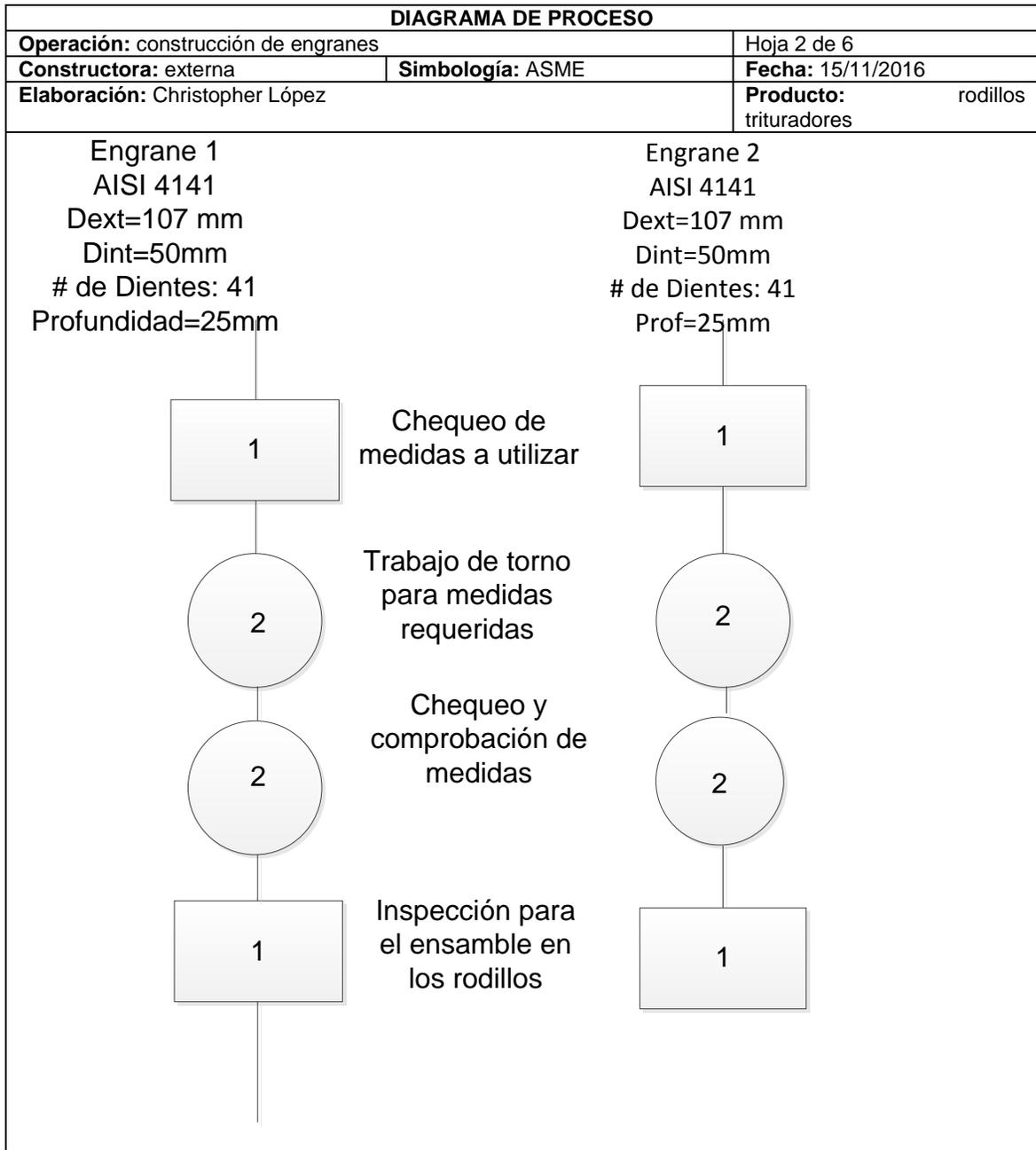
En esta parte se representa por medio de diagramas una guía para la construcción de la máquina trituradora de sal para dar a conocer los procesos más importantes que permitan el desarrollo del diseño.

Tabla XV. **Construcción de rodillos**



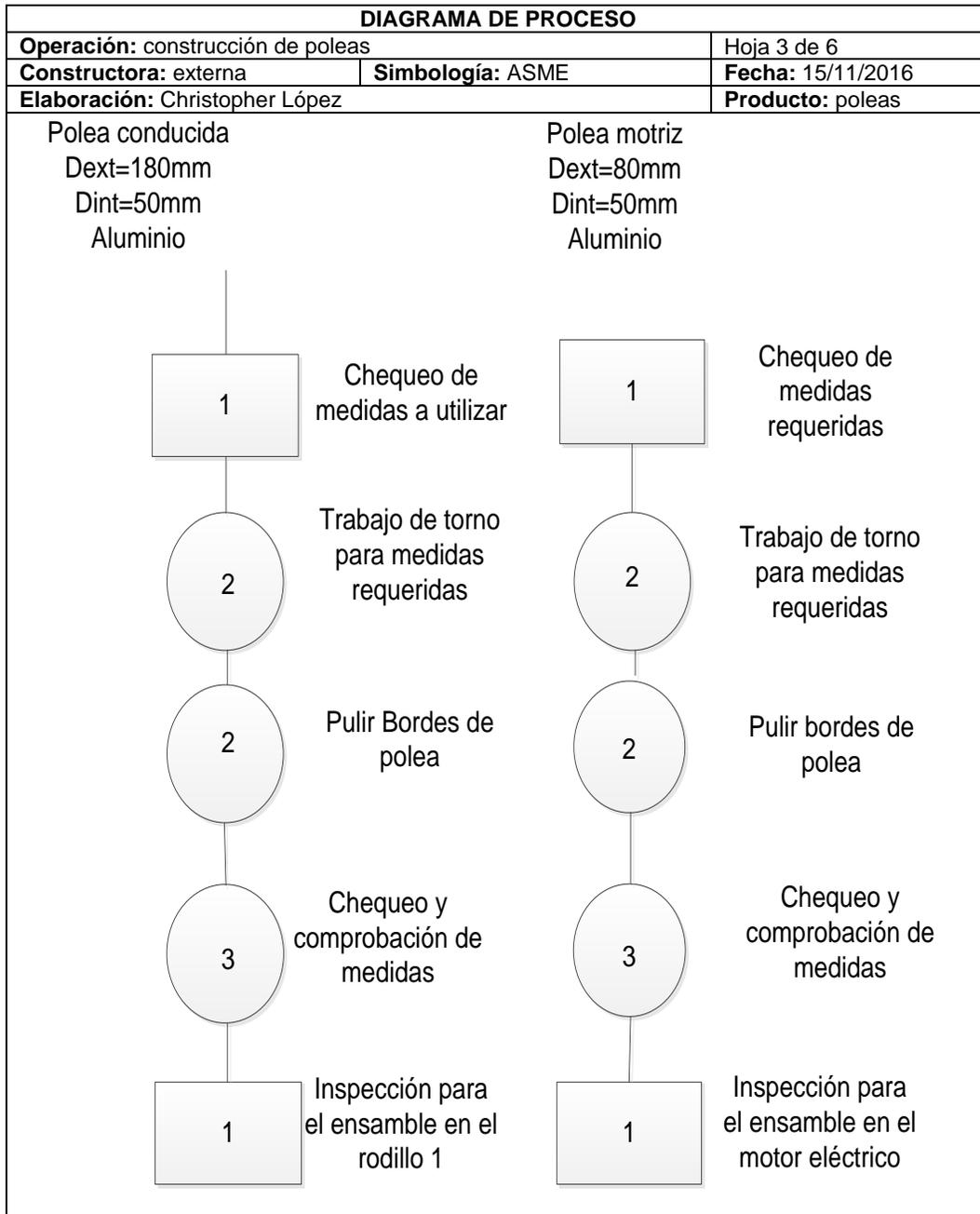
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XVI. Construcción de engranes



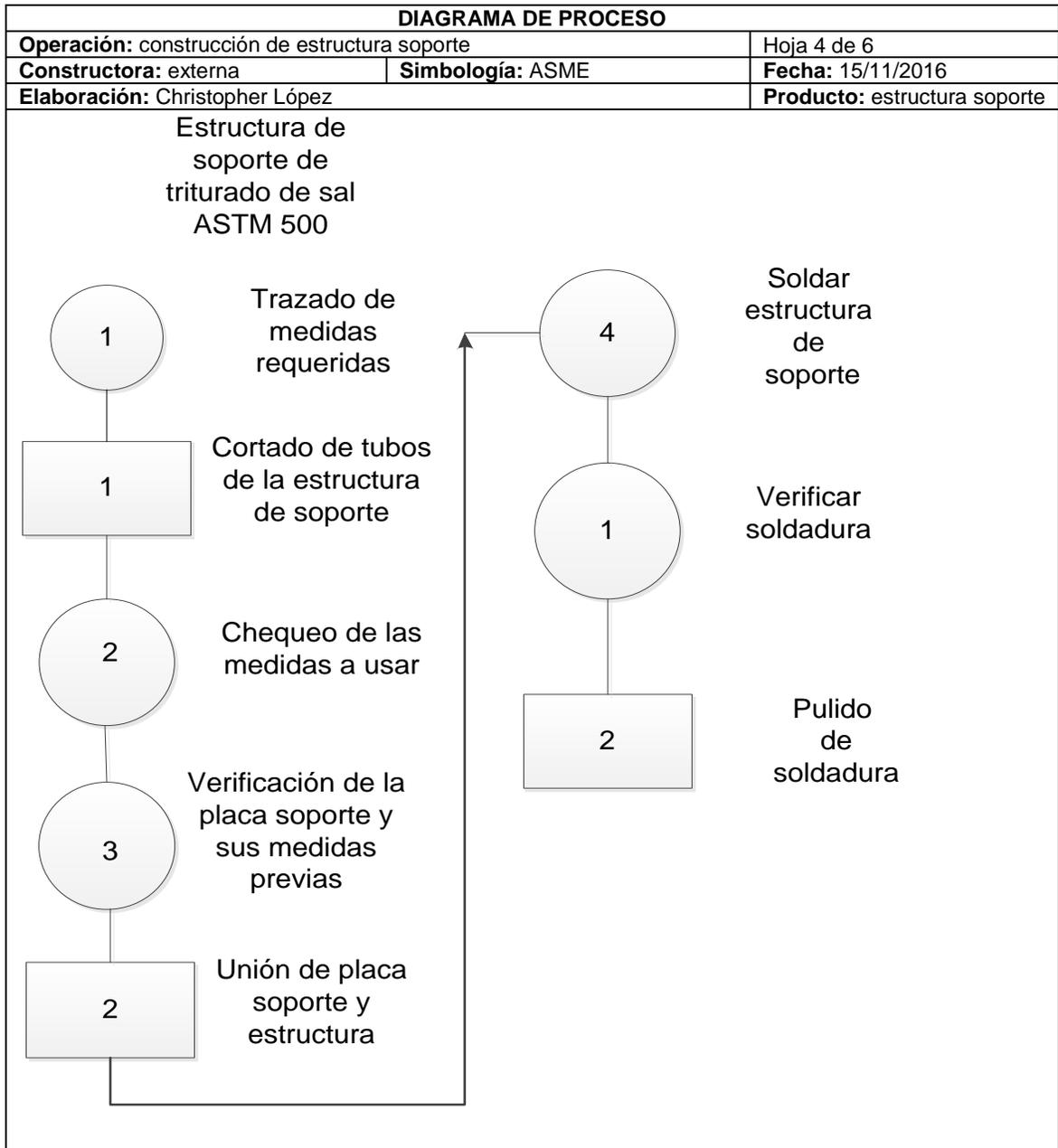
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XVII. Construcción de poleas



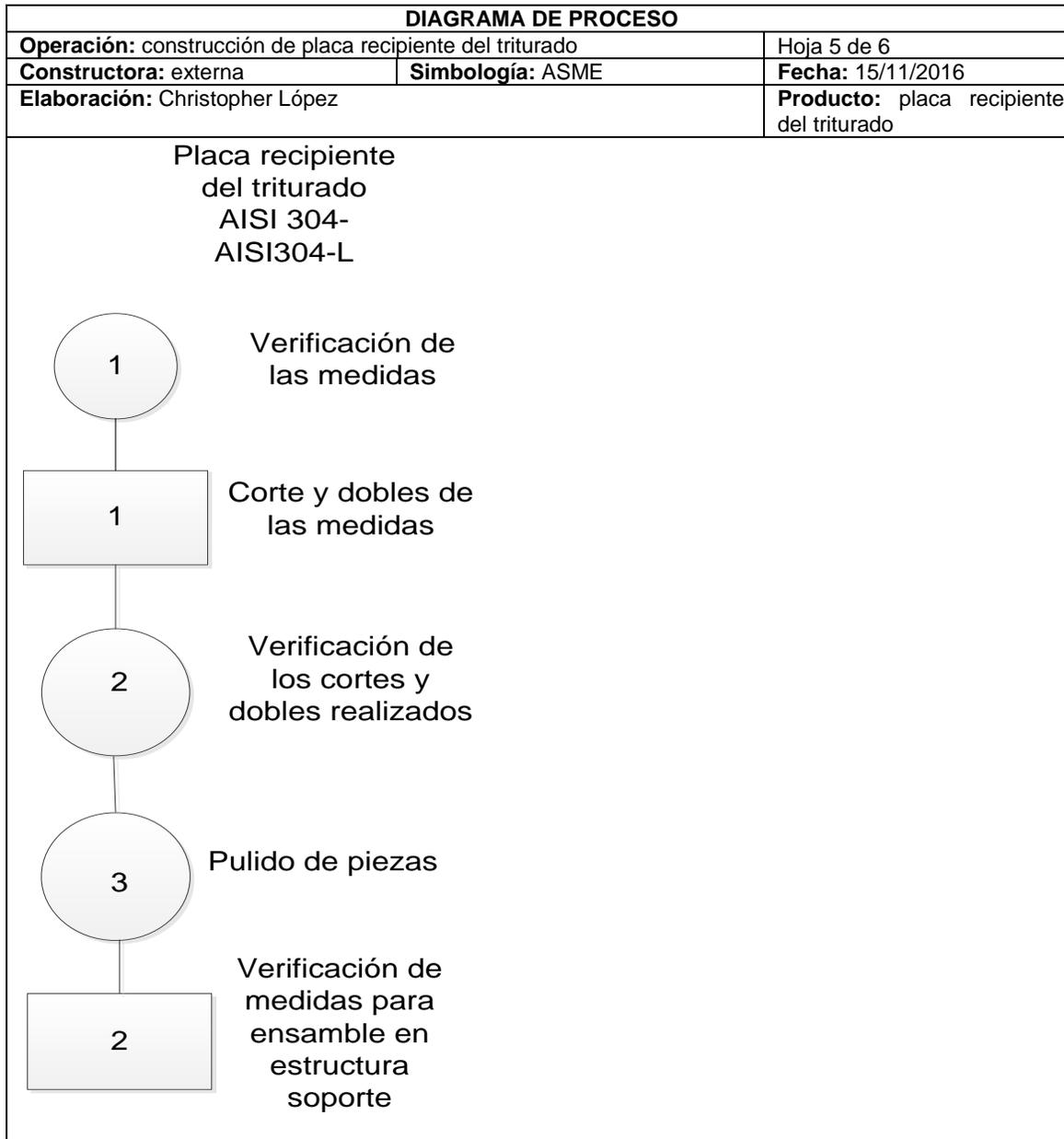
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XVIII. **Construcción de estructura soporte**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XIX. Construcción de placa recipiente



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

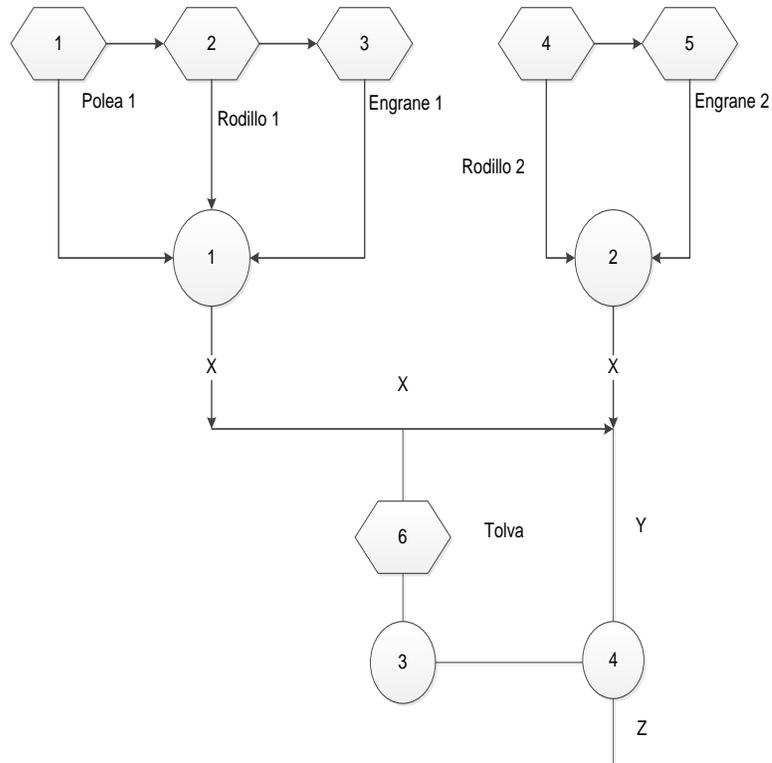
Tabla XX. **Construcción de tolva**

DIAGRAMA DE PROCESO		
Operación: construcción de tolva		Hoja 6 de 6
Constructora: externa	Simbología: ASME	Fecha: 15/11/2016
Elaboración: Christopher López		Producto: tolva

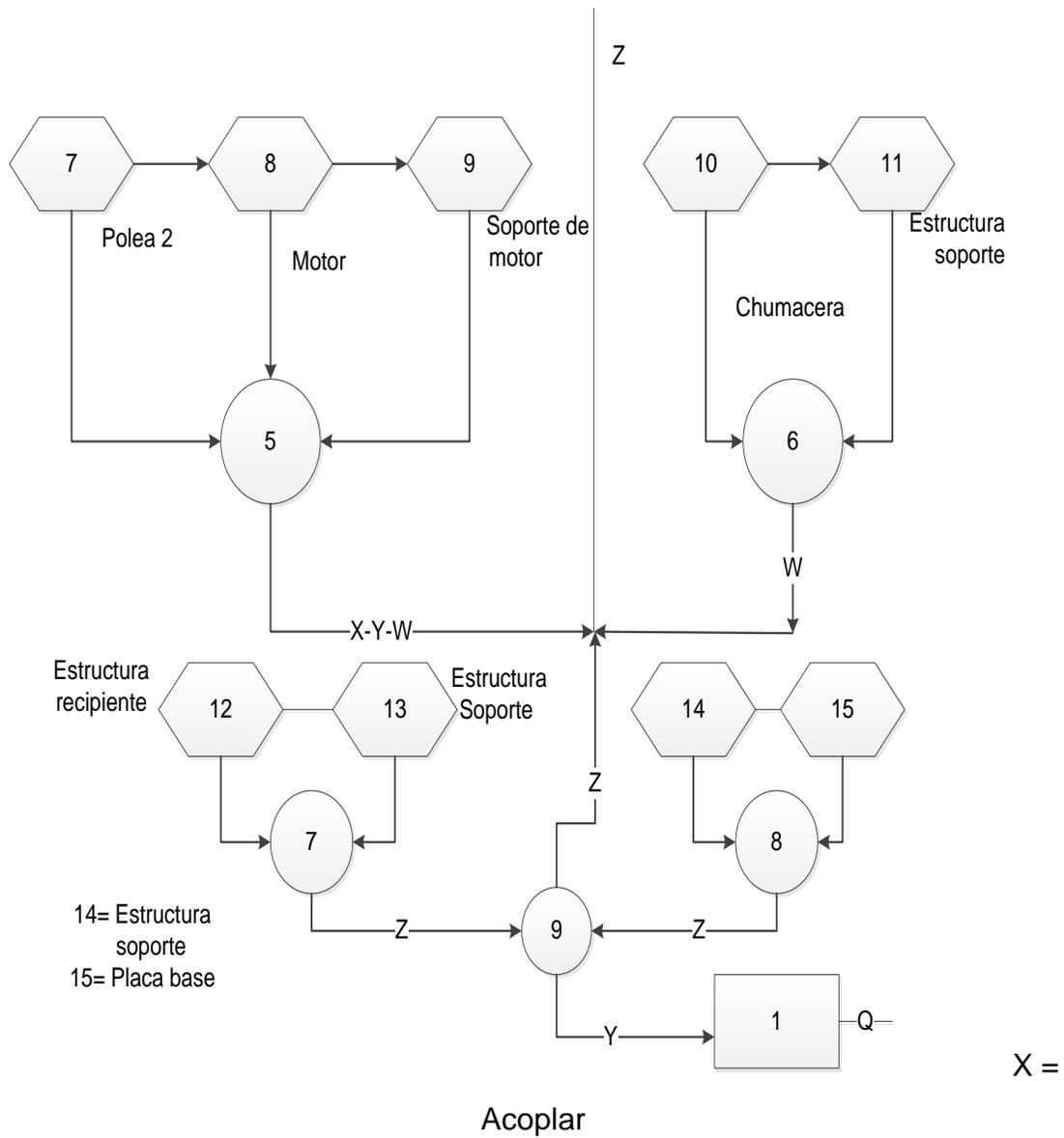
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

Ahora que se tienen elaborados los diagramas de varios procesos por separado, se enfocará en el ensamble en sí de la máquina trituradora de sal detallando en el siguiente diagrama de flujo la lógica ya sea del armado, soldado de las partes para un eficaz desarrollo en el ensamble. Se utilizará la siguiente simbología para expresar lo que se desea llevar a cabo:

Figura 49. **Diagrama de ensamble de la máquina**



Continuación de la figura 49.



- Y = unir
- Z = soldar
- W = tornillos para unión
- Q = inspección de ensamblaje

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXI. **Engrane de potencia o motriz**

Ficha técnica de medidas		Engrane 1	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: AISI 4340	Denominación: engrane de potencia o motriz	Cantidad: 1	Chaveta: R 8 x 7 x 38 DIN 6886, con profundidad del chavetero de: 4+0,2 y profundidad del cubo de: 2,4 + 0,2.

Hojas

Diámetro primitivo: 102[mm]	Diámetro exterior: 107[mm]	Módulo: 2,5
Paso circular: 7,85[mm]	Espesor de diente: 3,92[mm]	Núm. De dientes: 41
Altura del diente: 5,41[mm]	Diámetro interno: 96,16[mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXII. **Polea conducida**

Ficha técnica de medidas		Polea 1	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: aluminio	Denominación: polea conducida	Cantidad: 1	Chaveta: R 8 x 7 x 30 DIN 6886, con profundidad del cubo de: 2,4 + 0,2

Diámetro interno: 50 [mm]	Diámetro externo: 80 [mm]
Longitud de banda: 751,4496 [mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXIII. **Engrane conducido**

Ficha técnica de medidas		Engrane 2	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: AISI 4340	Denominación: engrane conducido	Cantidad: 1	Chaveta: R 8 x 7 x 38 DIN 6886, con profundidad del chavetero de: 4 + 0,2 y profundidad del cubo de: 2,4 + 0,2.
Diámetro primitivo: 102[mm]		Diámetro exterior: 107[mm]	
Paso circular: 7,85[mm]		Espesor de diente: 3,92[mm]	
Altura del diente: 5,41[mm]		Diámetro interno: 96,16[mm]	
		Módulo: 2,5	
		Núm. De dientes: 41	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXIV. **Polea motriz**

Ficha técnica de medidas		Polea 2	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: aluminio	Denominación: polea motriz	Cantidad: 1	Chaveta: R 8 x 7 x 30 DIN 6886, con profundidad del cubo de: 2,4 + 0,2

Diámetro interno: 50 [mm]	Diámetro externo: 80,08 [mm]
Longitud de banda: 751,4496 [mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXV. **Rodillo motriz**

Ficha técnica de medidas		Rodillo 1	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: AISI 304 AISI 304-L	Denominación: rodillo motriz	Cantidad: 1	Rodillos con fresado o dentado elaborado de acero inoxidable para la trituración
Diámetro interno: 50[mm]	Diámetro externo: 100[mm]	Largo: 650[mm]	
Largo triturador: 500[mm]	Chaflan: 45°	Espesor de chaflan: 1[mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXVI. **Rodillo conducido**

Ficha técnica de medidas		Rodillo 2	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: AISI 304 AISI 304-L	Denominación: rodillo conducido	Cantidad: 1	Rodillos con fresado o dentado elaborado de acero inoxidable para la trituración
Diámetro interno: 50[mm]	Diámetro externo: 100[mm]	Largo: 650[mm]	
Largo trituradora: 500[mm]	Chaflán: 45°	Espesor de chaflán: 1[mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXVII. Recipiente de triturado

Ficha técnica de medidas		Estructura de recipiente	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: AISI 304 AISI 304-L	Denominación: recipiente de triturado	Cantidad: 1	Recipiente de triturado unido por soldadura a la estructura de soporte directamente
Pestaña superior: 50[mm]		Ancho triturado: 650[mm]	Angulo: 45°
Grosor de lámina: 3 [mm]		Largo: 450[mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXVIII. Tolva de ingreso para triturado

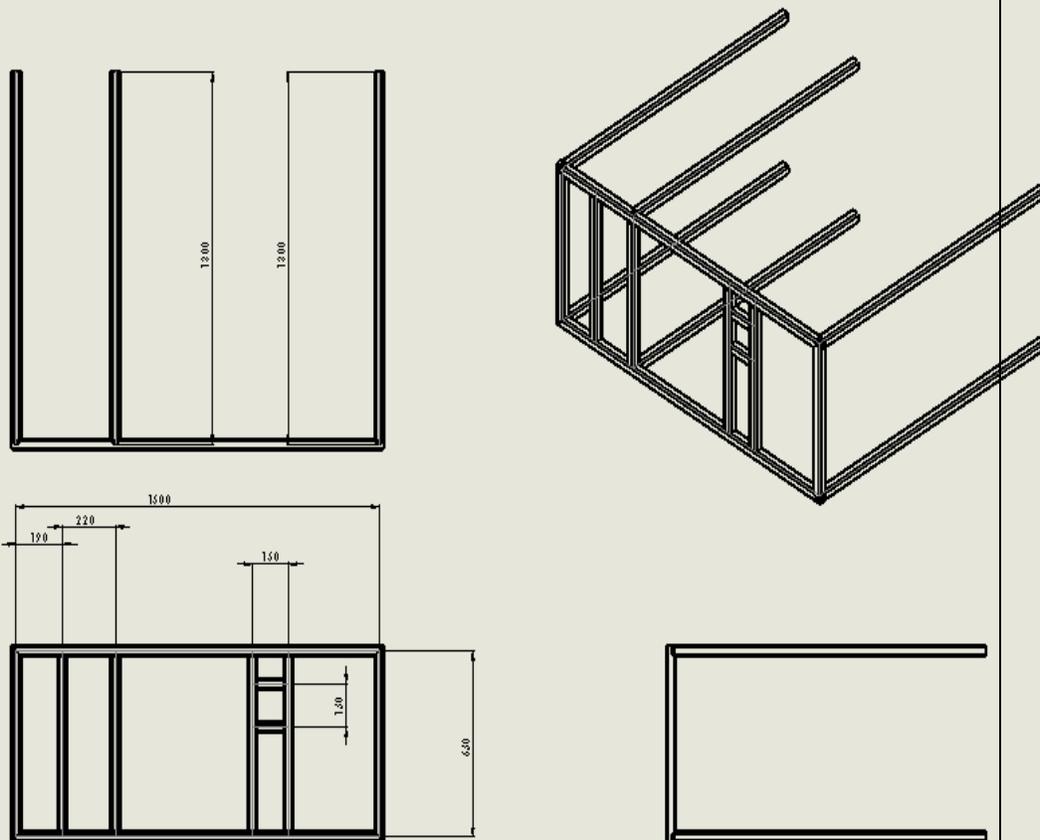
Ficha técnica de medidas		Tolva	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: AISI 304 AISI 304-L	Denominación: tolva de ingreso para triturado	Cantidad: 1	Tolva soldada directamente en la base superior donde se encuentran alojados los rodillos ensamblados con sus chumaceras respectivas
Altura total: 350[mm]	Ancho de base: 513[mm]	Largo de base: 238[mm]	
Angulo: 25°		Espesor de lámina: 3[mm]	

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Tabla XXIX. Estructura de soporte

Ficha técnica de medidas		Estructura soporte	
Nombre de la máquina: trituradora de sal		Diseñado por: Christopher López	
Material: ASTM 500	Denominación: estructura de soporte	Cantidad: 1	Estructura de soporte soldada totalmente y unida a la placa base soporte para su fijación por medio de tornillos



Altura total: 1300[mm]	Ancho de base: 650[mm]	Largo de base: 1500[mm]
------------------------	------------------------	-------------------------

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

## **2.3. Manual de mantenimiento de la máquina**

La máquina trituradora de sal como cualquier otra con piezas mecánicas necesitará de un mantenimiento cuyo objetivo será alargar la vida de las piezas para su correcto funcionamiento. Ya que la máquina en la mayoría de sus partes estará en contacto con la sal que es un producto corrosivo, se deberá tomar en cuenta el porcentaje de humedad al cual los granos de sal ingresarán para el triturado, la temperatura ambiente etc. Todos estos criterios ayudarán en el mantenimiento como base para su óptimo desempeño.

### **2.3.1. Generalidades del mantenimiento**

Como se había mencionado en el punto 1.3.5., se define el mantenimiento como: todas las acciones que tienen como objetivo preservar un equipo, máquina para que vuelva a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Como se sabe existen diferentes métodos para el mantenimiento de una maquinaria en sí que facilita el trabajo y en este caso se enfocará en 3 métodos sumamente eficientes en la industria:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

#### **2.3.1.1. Mantenimiento correctivo**

Es toda aquella actividad que se realice en alguna máquina de una planta, que a consecuencia de alguna falla mecánica haya dejado de prestar servicio para el cual fue diseñada. Se sabe que los mantenimientos correctivos son aquellos que son planificados, es decir, que son reportados con anterioridad

debido a una inspección previa. Al presentarse una falla en la máquina o en las máquinas de una planta, se procederá a realizar la reparación correspondiente. Las funciones del mantenimiento correctivo son:

- Reparar alguna anomalía o avería que se presenta en los equipos, si lo amerita con el reemplazo total de la pieza dañada o el cambio del diseño y alejar así al máximo su posible aparición con el tiempo nuevamente.
- Si lo requiera la distribución de los equipos o maquinarias que puedan facilitar el libre acceso para su revisión con el fin de mantener la calidad del producto que exige la empresa.

Los pasos a seguir para realizar un mantenimiento correctivo:

- La identificación el problema y la posible causa.
- Identificar las alternativas para su reparación.
- Por medio de una evaluación por ventajas y desventajas realizar la que mejor convenga para su puesta en marcha.
- Realizar el mantenimiento o reparación necesaria para su pronto funcionamiento.

### **2.3.1.2. Mantenimiento preventivo**

Es la conservación planeada de una máquina que tiene principalmente como característica conocer cuál es el estado de una máquina de una planta para que en su momento adecuado y que no genera altos gastos de mantenimiento se pueda llevar a cabo la reparación de averías o algún tipo de problema mecánico que pueda llevar a su mal funcionamiento. La función es disminuir todo gasto económico y físico la máquina. Este mantenimiento se

realiza por medio de un programa con actividades de: revisión, lubricación, reporte, previamente establecido con el fin de la anticipación de alguna falla que afecte a la máquina.

Este mantenimiento se basa en el estudio de las necesidades de cada máquina en su vida útil de producción para verificar cuales son las que se deben realizar en marcha y así como las que se deben hacer en estado fuera de marcha.

Entre las actividades a realizar del mantenimiento preventivo podemos mencionar:

- Observación y verificación

Esta se puede definir como la inspección periódica de la maquinaria para comprobar el estado de la misma, permite darle el seguimiento correspondiente para corrección de anomalías antes de que genere la falla y el mal funcionamiento total de la máquina.

Estas inspecciones deberán realizarse con frecuencia para que se pueda crear un historial para el departamento de mantenimiento. Deberemos tomar en cuenta por igual la edad del equipo, tipo de equipo, el ambiente a el cual está realizándose el trabajo y cualquier otro dato que pueda enriquecer el historial de la máquina para su óptimo desempeño sin interrupciones.

- Revisión

Esta consiste en algún paro repentino que no llegue a producir ningún atraso significativo en la producción en lo posible, en la mayoría de los casos se

recomienda que no se proceda a el paro definitivo de la máquina. Existen algunos procesos que se pueden destacar en la revisión:

- Se desmontan las partes de la máquina para la reparación debido a la inspección ya realizada.
- Se toma como base la inspección previa para reparar alguna anomalía y las que se encuentran en la revisión.
- Se reemplazan los elementos que por su funcionamiento ya requieran cambio completo de la pieza con lo que se estableció previamente.
- La preparación previa del cambio de la pieza o del mantenimiento se tiene que realizar con anticipación ya sea con la herramienta y todo equipo necesario para disminuir el tiempo de reparación.
- Se recomendará que para la revisión se tenga personal capacitado para dichas tareas con el fin de ser eficientes en la necesidad de la máquina.
- Estas revisiones se podrán realizar por medio de un programa para que se puedan minimizar los problemas de producción si así se requiere.
- Lubricación

La lubricación de una máquina si así lo requiere es una parte fundamental que mantendrá en servicio durante largos períodos de tiempo. Esta cambiará las características de fricción de elementos que estén sujetos, como la reducción de desgaste en la superficie de los elementos de la máquina, usando claro está el lubricante adecuado.

- Limpieza

Se deberá tomar en cuenta no solo la lubricación de la máquina sino el ambiente donde estará sujeta y procurar reducir en lo más mínimo su deterioro por medio de limpieza externa de la máquina, limpieza de las instalaciones, señalización, el cual delimita las zonas donde se pueda transitar sin interrumpir el funcionamiento de la máquina, pintura especial para el tratamiento en la corrosión, etc.

El mantenimiento preventivo no es un remedio para todos los problemas que una máquina llegue a tener, pero es una organización sistemática para algo que ya se venía haciendo como lo es el reclutamiento de datos de un proceso. Esta por su parte deberá ser respaldada por elementos como:

- Documento de la propuesta de máquina trituradora de sal
- Manual de construcción de la máquina trituradora de sal
- Planos o fichas técnicas de la máquina
- Cálculos o variaciones en los diseños para la mejora en su desempeño
- Experiencia en el personal de mantenimiento
- Material y herramienta para el mantenimiento

El mantenimiento preventivo se define como planeación a todo requerimiento importante para su ejecución pues esta son las bases para generar las actividades para el mantenimiento de la máquina o cualquier instalación. Esta es la mayor exactitud con la cual se desea llegar a una meta que en este caso es la reparación óptima de la maquinaria con el recurso humano capacitado disponible que se tenga de manera funcional. Cabe mencionar que la programación es el punto donde se debe realizar dicho mantenimiento, realizando previo una planificación donde se tiene en cuenta la

producción, la disponibilidad de repuestos o material a usar, mano de obra calificada para evitar el atraso en la producción.

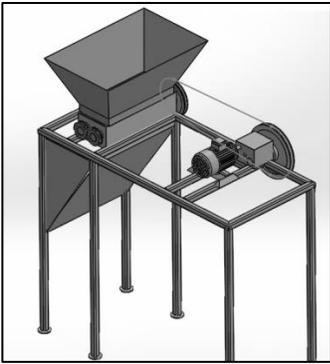
### **2.3.1.3. Mantenimiento predictivo**

Este mantenimiento en particular, se da con ensayos no destructivos o mediciones y equipos especializados el análisis de partes que sean muy costosos y que puedan fallar de forma imprevista, que puedan arriesgar la integridad de la máquina y de los operarios. Estos se realizan en la mayoría de los casos en marcha para evitar paros de producción.

### **2.3.2. Fichas técnicas**

Una ficha técnica, es la encargada en describir las características en medidas y funciones de una máquina, que para nuestro caso nos sirve al momento de una verificación de datos relacionados con la misma, con el fin de obtener correcciones que se requieran al momento de un mantenimiento.

Tabla XXX. Ficha técnica de máquina

Ficha técnica de máquina		Universidad San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Mecánica	
Realizado por: Christopher López		Fecha: 15/11/2016	
Máquina o equipo: trituradora de sal		Código de inventario:	Ubicación:
Fabricante:	Taller:	Marca:	
Características generales			
Peso: 397,71 [kg]		Altura: 1900 [mm]	
Largo: 1500 [mm]		Ancho: 650 [mm]	
<p>Características Técnicas: Potencia requerida 1 [hp]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de triturado 1 tonelada/hora</li> <li>• Motorreductor de 200 [rpm]</li> <li>• Acero estructural astm500</li> <li>• Tolva fabricada de acero inoxidable AISI 304 AISI 304-L</li> <li>• Polea motriz y conducida fabricada de aluminio</li> <li>• Rodillo motriz y conducido fabricado de acero inoxidable AISI 304 AISI 304-L</li> <li>• Engranajes motriz y conducido fabricados de acero AISI 4340</li> <li>• Chaveta fabricada de acero inoxidable al carbono</li> <li>• Chumaceras de fundición gris</li> <li>• Estructura de recipiente de triturado fabricado de acero inoxidable AISI 304 AISI 304-L</li> <li>• Accionada por medio de banda trapezoidal conectada por medio de poleas de transmisión</li> </ul>		<p>Función:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dicha máquina trituradora, será el de atrapar por medio de una caída vertical, la sal que será nuestra materia prima hacia 2 cilindros trituradores, que a su vez por medio de movimiento rotacional desarrollarán una velocidad proveniente de un motor de corriente eléctrica y que por medio de la separación dada procedan a la disminución del cristal de sal a un aproximado de (2,00-1,00) [mm] de diámetro que es la ideal para consumo humano o la comúnmente llamada sal de cocina.</li> <li>• La máquina trituradora se utiliza principalmente para reducción de granos, dependiendo del tipo de grano, que se desea trabajar así serán las condiciones de funcionamiento de la misma.</li> </ul>	
			
Fecha de mantenimiento:			

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

### **2.3.3. Rutinas de mantenimiento**

Se sabe con anterioridad que la unidad en sí es una trituradora de sal, además, se tienen en cuenta las partes o piezas que comprende dicha máquina, por lo tanto, es de suma importancia mantener en óptimo funcionamiento dichas partes.

Los operarios serán los responsables de alargar la vida útil del sistema y por tanto dependerá con qué frecuencia se deberá aplicar una rutina de mantenimiento requerida.

Se conocerá también que procesos son los que se le realizarán al momento de su mantenimiento, ya debe estar establecido un procedimiento adecuado para cada parte de la máquina para evitar tiempos muertos que retrasen el paro de la máquina y los costos de mantenimiento se eleven.

Por tanto, se presenta a continuación las fichas de rutinas de mantenimiento de la máquina trituradora de sal.

Tabla XXXI. Rutina de motor eléctrico

<b>Rutina de mantenimiento</b>			<b>Núm.:</b>		<b>Página:</b>	
trituradora de sal						
<b>Fecha de inicio:</b>		<b>Hora de inicio:</b>		<b>Fecha de terminado:</b>		
<b>Elemento de máquina:</b> motor eléctrico		<b>Proceso a realizar:</b>				
<b>Frecuencia</b>	<b>Semanal (S)</b>	<b>Mensual (M)</b>	<b>Trimestral (T)</b>	<b>Semestral (S)</b>	<b>Anual (A)</b>	
<b>Personal encargado del mantenimiento</b>						
<b>Jefe de mantenimiento:</b>						
<b>Operario:</b>						
<b>Contratista:</b>			<b>Frecuencia</b>			
<b>NÚM.</b>	<b>Actividad</b>	<b>Aprobado/ Núm aprobado</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>S A</b>
1.	Limpieza exterior		X			
2.	Medir temperatura		X			
3.	Lubricación de rodamientos			X		
4.	Lectura de vibración en rodamientos			X		
5.	Revisar conexiones eléctricas		X			
6.	Medir aislamiento				X	
7.	Tomar voltaje y amperaje		X			
8.	Revisar sellos				X	
9.	Verificar eje de transmisión		X			
10.	Verificar ruidos		X			
11.	Ajustar tornillos de fijación		X			
12.	Limpieza de estador					X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Rutina de motorreductor

Rutina de mantenimiento					Núm.:		Página:		
trituradora de sal									
Fecha de inicio:			Hora de inicio:			Fecha de terminado:			
Elemento de máquina: motorreductor			Proceso a realizar:						
Frecuencia		Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)		Anual (A)		
Personal del mantenimiento									
Jefe de mantenimiento:									
Operario:									
Contratista:				Frecuencia					
Núm.	Actividad		Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Torque de tornillos de fijación					X			
2.	Fugas de lubricante				X				
3.	Nivel del lubricante			X					
4.	Temperatura de servicio			X					
5.	Vibraciones inusuales						X		
6.	Ruidos internos inusuales							X	
7.	Limpieza exterior				X				
8.	Revisar sellos			X					
9.	Verificar eje de transmisión							X	
10.	Verificación de corrosión			X					
11.	Lubricación de rodamientos							X	
12.	Cambio de aceite					X			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Rutina de rodillo motriz

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: rodillo motriz		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)		Anual (A)		
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:				Frecuencia				
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Revisar alineación de rodillos			X				
2.	Revisar corrosión		X					
3.	Lubricación de rodamientos				X			
4.	Revisar vibraciones			X				
5.	Revisar desgaste de rodillos				X			
6.	Revisar rodamientos		X					
7.	Separación de rodillos					X		
8.	Fisuras						X	
9.	Verificar eje de transmisión				X			
10.	Tornillos de fijación de placa			X				
11.	Ajuste de tornillos			X				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. Rutina de rodillo conducido

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina:		Proceso a realizar:						
rodillo conducido								
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)	Anual (A)			
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Revisar alineación de rodillos			X				
2.	Revisar corrosión		X					
3.	Lubricación de rodamientos			X				
4.	Revisar vibraciones		X					
5.	Revisar desgaste de rodillos				X			
6.	Revisar rodamientos		X					
7.	Separación de rodillos					X		
8.	Fisuras						X	
9.	Verificar eje de transmisión				X			
10.	Tornillos de fijación de placa			X				
11.	Ajuste de tornillos			X				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Rutina de engrane motriz

Rutina de mantenimiento				Núm.:			Página:	
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: engrane motriz				Proceso a realizar:				
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)	Anual (A)			
Personal encargado del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:				Frecuencia				
Núm.	Actividad	Aprobado/ Núm. Aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Lubricación de dientes		X					
3.	Verificar fisuras de engrane			X				
4.	Revisar vibraciones				X			
5.	Verificar desgaste					X		
6.	Verificar oxidación		X					
7.	Verificar medidas						X	
8.	Verificar alineación				X			
9.	Verificar eje de transmisión			X				
10.	Verificar tornillos de fijación				X			
11.	Ajustar tornillos de fijación				X			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Rutina de engrane conducido

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: engrane conducido			Proceso a realizar:					
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)	Anual (A)			
Personal encargado del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. Aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Lubricación de dientes		X					
3.	Verificar fisuras en los dientes			X				
4.	Revisar vibraciones				X			
5.	Verificar desgaste					X		
6.	Revisar rodamientos		X					
7.	Verificar oxidación						X	
8.	Verificar alineación				X			
9.	Verificar eje de transmisión			X				
10.	Verificar tornillos de fijación				X			
11.	Ajustar tornillos de fijación				X			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Rutina de polea motriz

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: polea motriz		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)		Anual (A)		
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Revisar fisuras			X				
3.	Verificar alineación				X			
4.	Revisar vibraciones		X					
5.	Verificar pandeo				X			
6.	Verificar corrosión			X				
7.	Verificar dimensiones						X	
8.	Verificar eje de transmisión						X	
9.	Verificar desgaste producido por bandas					X		
10.	Tornillos de fijación			X				
11.	Ajuste de tornillos			X				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. Rutina de polea conducida

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina:		Proceso a realizar:						
polea conducida								
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)	Anual (A)			
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Revisar fisuras			X				
3.	Verificar alineación				X			
4.	Revisar vibraciones		X					
5.	Verificar pandeo				X			
6.	Verificar corrosión			X				
7.	Verificar dimensiones						X	
8.	Verificar eje de transmisión						X	
9.	Verificar desgaste producido por bandas					X		
10.	Tornillos de fijación			X				
11.	Ajuste de tornillos			X				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Rutina de tolva de ingreso

Rutina de mantenimiento				Núm:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: tolva de ingreso		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)	Anual (A)			
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Revisar unión de soldaduras				X			
3.	Verificar fisuras en las planchas			X				
4.	Revisar vibraciones					X		
5.	Verificar pandeo					X		
6.	Revisar dobleces realizados				X			
7.	Desgaste de lamina			X				
8.	Verificar oxido					X		
9.	Verificar grosor de lámina						X	
10.	Tornillos de fijación		X					
11.	Ajuste de tornillos		X					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. Rutina de chumaceras

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: chumacera		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)	Anual (A)			
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Revisar temperatura de funcionamiento			X				
3.	Lubricación de rodamientos			X				
4.	Revisar vibraciones				X			
5.	Verificar oxidación					X		
6.	Verificar rodamientos						X	
7.	Verificar pandeo						X	
8.	Verificar sellos		X					
9.	Verificar eje de transmisión				X			
10.	Tornillos de fijación		X					
11.	Ajuste de tornillos		X					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Rutina de recipiente de triturado

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: recipiente de triturado		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)		Anual (A)		
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Revisar unión de soldadura			X				
3.	Verificar oxidación		X					
4.	Revisar vibraciones				X			
5.	Verificar fisuras			X				
6.	Verificar grosor de lámina					X		
7.	Verificar desgaste inusual			X				
8.	Verificar dobleces de lamina						X	
9.	Verificar recubrimiento exterior						X	
10.	Reemplazo de pieza						X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Rutina de estructura soporte

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: estructura soporte		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)		Anual (A)		
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:			Frecuencia					
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Verificar soldadura			X				
3.	Verificar oxidación			X				
4.	Revisar vibraciones				X			
5.	Verificar unión de placa soporte						X	
6.	Verificar uniones					X		
7.	Verificar medidas						X	
8.	Verificar pandeo				X			
9.	Verificar tornillos de anclaje			X				
10.	Ajustar tornillos de anclaje			X				
11.	Verificar fisuras		X					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. Rutina de banda de transmisión

Rutina de mantenimiento				Núm.:		Página:		
trituradora de sal								
Fecha de inicio:		Hora de inicio:		Fecha de terminado:				
Elemento de máquina: banda de transmisión		Proceso a realizar:						
Frecuencia	Semanal (S)	Mensual (M)	Trimestral (T)	Semestral (S)		Anual (A)		
Personal del mantenimiento								
Jefe de mantenimiento:								
Operario:								
Contratista:				Frecuencia				
Núm.	Actividad	Aprobado/Núm. aprobado	S	M	T	S	A	Observaciones
1.	Limpieza exterior		X					
2.	Verificar agrietamientos			X				
3.	Verificar medida				X			
4.	Verificar desgaste			X				
5.	Verificar tensión				X			
6.	Verificar grosor					X		
7.	Verificar ajuste con polea motriz			X				
8.	Verificar ajuste con la polea conducida			X				
9.	Verificar desprendimiento de partículas						X	
10.	Reemplazo de banda						X	

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.4. Proceso de mantenimiento

En esta parte se establecerá de acuerdo con las partes mecánicas de la máquina trituradora de sal, las posible causas y soluciones de alguna parte mecánica que se considere no apta para el buen funcionamiento de la misma como también los métodos de chequeo para el buen desempeño de la máquina.

Dicha información será de utilidad para todo personal encargado de maquinaria especificada o bien el departamento de mantenimiento que serán los responsables del buen funcionamiento de la máquina trituradora de sal.

A continuación, se presenta la herramienta que en la mayoría de los casos será de utilidad para el mantenimiento de las partes a mencionar:

- Voltímetro
- Amperímetro
- Cepillo de alambre
- Pinzas, alicates, extractores de seguros, etc.
- Juego de destornilladores
- Herramientas ajustables
- Compresor de aire
- Escuadra a 90°
- Solventes dieléctricos
- Brocha
- Juego de llaves cola corona (mixtas)
- Juego de copas milimétricas (mixtas)
- Torquímetro
- Maneral
- Ratch
- Cinta métrica
- Solvente para limpieza de piezas
- Martillo
- Punzón
- Grasa lubricante
- Estetoscopio

- Prensa hidráulica
- Prensa de banco manual
- Extractores de poleas
- Lijas para metal
- Vernier
- Micrómetro

#### **2.3.4.1. Mantenimiento de motor eléctrico**

Se deberá tener en cuenta el ambiente donde se encuentre el motor eléctrico, estos no necesitarán un mantenimiento frecuente, pero se deberán cuidar los aspectos básicos como la limpieza para que esté libre de cualquier contaminante externo que pueda afectar el uso. La frecuencia de dicho proceso será de mínimo una vez al mes o bien como el departamento de mantenimiento lo requiera conveniente.

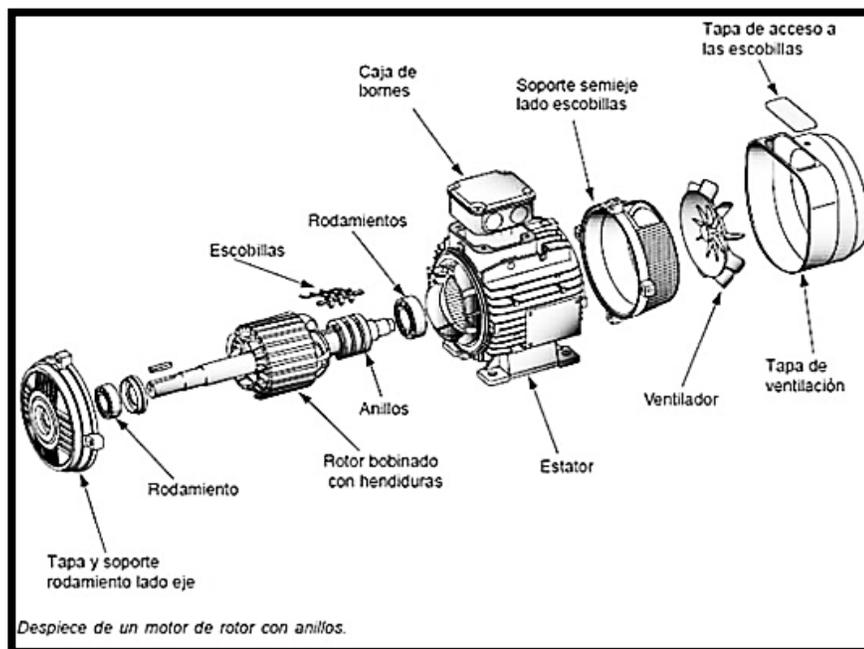
##### **2.3.4.1.1. Proceso de mantenimiento de motor eléctrico**

- Se deberá tener a un técnico eléctrico certificado para el proceso.
- Cuando se utilice aire comprimido, el mismo debe de estar sin humedad para no afectar las partes internas del motor.
- Para motores eléctricos siempre se deberán utilizar solventes dieléctricos para su seguridad.
- Al momento de manejar el motor eléctrico se deberá desconectar toda corriente eléctrica.

- Desmontar caja de conexiones y verificar si alguna posee alguna ruptura para su debida reparación en soldadura.
- Desmontar ventilador para la verificación visual de alguna fisura o ruptura que impida su buen funcionamiento y en su caso reemplazarlo si lo amerita.
- La carcasa que es el cuero del motor también debe ser desmontado para su limpieza con solvente dieléctrico y si lo ameritará recubrimiento con pintura.
- Inspección visual de la bobina, estator y rotor. Luego se procede a su limpieza con solvente dieléctrico y se recomienda el secado en horno con luz infrarroja.
- Inspección interior de las bobinas y ranuras. Lo que se tratará por medio de la inspección visual es que no hallan alambres sueltos ya que es la mayor fuente de corto circuito del motor eléctrico. Luego se procede con brocha y solvente dieléctrico a su limpieza.
- Se procede a verificar las chumaceras, los cojinetes del eje y el eje mismo y si lo amerita el rectificado o reemplazo para que no registre ninguna anomalía que puede deteriorar el motor.
- Se sabe que el 16 % de fallas en un motor eléctrico es por los rodamientos (cojinetes del eje), por ende, será sumamente importante la verificación y la lubricación o bien si lo amerita el reemplazo para el buen funcionamiento.

- Verificar los acoplamientos mecánicos en su totalidad con el fin de ajustarlo, lubricarlos, o bien si es necesario su reemplazo.
- Una vez limpiado internamente y verificado sus elementos por separado, se recomienda realizar una prueba auditiva con el fin de escuchar por medio de un estetoscopio alguna anomalía que influya en el deterioro del motor.
- Se recomienda también verificar el consumo de energía para garantizar el buen funcionamiento, de acuerdo con las especificaciones con un amperímetro de gancho realizar dicha media.

Figura 50. Partes de un motor eléctrico



Fuente: *Motores eléctricos*. <http://motoreselectricoscecytej.blogspot.com/>.

Consulta: 7 de noviembre de 2016.

#### **2.3.4.2. Mantenimiento de motorreductor**

Los motorreductores son comúnmente usados en máquinas en su mayoría de uso industrial para reducir a una velocidad específica un motor de forma eficiente y efectiva.

Estos son diseñados por medio de engranajes, dentados rectos, helicoidales, dentados con geometrías especiales para el funcionamiento de cada motor.

Sin estos no se podría garantizar el buen funcionamiento en las máquinas debido a que si se requiere una velocidad menor a la que el motor estaría generando, presentaría algún tipo de anomalía y falla.

Algunos aspectos o beneficios de un motorreductor son:

- Mayor eficiencia en la transmisión de potencia que suministra un motor eléctrico.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo costos en su mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor eficiencia en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los programas de mantenimiento para un motorreductor pueden variar dependiendo la carga de trabajo, pero se puede generar unos cronogramas semanales, cada 3 meses o incluso cada año para su correcta inspección.

- Semanal: revisar fugas del motorreductor, revisar el nivel de aceite.
- Trimestral: revisar la alineación del motorreductor, verificar algún ruido inusual con un estetoscopio en los rodamientos y engranes.
- Anual: revisión general del motorreductor, revisar carcasa, revisar rodamientos, engranas y piñones. Verificar los tornillos estén correctamente colocados, revisión de bomba de aceite y sus conductos.

#### **2.3.4.2.1. Proceso de mantenimiento de motorreductor**

- Se deberá tomar en cuenta que un motorreductor en su mayoría por los engranes, cojinetes y cualquier otro rodamiento, esta lubricado por medio de inmersión o impregnados de grasa localizados en la carcasa principal. Por lo tanto, como principal proceso es de verificar el nivel de lubricante antes de su puesta en marcha.
- Verificar la carcasa principal y observar alguna fisura o fuga que genere alguna fuga de lubricante.
- Verificar el orificio de ventilación ya que no debe tener alguna obstrucción.
- Respetar el uso del lubricante especificado con el fabricante.
- El uso del aceite lubricante por lo general se debe de realizar al menos las primeras 200 horas de trabajo de manera progresiva la primera vez

que se pone en marcha el mismo, realizando si lo requiere un lavado completo del motorreductor.

- Los cambios frecuentes del lubricante del motorreductor deberá estar sujeto a las especificaciones del fabricante que en la mayoría de los casos será a cada 2000 horas de trabajo.

#### **2.3.4.2.2. Fallas en los engranes del motorreductor**

Cuando en un motorreductor se genera una falla que en su mayoría podría ser producto de un engrane, hay que averiguar la causa que lo generó y en la mayoría de los casos se reemplazará totalmente una vez que la causa lo justifique. Estos fallos se generan en la mayoría por medio del tiempo o procesos que lentamente los van deteriorando, por ello es sumamente importante verificarlas con tiempo.

Estas pueden ser generadas por ruidos anormales, sobreesfuerzos, calentamientos excesivos, vibraciones o su destrucción parcial o total. Se presentan, a continuación, las fallas conocidas en los engranes con el fin de su detección temprana y reemplazo.

- Desgaste en la superficie

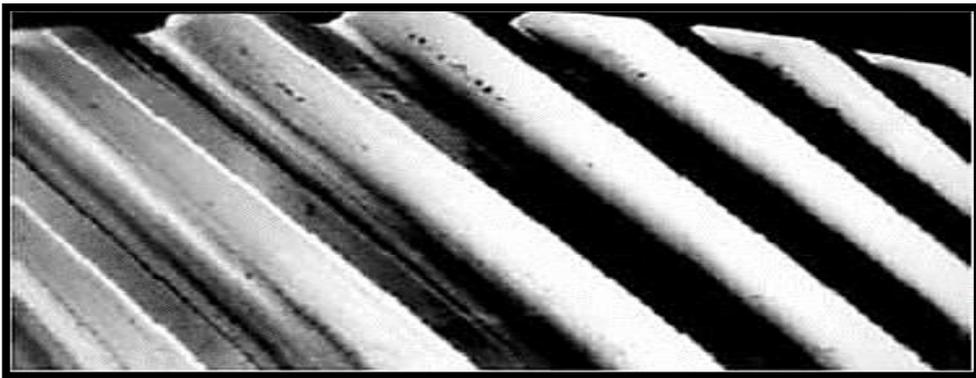
La mayoría de las fallas en los engranajes se generan por el desgaste en la superficie del mismo, a estos se le conocen como picaduras que es otro aspecto del deterioro. Esto es debido al contacto de cada uno de los engranes con los que están conectados entre sí en condiciones elastohidrodinámica por su condición en lubricación.

Esta por su parte se da cuando el engrane bajo una carga elevada rueda o se mueve a lo largo el camino de movimiento, generando un aumento de presión causando dicha deformación o desgaste.

- Desgaste por picadura

Esta se genera por la fatiga en la superficie del engrane y se visualiza por medio de pequeños orificios semejantes a cavidades que con el tiempo pueden llegar a crecer, estas pueden ser iniciales o progresivas.

Figura 51. **Picadura inicial**



Fuente: *Fallas superficiales*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta: 7 de diciembre de 2016.

Figura 52. **Picadura progresiva**



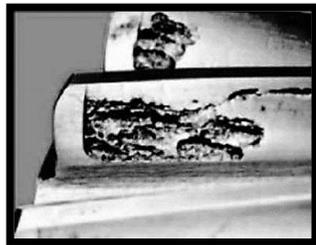
Fuente: *Engranajes metálicos*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones.shtml>.

Consulta: 8 de diciembre de 2016.

- **Descostrado de engranes**

Es una de las más duras que pueda sufrir un engrane, la cual ocurre cuando virutas de metal se astillan y se unen entre sí formando huecos más grandes. Esta puede ser generada por esfuerzos internos excesivos debido a un tratamiento térmico inadecuado y pueden ocurrir en intervalos pequeños de operación.

Figura 53. **Descostrado de engranes**

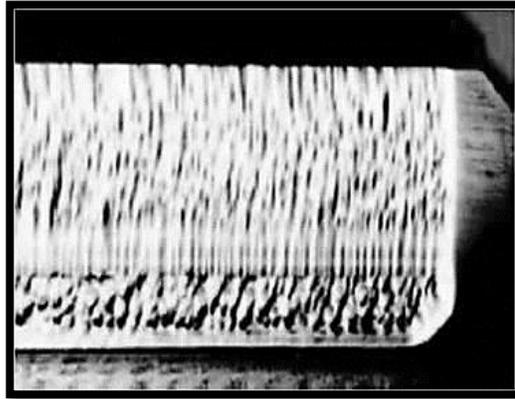


Fuente: *Transmisiones engranajes*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta: 8 de diciembre de 2016.

- Desgaste abrasivo de engranes

Esta es una causa común en los engranes, generalmente en máquinas con ambientes de trabajo muy fuertes, el desgaste no es uniforme a lo largo del diente que se generó por una velocidad que no fue uniforme como también las tensiones de presión de contacto.

Figura 54. **Forma de desgaste abrasivo en engranes**

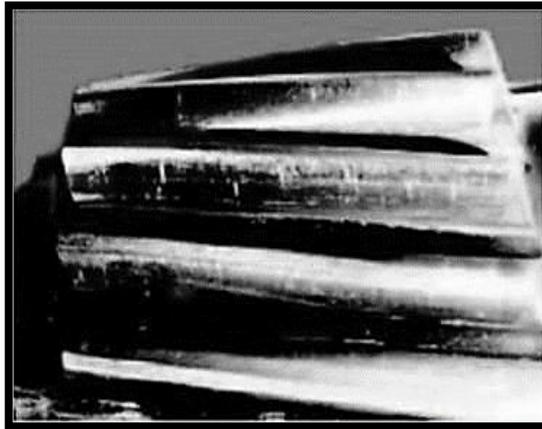


Fuente: *Fallas volumétricas* <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta: 8 de diciembre de 2016.

- Desgaste adhesivo de engranes

Ocurre en las superficies de contacto cuando la presión entre ellas por las asperezas provoca deformaciones plásticas locales y adhesión. Donde hay este tipo de deformación plástica se transforma en forma de calor, este se puede presentar por momentos, pero en consecuencia por el seguimiento lleva al deterioro definitivo del engrane y requerirá su reemplazo.

Figura 55. **Forma del desgaste adhesivo de engrane**

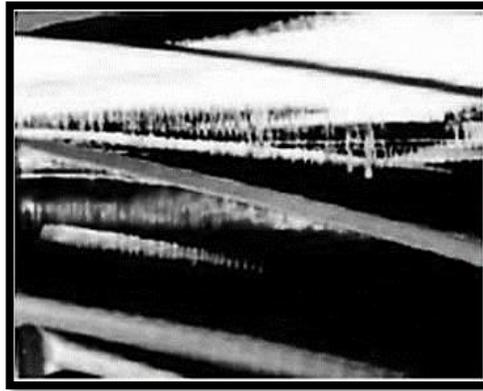


Fuente: *Deterioro del engranaje*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta: 9 de diciembre de 2016.

- **Desgaste por pulido**

Cuando se habla de desgaste por pulido es uno de los más lentos que ocurre en un engrane, que con el tiempo van generando superficies lisas y brillantes. Se deberán tomar en cuenta los aditivos químicos en el lubricante a extremas presión no sean químicamente reactivos ya que estas pueden causar esta particular reacción en el engrane. Este desgaste, aunque parezca bueno reduce la precisión del engrane mediante el desgaste en los perfiles de los dientes más allá de la forma inicial a la que fue diseñada.

Figura 56. **Forma de desgaste por pulido en engranes**

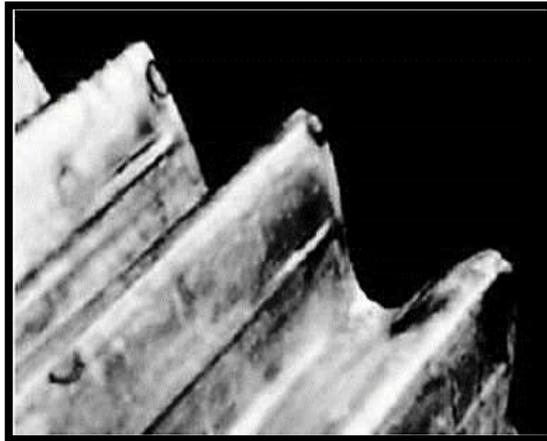


Fuente: *Fallas metalicos*.<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta:9 de diciembre de 2016.

- **Desgaste por erosión**

El desgaste por erosión ocurre cuando se elimina material de la superficie de contacto debido al impacto por pequeñas partículas sólidas, cráteres finos y partículas longitudinales cerca del extremo del diente. Esta falla se da por el movimiento relativo entre las superficies de los dientes y la existencia de partículas sumamente duras en el flujo de la película lubricante y para evitar que esta falla ocurra se deberá tomar en en cuenta la eliminación de abrasivos en el lubricante.

Figura 57. **Forma de desgaste por erosión**

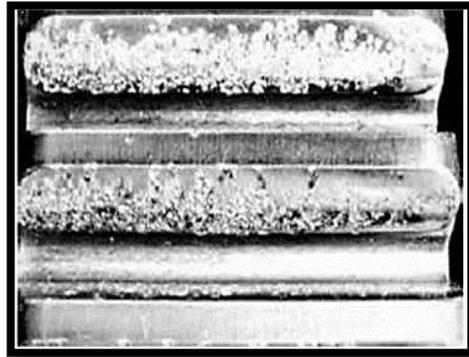


Fuente: *Transmisiones engranajes metálicos*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta: 9 de diciembre de 2016.

- **Desgaste generado por carga eléctrica**

Esta es el deterioro que reciben los flancos de los dientes por descargas eléctricas a través de la película de lubricación y se manifiesta por medio de una picadura en la superficie del engrane. Cuando la corriente eléctrica alcanza el mecanismo de engrane ocurre este tipo de fallas y se puede evitar utilizando aislamiento eléctrico o de una conexión a tierra. No se recomienda solar con arco eléctrico cerca de los engranes.

Figura 58. **Forma de desgaste por descarga eléctrica**



Fuente: *Fallas volumétricas en las transmisiones por engranajes.*

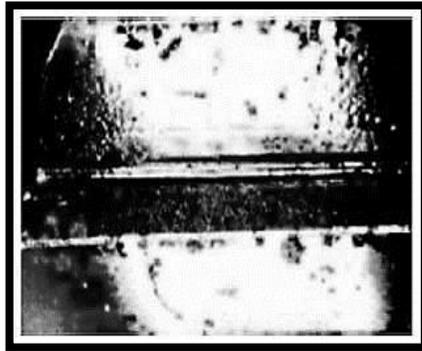
metálicos <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>.

Consulta: 10 de diciembre de 2016.

- Desgaste generado por corrosión

Este desgaste es producto de la deformación y el desprendimiento de fragmentos de la superficie, debido al colapso e implosión de burbujas de vapor o lubricante. En este desgaste se observan picaduras, como si las hubiesen hecho con arena a presión y el mismo se pueden evitar disminuyendo la velocidad y evitando las vibraciones.

Figura 59. **Forma de desgaste por corrosión**

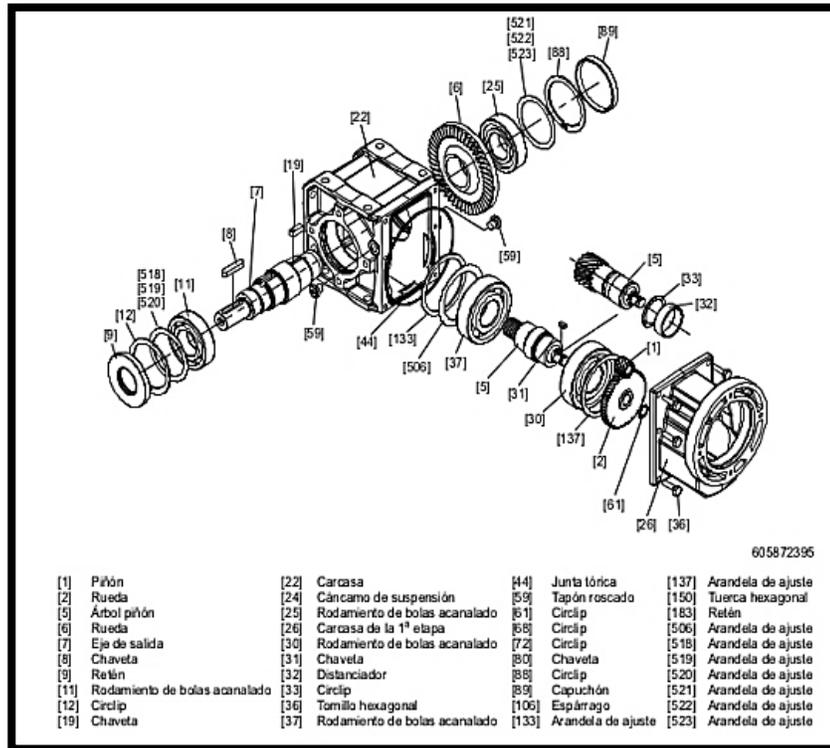


Fuente: *Fallas superficiales*.<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>. Consulta: 10 de diciembre de 2016.

Todo proceso que genere una deformación en el material de los engranes, por muy significativo que parezca podrá influir en el desempeño del motorreductor, por lo cual de manera óptima se deberá reemplazar completamente la pieza.

Logrando un mantenimiento y programándolo adecuadamente se podrá extender la vida útil del mecanismo y evitar fallas que generen el paro total de la máquina.

Figura 60. artes de un motorreductor



Fuente: Sew. *Instrucciones de montaje y mto.* <http://es.slideshare.net/festrada/ew-instrucciones-de-montaje-y-mto>. Consulta: 10 de diciembre de 2016.

### 2.3.4.3. Mantenimiento de engranes

Como se ha menciona en el motorreductor, en la mayoría de los casos también se toman en cuenta las fallas que presentan los engranes rectos, debido a que se tienen 2 de iguales dimensiones que son los que transmiten la potencia hacia los cilindros trituradores, por lo cual se tomarán los mismos datos para identificar las fallas que podrían afectar el desempeño de los engranes y se agregará la limpieza adecuada y la lubricación para alargar su vida útil.

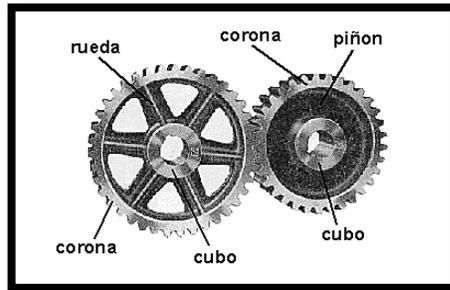
Dicho esto, también se tomará en cuenta un cronograma de actividades para su mantenimiento y limpieza: semanales, trimestrales y anuales, aprovechando el mantenimiento total del motor eléctrico y el motorreductor.

- Lubricar el engrane debidamente ya sea con grasa recomendada por fabricante, o bien por medio de lubricante líquido para evitar el desgaste de los dientes.
- El engrane deberá estar protegido con una capa lubricante para evitar la corrosión, partícula de polvo, herrumbre, humedad y cualquier otro contaminante externo que evite su buen funcionamiento.
- Se deberá limpiar el engrane con solventes para evitar la saturación de suciedad entre diente al momento de su limpieza para luego proceder a su instalación.
- La inspección visual diaria nos determinará algún tipo de problema que pueda generar en el futuro a la máquina por lo cual el encargado de operarla será el responsable de informar al encargado de mantenimiento cualquier anomalía.
- Si es una falla crítica que requiera el reemplazo del engrane, se debe eliminar cualquier movimiento generado por el motor eléctrico, dicho en otras palabras, desconectar la máquina.
- Remover tornillo sujetador de engrane junto con su chaveta para luego extraer el engrane y reemplazarlo.

- Colocar el nuevo engrane siguiendo los pasos previamente dichos, al contrario.
- Por último, de su ensamblaje la lubricación correspondiente tomará un papel importante el su desempeño óptimo.
- Revisión de medidas de los engranes para verificar si requerirán algún reemplazo.
- Se debe tomar en cuenta que para la lubricación se requiera en los engranes de diente rectos que la misma sea elastohidrodinámica ya que estos estarán sometidos a enormes presiones por el movimiento rotacional y ya que forma parte fundamental del mantenimiento se debe tomar énfasis en esta lubricación ya que pueden causar deformaciones plásticas de la superficie y esta viscosidad aumenta con la presión.

Por último, se deberá buscar un lubricante o grasa en su defecto con las normas de especificación ISO que posea un índice de viscosidad elevado, que posea propiedades antidesgaste, que posea propiedades altas contra la corrosión, también propiedades altas contra la oxidación, de propiedades desmulsibilizantes para que pueda separar cualquier partícula de agua que pueda mezclarse con el lubricante, esto debido al mantenimiento que diariamente se le estará proporcionando a la misma por el manejo con líquidos.

Figura 61. **Partes de los engranes**



Fuente: *Polamalu*. <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>.

Consulta: 11 de diciembre de 2016.

#### **2.3.4.4. Mantenimiento de poleas**

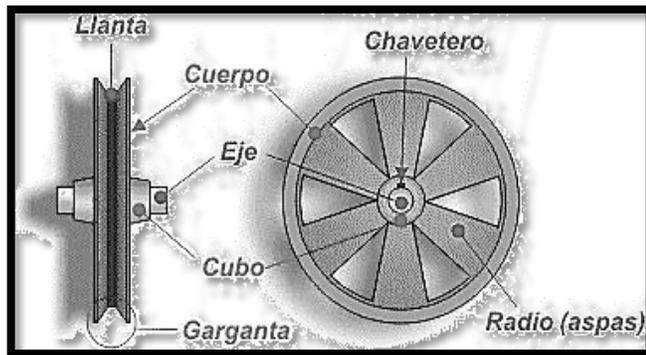
Nuestra forma de transmisión de potencia para que los rodillos trituradores funcionen adecuadamente proviene de las poleas que anteriormente fueron diseñadas con el fin de transmisión de movimiento. En este punto se analizarán aspectos para la prevención y el largo desempeño de las poleas para las que fueron presentadas.

El mantenimiento de poleas se recomendará que comience con una inspección visual diaria, para luego, una evaluación semanal, mensual y trimestral para ayudar a obtener información s y generar de manera preventiva cualquier situación que genere un mantenimiento.

- Tener muy en cuenta la limpieza de las poleas para evitar cualquier adherencia de sustancias que puedan dificultar la transmisión de potencia y movimiento.

- Por medio de una observación inicial verificar si las mismas poseen en sus canales alguna grieta o tengan superficie con aceite.
- Determinar si las paredes o canaletas han sido sometidas a excesiva tensión que permitan el ensanchamiento de las mismas por medio de las medidas iniciales.
- Una polea en condiciones no óptimas de funcionamiento puede reducir hasta un 50 % la vida útil de una banda de transmisión por ello es sumamente importante verificar cualquier anomalía.
- Verificar que los ejes de las poleas estén centrados y paralelos entre sí.
- Se recomienda que toda polea esté situada lo más cercana a las chumaceras dejando el espacio suficiente para las reparaciones adecuadas.
- Por medio de una escuadra a 90° (grados) se podrá verificar si las poleas no tienen algún pandeo que pueda afectar su funcionamiento.
- La limpieza por medio de un cepillo duro puede ayudar para que la misma este fuera de impurezas y también que no pueda dañar directamente la banda de transmisión.
- Procurar que el canal de las poleas esté libre de óxido, grasa o cualquier otro elemento que pueda dañar la polea.

Figura 62. **Partes de una polea**



Fuente: *Mecánica*. [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_polea.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_polea.htm). Consulta 11 de diciembre de 2016.

#### **2.3.4.5. Mantenimiento de bandas de transmisión**

Parte sumamente importante para el movimiento de las piezas mecánicas. Como se ha mencionado la banda de transmisión para este caso es una banda trapezoidal para, la cual se presentan a continuación aspectos de mantenimiento para su largo desempeño

La inspección de las correas de transmisión se debe realizar diariamente de forma visual, con ficha técnica se recomienda semanal y mensual.

- Al momento de iniciar con la inspección visual se debe tener en cuenta que la máquina deberá estar totalmente inactiva.
- Verificación de grietas en la parte lateral de la faja.
- Verificación del desgaste de la banda en la parte interna.

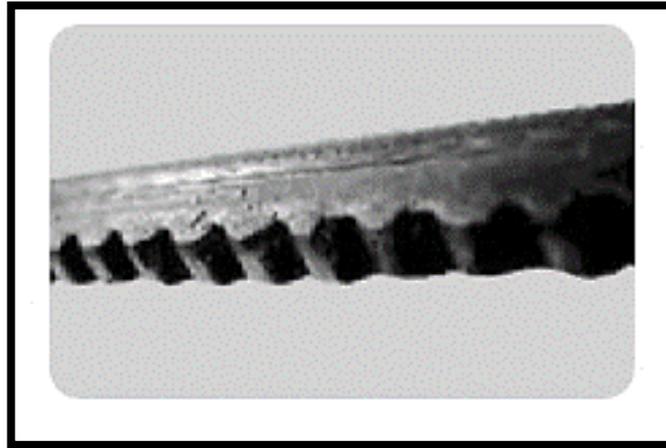
- Verificación de la medida de la banda para confirmar si no ha excedido en medidas y requiera su pronto reemplazo.
- Observar que la banda esté libre de impurezas o suciedad que generen calor excesivo por su incorrecta ventilación.
- Si no se ha llegado al tiempo de vida útil de la banda, pero ya registra alguna anomalía, se recomienda el análisis del problema para su reemplazo y cualquier otro factor que influya en la función de la banda.

A continuación, se presenta alguna falla común en las bandas de transmisión que ayudará a la detección temprana para su mantenimiento o bien su reemplazo definitivo.

#### **2.3.4.5.1. Falla lateral vitrificada en banda**

Esta se genera cuando en los lados de la misma se presenta algún aspecto brillante y con una dureza mayor a la de la banda. Por lo general, la causa de esta falla se debe por el deslizamiento de la banda en la polea y también por el exceso de la temperatura. La recomendación general es verificar el estado de las poleas, así como la tensión de la banda de transmisión.

Figura 63. **Falla lateral vitrificada**



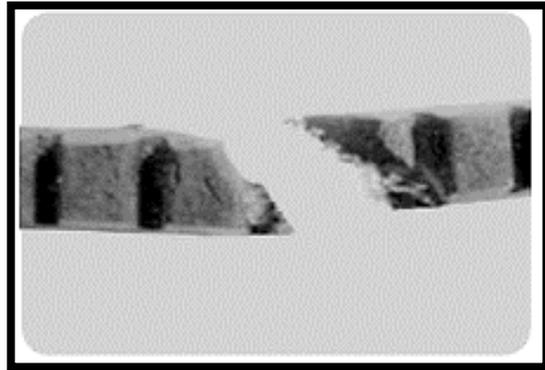
Fuente: *Correas SKF*. [http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas\\_tcm\\_87-170004.pdf](http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas_tcm_87-170004.pdf).

Consulta: 11 de diciembre de 2016.

#### **2.3.4.5.2. Falla por rotura irregular en bandas**

Esta se presenta generalmente por la ruptura entre sus diferentes partes internas que generan su desprendimiento y separación total. Esta ocurre cuando en la mayoría de los casos se genera una excesiva tensión al momento del montaje y también puede ser generada por elementos que se puedan adherir a la banda. Como recomendación para evitar este tipo de falla, se recomendará que se pueda tensionar de acuerdo con las especificaciones al momento de la adquisición.

Figura 64. **Falla por rotura irregular**

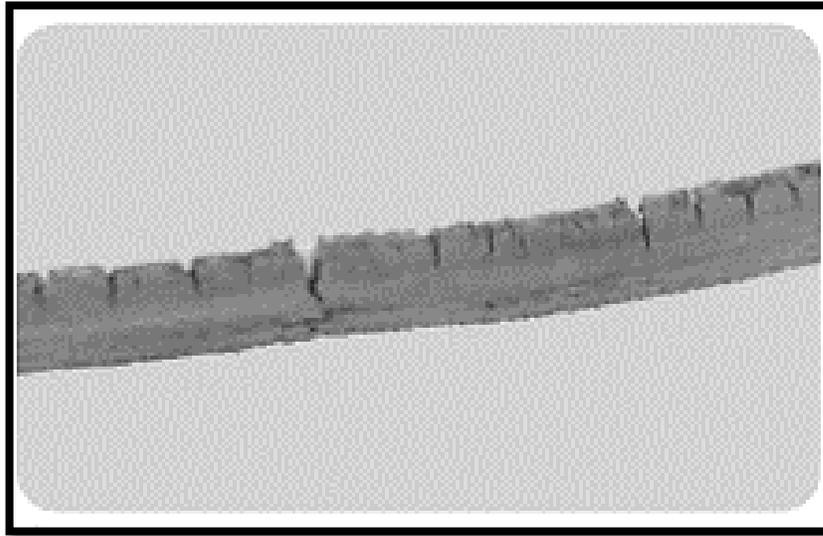


Fuente: *Motores paso a paso* [http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas\\_tcm\\_87-170004.pdf](http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas_tcm_87-170004.pdf). Consulta: 12 de diciembre de 2016.

#### **2.3.4.5.3. Falla por grietas en bandas**

Está generada por grietas o cortes transversales que visiblemente la persona encargada pueda inspeccionar. Se genera cuando la banda se expone a una elevada temperatura o a una inadecuada tensión que genera una degradación de las propiedades elásticas del material, también, generada cuando su vida útil finaliza. Será de suma importancia la correcta tensión de la misma de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Figura 65. **Falla por grieta**



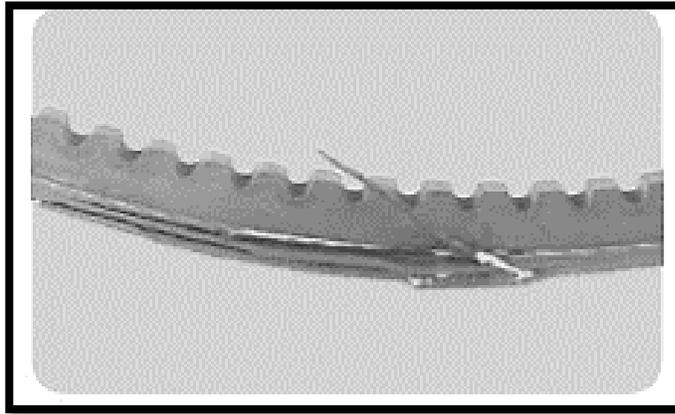
Fuente: *Correas*. [http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas\\_tcm\\_87-170004.pdf](http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas_tcm_87-170004.pdf).

Consulta: 12 de diciembre de 2016.

#### **2.3.4.5.4. Falla por separación de compuestos en bandas**

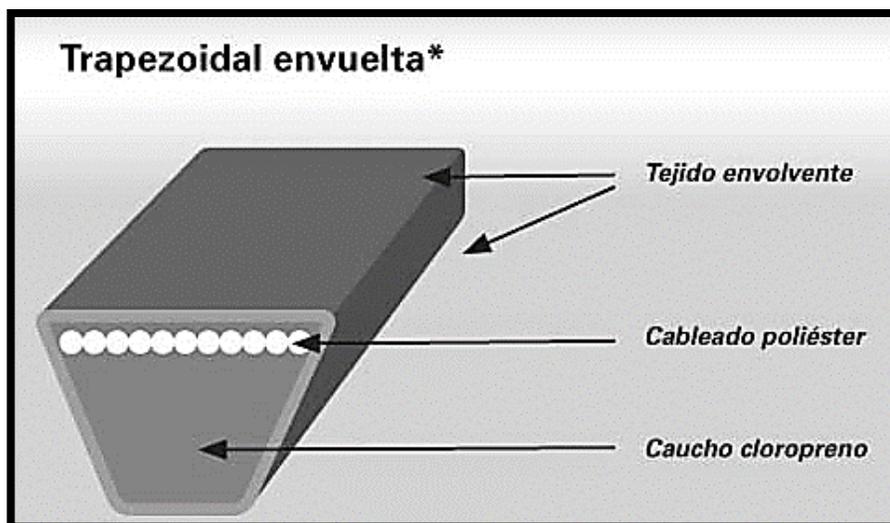
Es producto de la separación del lomo de producto de caucho. Ocurre cuando la banda está expuesta con aceites, líquido refrigerante o derivados de petróleo que dañan las propiedades de los materiales de la banda que generan desprendimientos. Verificar que ninguna fuga o líquido llegue a penetrar o tener contacto con la banda.

Figura 66. **Falla por separación de compuestos**



Fuente: *Torno antiguo cono polea argentino para rescatar*. [http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas\\_tcm\\_87-170004.pdf](http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas_tcm_87-170004.pdf). Consulta: 13 de diciembre de 2016.

Figura 67. **Partes de una banda de transmisión**



Fuente: *Correas*. [http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas\\_tcm\\_87-170004.pdf](http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas_tcm_87-170004.pdf).  
Consulta: 13 de diciembre de 2016.

#### **2.3.4.6. Mantenimiento de chumaceras**

Las chumaceras son principalmente puntos de apoyo de ejes y árboles para sostener su peso, guiarlos en su rotación y evitar deslizamientos. El tipo de chumacera seleccionada para esta máquina es de tipo brida ya que se ajustan perfectamente al proceso a realizar de los rodillos. El mantenimiento de las chumaceras, por lo general, dependerá de las especificaciones del fabricante, así mismo, se recomendará semanal, mensual y trimestral.

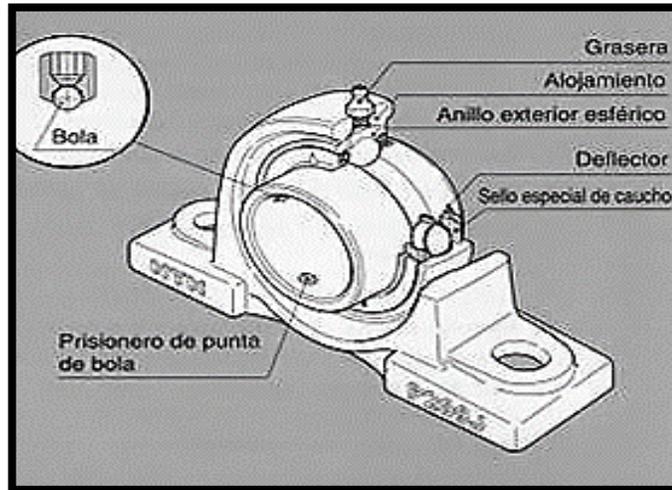
- El primer paso será observar que la máquina esté en posición de apagado para que se pueda iniciar con la inspección. Algunas revisiones se tendrán que realizar en funcionamiento con un estetoscopio.
- Parte responsable del equipo es el encargado de la máquina que por medio de inspección visual diaria reportará o dará marcha para un mantenimiento efectivo de maquinaria.
- La limpieza será sumamente importante en una chumacera para evitar cualquier sobrecalentamiento que pueda generar el rodamiento.
- Lubricar la chumacera tomar parte importante en el buen funcionamiento por lo cual se recomienda realizarlo cada 40 horas de servicio con una grasa con base de litio.
- Asegurarse de que los pernos de anclaje estén correctamente apretados y si en su defecto no lo están, proceder al ajuste y al torque requerido del tornillo para la sujeción correcta.

- Determinar la posición final del eje con la chumacera para evitar cualquier anomalía y que no se desalinee.
- Importante verificar la rotación de los rodamientos, ya que si existiere resistencia a la rotación, vibración irregular, hay que verificar que los ejes y las líneas del montaje estén rectos.
- Verificar si la chumacera no posee ninguna fuga de lubricante para que en su caso si es necesario se proceda prontamente a una reparación adecuada o bien su reemplazo.

Muchas fallas comunes del rodamiento en las chumaceras provienen por una mala lubricación, sin embargo, no solamente estas generan fallas en estos mecanismos; por lo cual, se mencionarán algunas que se deberán tomar en cuenta.

- Sobrecalentamiento
- Desalineamiento
- Ajuste flojo
- Ajuste apretado
- Carga excesiva
- Corrosión
- Contaminación

Figura 68. Partes de una chumacera



Fuente: *Index of /images* <http://ntnmexico.com/images/componentes.jpg>. Consulta: 13 de diciembre de 2016.

#### 2.3.4.7. Mantenimiento de rodillos

Es una de las partes importantes en la máquina; como ya se mencionó en las fichas técnicas, el enfoque de este mantenimiento se lleva a cabo en la mayoría de los casos con la máquina en posición de apagado de manera visual o bien con algún instrumento de medida. Este será realizado o verificado, según el caso, semanal, mensual y anual dependiendo del estado de los rodillos. Los encargados de enviar los reportes al departamento de mantenimiento serán los responsables del uso de la máquina para su correcto funcionamiento para crear una bitácora de lo sucedido en los rodillos.

- Verificar que los rodillos se encuentran alineados y con una separación de 2 [mm] uno del otro para el proceso del triturador, de lo contrario, realizar el ajuste necesario.

- Verificar que los rodillos no posean algún tipo de corrosión producidos por la trituración de sal. Esto se podrá evitar en la medida de lo posible con la limpieza rutinaria que diariamente se estará realizando a la máquina una vez terminada su jornada de trabajo.
- Como parte del mantenimiento se tomará en cuenta la lubricación de las chumaceras para evitar el sobreesfuerzo de movimiento de los rodillos para su buen desempeño.
- Un análisis de vibración puede ayudar de manera significativa si los mismos no poseen algún desgaste que visiblemente no se pueda observar. Los encargados de este proceso serán los del departamento de mantenimiento o un taller especializado en el análisis de vibraciones en rodillos.
- Cualquier anomalía del rodillo (corrosión, desgaste, fisuras o cualquier otro aspecto que pueda afectar el desempeño de los rodillos) se deberá tomar en cuenta para definir si es necesario su reparación o cambio prudente
- Todo tornillo que forme parte de los rodillos que estén conectados a estos, deberán ser revisados para verificar si están correctamente apretados y no muestren por motivos de vibración algún afloje, por lo cual deberá proceder al ajuste pertinente.

#### **2.3.4.8. Limpieza general de la máquina**

Parte del mantenimiento de la máquina trituradora de sal será su limpieza para garantizar que su uso frecuente se pueda extender de la mejor manera

posible ya que la sal de corroe piezas con el tiempo. Debido a que los componentes de la máquina estarán en contacto con la sal por el ambiente en el que se encontrarán, se recomienda que al momento de iniciar dicha limpieza se deberá tener sumo cuidado con que la máquina no esté conectada a ninguna conexión eléctrica como también con el motorreductor y motor eléctrico. En esta parte se incluye la parte de la estructura que soportará las piezas para su completo cuidado.

Dicha limpieza garantizará que la máquina estará en condiciones de funcionamiento óptimas para el triturado correspondiente para su mezclado correspondiente y que cumpla las políticas para el consumo humano final.

Se mencionarán algunos aspectos a considerar en el proceso de la limpieza:

- Usar siempre jabón en polvo para disolverlo en agua.
- No mezclar jabón con desinfectante por las reacciones que puedan afectar la respiración del personal de limpieza de la máquina.
- Se recomienda que el agua a utilizar sea caliente ya que ayuda a la desinfección y el desengrase de la máquina, por consiguiente, una hidrolavadora será de mucha ayuda para facilitar el trabajo.
- Se recomienda que todo material, utensilio, o cualquier elemento para la limpieza esté debidamente señalizado para evitar mezclarlos con otras áreas de trabajo los mismos y que sean usados únicamente para dicho propósito.

#### **2.3.4.8.1. Material a utilizar**

- Detergente en polvo
- Desinfectante
- Escoba
- Trapeador
- Pala
- Cepillo
- Balde
- Guantes
- Manguera
- Hidrolavadora
- Bolsa de basura

Estos procesos de limpieza son recomendaciones generales para todo el personal encargado de dichos procesos que serán delegados por el auxiliar encargado o supervisor de mantenimiento que velará porque se cumplan.

La frecuencia por recomendación será diaria, semanal, a menos que el encargado de mantenimiento por el uso frecuente diga lo contrario.

#### **2.3.4.8.2. Procedimiento a realizar**

- Extracción de material visible

En posición de apagado, el encargado de limpieza verificará si por medio manual se puede extraer todo elemento de suciedad que pueda quitarse por medio de un cepillo o un paño, para evitar el gasto innecesario de agua y otros productos a utilizar.

- Preenjuague de la máquina

Se procederá con el uso de la hidrolavadora para su enjuague tratando de eliminar residuos superficiales en la máquina. Se recomienda que el agua sea libre de sal, para evitar nuevamente su contaminación.

- Uso del detergente

Al momento de utilizar un químico detergente se deberá tomar en cuenta que sea inodoro e incoloro para no afectar las propiedades de la sal ya que será destinada para el consumo humano, con propiedades que ayuden al acero inoxidable para que no se corroa

- Enjuague

Con escoba, cepillo o cualquier herramienta útil que permita realizar una presión adecuada para la extracción de impurezas a la máquina, se procederá a la eliminación del detergente por medio de la hidrolavadora que facilitará el proceso para eliminar cualquier partícula de detergente u otro contaminante que pueda afectar el proceso de triturado de la sal.

- Inspección visual

Esta se realiza una vez finalizado el enjuague con el fin de verificar si hay o no alguna partícula que no haya sido removida aún, de ser así, se procederá con la limpieza en esa área en particular para finalizar con la limpieza.

- Desinfección

Proveerá de las garantías necesarias para que al producto final esté libre de cualquier agente contaminante (bacterias, suciedad, microorganismos, entre otros). Se puede utilizar compuestos cuaternarios de amonio que son amigables con los metales, es incoloro y no tóxico. Debe utilizarse en concentraciones de entre 200 a 1 200 miligramos por litro.

- Eliminar el exceso de humedad

Esta es la última operación a realizar, con la cual se remueve todo exceso de humedad de la máquina; se puede utilizar un paño absorbente y para las partes de difícil acceso podemos utilizar aire comprimido con los niveles más bajos de humedad; todo excedente de líquido en la máquina o en la estructura se deberá remover en su totalidad ya que con el tiempo podrá afectar su buen funcionamiento

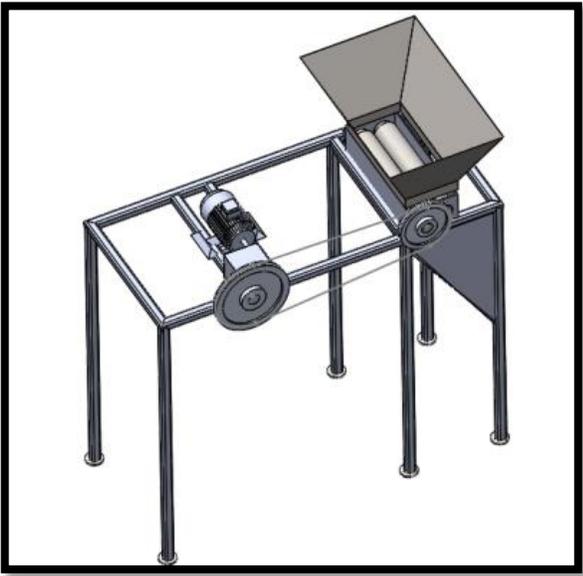
#### **2.4. Diseño final de la máquina trituradora de sal**

Esta parte tiene el fin de dar a conocer la propuesta de diseño de la máquina trituradora de sal; abarca todos los aspectos importantes que este conlleva; explica de manera sencilla el trabajo realizado durante la realización del ejercicio profesional supervisado. Proporcionar información al personal de AOSP de la máquina para el proceso de triturado en las salineras del país.

Esta parte una introducción sobre la problemática de la fortificación de sal en Guatemala; también, el procedimiento para la realización de la máquina, el criterio de selección, los distintos tipos de trituradoras, materiales en Guatemala

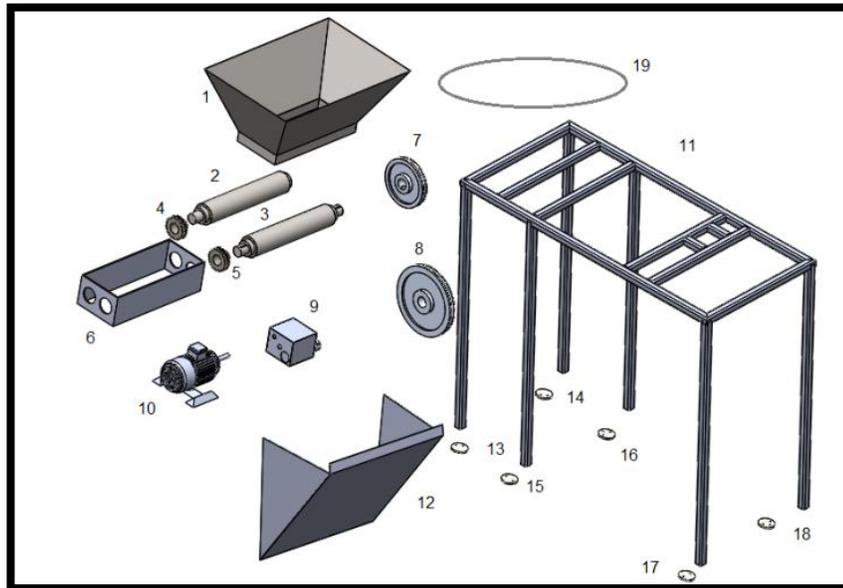
para el diseño de las partes. Esta se realizará por medio de una presentación en power point de manera que se pueda crear una discusión al respecto

Figura 69. **Máquina trituradora de sal**



Fuente: elaboración propia, empleando solidworks 2014.

Figura 70. **Explosionado de la máquina trituradora de sal**



Donde:

- |                       |                           |                          |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1. Tolva de ingreso   | 7. Polea conducida        | 13. Placa soporte        |
| 2. Rodillo secundario | 8. Polea motriz           | 14. Placa soporte        |
| 3. Rodillo primario   | 9. Motorreductor          | 15. Placa soporte        |
| 4. Engrane motriz     | 10. Motor eléctrico       | 16. Placa soporte        |
| 5. Engrane conducido  | 11. Estructura soporte    | 17 y 18. Placa soporte   |
| 6. Caja de rodillos   | 12. Estructura recipiente | 19. Banda de transmisión |

Fuente: elaboración propia, empleando solidworks 2014.

## 2.5. Costo de la propuesta

Una vez que la propuesta de diseño de la máquina trituradora de sal ha sido concluida, se procede a realizar una tabla de costos que ayudará a conocer el total en quetzales de una máquina de este tipo.

Se deben considerar los precios de las materias primas; aceros para las piezas de la máquina; se sabe de antemano que los costos que en este informe se presentan, fueron proporcionados por distribuidores nacionales del año en curso; podrían variar.

El análisis de costos debe incluir lo siguiente:

- Materiales normalizados
- Elementos normalizados
- Maquinado de piezas y estructura
- Costo del diseño
- Imprevistos
- Puesta en marcha

### 2.5.1. Materiales y elementos normalizados

La siguiente tabla se realiza con base en proformas obtenidas en los principales distribuidores de Guatemala, aceros normalizados, así como partes normalizadas que ayudaron a crear el monto descrito.

Tabla XLIV. **Costos de materiales normalizados**

Materiales normalizados					
Núm.	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Lámina	AISI 304, 4' x 8', 3 mm espesor	2	Q 1 780,09	Q 3 561,80
2	Platina	AISI 304, 1'' x 5/32'', 6 mts largo	1	Q 186,76	Q 186,76
3	Angular	AISI 304, 1'' x 5/32'', 6 mts largo	1	Q 249,44	Q 249,44
4	Varilla de aporte	AISI 304, soldado máquina TIG 5	5	Q 59,21	Q 296,05
5	Rodillo 1	AISI 304, Ø=100 mm, L=1000 mm, eje macizo	1	Q 4 668,85	Q 4 668,85
6	Rodillo 2	AISI 304, Ø=100 mm, L=1000 mm, eje macizo	1	Q 4 668,85	Q 4 668,85
7	Engrane 1	AISI 4340, Ø=105 mm, L=400 mm, eje macizo	1	Q 1 830,10	Q 1 830,10

Continuación de la tabla XLIV.

8	Engrane 2	AISI 4340, Ø=105 mm, L=400 mm, eje macizo	1	Q 1 830,10	Q 1 830,10
9	Polea 1	Duraluminio PRODAX, Ø=160 mm, L=25 mm, eje macizo	1	Q 2 098,75	Q 2 098,75
10	Polea 2	Duraluminio PRODAX, Ø=160 mm, L=25 mm, eje macizo	1	Q 2 098,75	Q 2 098,75
11	Tubo estructural	ASTM 500, 2''x 2'', chapa 16, 6 mts largo	5	Q 185,00	Q 925,00
12	Electrodo	6013, punto café, 3/32'', para estructura	5	Q 13,45	Q 67,25
13	Electrodo	INOX, 308-16, 3/32'', para aluminio	5	Q 47,60	Q 238,00
14	Tornillos	Para estructura, 3/8''x 3'', grado 5	16	Q 5,00	Q 80,00
15	Roldana	Galvanizado, 3/8''	16	Q 2,50	Q 40,00
16	Washa de presión	Galvanizado, 3/8''	16	Q 2,50	Q 40,00
17	Tuerca	Galvanizado, 3/8'', grado 5	16	Q 7,00	Q 112,00
18	Perno de anclaje	Galvanizado, 1/2''x 3''x 3/4''	24	Q 27,59	Q 662,16
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q 23 653,86</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Elementos normalizados**

Elementos normalizados					
Núm.	Descripción	Especificación	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Chumacera	Tensora UTC 2'', marca HF NKB	4	Q 320,02	Q 1 280,08
2	Motorreductor lineal	1 HP, trifásico, 3500 RPM, F80, ratio 16.49=1, LESSAN	1	Q 4 520,15	Q 4 520,15
3	Banda trapezoidal	Tipo B, 1,145.55 mm, marca DelBelt	1	Q 80,00	Q 80,00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q. 5 880,23</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2. Maquinado de piezas y estructura

La tabla que se presenta tiene referencia principalmente con las fichas técnicas que fueron creadas con anterioridad, ya que de ellas dependerá el trabajo de maquinado en los talleres de torno, soldadura, metal mecánica, por las medidas que se propusieron con el fin de que lleven a la creación de piezas mecánicas; también, sus diferentes estructuras que llevarán un proceso de

soldado específico según el material y, por último, cualquier maquinado que se requiera para dar forma a cualquier estructura requerida.

Todo monto, tiene como objetivo proporcionar en su totalidad; incluye mano de obra que requiera por los talleres especializados; los montos son en su medida los reales posibles.

### **2.5.3. Costo del diseño**

Las labores de (EPS) llevó aproximadamente 320 horas para realizar los cálculos de las piezas mecánicas y las fichas técnicas necesarios para el correcto diseño de la máquina trituradora de sal; el monto estimado sería de Q 19 500,00.

### **2.5.4. Imprevistos**

Los imprevistos son un porcentaje (%) agregado al costo total de la máquina. Esto se generaría por la fluctuación de los costos de los materiales, piezas, maquinado, ensamblaje que pueda ser un factor de elevación o disminución de los costos mencionados que será del 5 %.

### **2.5.5. Puesta en marcha**

Así mismo se agregará un porcentaje (%) del 10 % del total del costo adicional. Este monto agregado menciona procesos finales si así lo requiera la entidad correspondiente para su prueba final en funcionamiento, que cubre cualquier incidente, mecánico o eléctrico, que pueda ocurrir en el arranque de la máquina, equipo para el arranque, material eléctrico y cualquier ajuste que sea pertinente para las pruebas correspondientes.

Tabla XLVI. **Maquinado de piezas y estructura**

<b>MAQUINADO DE PIEZAS Y ESTRUCTURA</b>					
Núm.	Descripción	Horas	Cantidad	Valor	Total
1	Engranaje 1	10	1	Q 850,00	Q 850,00
2	Engranaje 2	10	1	Q 850,00	Q 850,00
3	Cilindro 1	16	1	Q 1 700,00	Q 1 700,00
4	Cilindro 2	16	1	Q 1 700,00	Q 1 700,00
5	Tolva	16	1	Q 800,00	Q 800,00
6	Caja de rodillos	8	1	Q 400,00	Q 400,00
7	Recipiente del triturado	16	1	Q 600,00	Q 600,00
8	Estructura	16	1	Q 600,00	Q 600,00
9	Placas y orificio de estructura	2	4	Q 100,00	Q 400,00
10	Refuerzo estructural	4	1	Q 500,00	Q 500,00
11	Guarda poleas	12	1	Q 1 000,00	Q 1 000,00
12	Polea 1	8	1	Q 500,00	Q 500,00
13	Polea 2	8	1	Q 500,00	Q 500,00
14	Armado final	40	1	Q 1 000,00	Q 1 000,00
<b>TOTAL</b>					<b>Q 11 400,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Costo total de la propuesta**

<b>COSTO TOTAL</b>			
Núm.	Descripción	Total	Total
1	Materiales normalizados	Q 23 653,86	\$ 3 183,56
2	Elementos normalizados	Q 5 880,23	\$ 791,41
3	Maquinado de piezas y estructura	Q 11 400,00	\$ 1 534,32
4	Costo del diseño	Q 11 145,00	\$ 1 500,00
<b>SUBTOTAL</b>		<b>Q 52 079,09</b>	<b>\$ 7 009,29</b>
5	Imprevistos 5 %	Q 2 592,91	\$ 348,97
6	Puesta en marcha 10 %	Q 5 185,83	\$ 697,95
<b>TOTAL</b>		<b>Q 59 857,83</b>	<b>\$ 8 056,21</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3. FASE DE DOCENCIA**

#### **3.1. Importancia del orden en las labores de propuesta de diseño**

Como parte importante en la propuesta de diseño de la máquina trituradora de sal, también está la estructura con la cual se forma dicha maquinaria, de manera que el personal de AOSP pueda tener acceso a dicha información con el fin de conocer cuál fue el proceso que lleva a diseñar esta propuesta de máquina.

Una de las herramientas usadas para dicho fin fue el programa de computadora solidworks 2014 que es un pilar fundamental para el diseño de cada parte, así como su ensamblaje final. En la sección 2.2.12., de este proyecto se menciona el orden lógico del ensamble de la propuesta de diseño con el fin de crear de manera efectiva el armado correcto sin ningún contratiempo que pudiera ocurrir.

Como parte en la propuesta del diseño, está también la presentación al personal encargado de AOSP, de cómo se produjeron dichas piezas; en el futuro ellos serán los encargados de llevar dicha propuesta a su creación y su puesta en marcha para la ejecución del proyecto; por lo cual se otorgará la información que sea necesaria para dicho proceso.

### **3.2. Proceso de diseño de la máquina**

En esta parte de la propuesta del diseño se involucra a todo el personal de AOSP; a futuro, también, formarán parte los microsaleros que son los que velarán porque los procesos de recolección, lavado, secado, triturado y mezclado se cumplan. Se utilizarán medios como power point, para la creación de presentaciones que puedan de manera sencilla explicar el porqué del diseño de propuesta de la máquina trituradora de sal y así como sus diferentes partes para llegar al producto deseado.

### **3.3. Presentación de avances en las diferentes fases**

En el ejercicio profesional supervisado (EPS), se informa al personal de AOSP de los avances de manera mensual de la propuesta del diseño con el fin de introducir a dicha entidad con información obtenida en los diferentes medios, visuales, escritos, de la creación de la máquina; servirá de mucho tener involucrados a los ejecutores del proyecto para su comprensión y puesta en marcha.

### **3.4. Propuesta de capacitación sobre mantenimiento de la máquina trituradora de sal al personal de AOSP**

Parte final de la propuesta de diseño de la máquina trituradora de sal es informar al personal de AOSP para que al momento de poner en marcha el proyecto final de la planta de procesadora de sal, sea necesario el capacitar al personal encargado en el mantenimiento de maquinaria industrial, tanto en el manejo de maquinaria como en los cuidados necesarios para su largo desempeño en su uso.

Como parte de este proyecto de diseño también se capacitará de manera eficiente y sencilla al personal involucrado para transmitir la información en su momento de manera efectiva. Se utilizarán presentaciones visuales en salones amplios para la comodidad del personal que serán los encargados de la planta, con el objetivo de formar una explicación fluida del tema para formar una idea del mantenimiento, sus posibles fallas y el reporte por medio de fichas técnicas para la recopilación de datos y sus respectivas ejecuciones para sus debidos mantenimientos.

Durante esta propuesta de capacitación se darán a conocer las diferentes maquinarias utilizadas para el procesamiento de la trituración de sal cruda a nivel industrial. Se conocerán datos técnicos, funcionamiento, aplicación y disponibilidad de dicha máquina creando un criterio para determinar el tipo de máquina que se podría utilizar en Guatemala.

En esta última parte, se evalúan los conocimientos adquiridos a lo largo del plan de capacitaciones en la propuesta del diseño de la máquina trituradora de sal con el fin de medir el grado de eficiencia del plan propuesto.

Como se ha descrito, los doctores de la Facultad de Odontología y en especial los doctores de la unidad sociopreventiva y otro personal de este departamento, deben poseer los conocimientos necesarios para plantear soluciones a las diferentes problemáticas que se manejan dentro del área.

Para esto se realiza una evaluación que permita no solo a los docentes conocer el grado de conocimiento adquirido sino también a los diferentes expositores de los temas del plan de capacitaciones ya sea por medio escrito o bien directamente en la exposición del tema.

Para esto se pretende cumplir con los siguientes objetivos:

- Mejorar la actividad docente y de todo el personal involucrado en el proyecto con una capacitación extracurricular que formará nuevos docentes para generar propuestas y soluciones a la problemática actual en relación con la fortificación de sal a nivel industrial.
- Proporcionar a los profesores y a todo el personal involucrado referente al tema de producción de sal, evidencias de la relación que existe entre la problemática de la falta de fortificación de sal y su docencia para la mejora continua y el perfeccionamiento de sus procesos en Guatemala.
- Proporcionar la toma de decisiones fundamentada en las autoridades académicas a partir de la evaluación de la actividad docente, dando a conocer los resultados obtenidos por medio de la evaluación.
- Medir la capacidad de retención de conocimiento de los docentes de todos los temas impartidos en el plan de capacitaciones con el fin de transmitir en su momento de forma efectiva la información para su manejo y mantenimiento.
- Dar a conocer las nuevas habilidades y conocimientos adquiridos por los docentes por medio de una evaluación objetiva, que por recomendación para la medición de resultados sea de manera escrita. Dicha evaluación quedará a cargo de AOSP.

## CONCLUSIONES

1. La máquina trituradora de sal contará con 2 rodillos para una capacidad de 1 tonelada; el tipo de material para su construcción recomendado será de acero inoxidable. Característica básica en el manejo de alimentos, con la finalidad de poder mezclar la sal con yodo y flúor.
2. Se elaboró un criterio de selección de máquinas trituradoras con el fin de obtener una máquina que pudiera triturar sal a bajas revoluciones para así evitar la fricción en el triturado y que no exista demasiado calor que pueda afectar las propiedades químicas de la sal; se tuvo como resultado la máquina trituradora de rodillos.
3. Con la propuesta de diseño de la máquina trituradora de sal se podrá completar el objetivo de homogenización de la sal con yodo y flúor, se obtuvo un producto para el consumo humano óptimo que pueda cumplir con la reducción de la caries en la población guatemalteca.
4. El costo total aproximado de la propuesta de máquina trituradora de sal es de Q 59 857,83 según los precios obtenidos en el mercado nacional en el mes de diciembre de 2016 y enero de 2017; el fin es obtener una máquina de fácil fabricación con materiales comerciales y obtenerlos fácilmente al alcance del fabricante o encargado de dicho proceso.

5. Con la culminación de esta propuesta de máquina trituradora de sal y manual de mantenimiento, el autor de este trabajo, puso en práctica la mayoría de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica para así establecer criterios de diseño para obtener una máquina versátil que pueda satisfacer las necesidades para la cual fue diseñada.
  
6. El manual de mantenimiento creado debe ser destinado y utilizado como referencia para un óptimo desempeño de la máquina; se recomienda por medio de rutinas de mantenimiento que las revisiones sean semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, según el elemento de máquina a verificar. De ser así, reemplazar la pieza completamente si así lo convenga el responsable del mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. La sal deberá ingresar a la máquina trituradora con un porcentaje de humedad no mayor al 4 % para garantizar el triturado adecuado de los granos de sal; así mismo, para que los rodillos trituradores, que serán de acero inoxidable, no sufran corrosión excesiva por dicha condición.
2. El personal encargado del manejo de la máquina deberá consultar el manual de construcción y manual de mantenimiento de la máquina para evitar accidentes como consecuencia de una mala maniobra.
3. Cuando se lleve a cabo la construcción de la máquina, se recomienda que la estructura soporte, las placas de soporte, el motor eléctrico, el motorreductor, las poleas y todo elemento que no esté en contacto directo con la sal, sean recubiertos con pintura anticorrosiva para evitar su deterioro.
4. Para el óptimo funcionamiento de la máquina trituradora y para que esté en marcha el proyecto para la construcción, se recomienda seguir el diagrama de flujo mencionado en la sección 2.2.; además de estos parámetros, se deberá tomar en consideración la correcta elaboración de cada pieza o elementos que conformarán dicha máquina.
5. Una vez la máquina sea fabricada e instalada, será de suma importancia la limpieza y desinfección de las partes que estén en contacto con la sal para evitar siempre cualquier tipo de contaminación de la sal.

6. Los rodillos, la tolva y el recipiente del triturado, que serán de acero inoxidable, después de cada jornada de trabajo deberán ser limpiados con agua caliente y un cepillo de cerdas suaves para evitar así cualquier material que pudiera quedar atrapado en el fresado de los rodillos para que puedan actuar como agentes oxidantes en la máquina y disminuyan su vida útil.
  
7. Un correcto mantenimiento en nuestra propuesta de diseño será lubricar periódicamente los elementos de transmisión de movimiento en los que se generará fricción y crear bitácoras de inspección para los futuros paros programados por desgaste regular de piezas para su debida reparación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Academia Hütte. *Manual del ingeniero. Tomo I.* 2a ed. Barcelona, España: Gustavo Gil S. A., 1956. 1464 p.
2. \_\_\_\_\_. *Tomo II.* 2a ed. Barcelona, España: Gustavo Gil S. A., 1956. 1565 p.
3. *Aceros aleados para temple y revenido.* [En línea]. <<http://reydin.com.co/wp-content/uploads/2015/12/TABLA-4340.pdf>>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
4. *Análisis de fallas de rodamiento.* [En línea]. <[http://www.ingdatr.com.ar/pdf/007\\_analisis\\_de\\_fallas\\_de\\_rodamientos.pdf](http://www.ingdatr.com.ar/pdf/007_analisis_de_fallas_de_rodamientos.pdf)>. [Consulta: 25 de agosto de 2016].
5. Aplicaciones. *Tetraedro de aluminio.* [En línea]. <<http://cienciasdelosmaterialesalexandrap.blogspot.com/2012/12/tetraedrodelaluminio-aplicaciones-el.html>>. [Consulta: 12 de agosto de 2016].
6. Aprendamos de tecnología. *Sistema simple de poleas con correa.* [En línea]. <<https://aprendemostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].
7. Autodesk-knowledge-network. *Inventor.* [En línea]. <<http://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].

8. Blogspot. *Esbeltez en columnas*. [En línea]. <[http://esbeltezencolumnas.blogspot.com/2012/03/esbeltez-en-columnas\\_27.html](http://esbeltezencolumnas.blogspot.com/2012/03/esbeltez-en-columnas_27.html)>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
9. \_\_\_\_\_. *Fundamentos de máquinas*. [En línea]. <<http://fundamentosdemaquinashern.blogspot.com/2010/08/5.html>>. [Consulta: 4 de noviembre de 2016].
10. BROWN GRANGER, George. *Operaciones básicas de la ingeniería química*. Barcelona, España: Marin S. A., 1965. 641 p.
11. *Cálculo de engranajes de dientes rectos*. [En línea]. <[http://www.iesvnhomelinux.net/intranet/index.php?option=com\\_phocadownload&view=cagory&download=326:calculo-de-engranajes-de-diente-recto&id=55:2-mca&Itemid=49](http://www.iesvnhomelinux.net/intranet/index.php?option=com_phocadownload&view=cagory&download=326:calculo-de-engranajes-de-diente-recto&id=55:2-mca&Itemid=49)>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
12. Calidad ISO. *Rodillo de la máquina trituradora de carbón de la piedra caliza trituradora*. [En línea]. <<http://image.made-in-china.com/44f3j00ZEtQeTfsVzpw/ISO-Quality-Roller-Crusher-CoalLimestone-Rock-Crusher-Machine.jpg>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
13. CARREÑO MALLA, Jairo Santiago. *Correas de transmisión*. [En línea]. <[https://www.ecured.cu/Correa\\_de\\_transmisi%C3%B3n](https://www.ecured.cu/Correa_de_transmisi%C3%B3n)>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].

14. *Catálogo de correas industriales*. [En línea]. <[http://www.daycoaftermarket.com/download/area\\_argentina/catalogo\\_correas\\_industriales.pdf](http://www.daycoaftermarket.com/download/area_argentina/catalogo_correas_industriales.pdf)>. [Consulta: 8 de febrero de 2017].
15. *Chaveta*. [En línea]. <<http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/chaveta-definicion-significado/>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
16. COGUANOR. *Norma guatemalteca obligatoria*. [En línea]. <[http://cretec.org.gt/wp-content/files\\_mf/coguanorngo\\_34\\_02496.pdf](http://cretec.org.gt/wp-content/files_mf/coguanorngo_34_02496.pdf)>. [Consulta: 8 de septiembre de 2016].
17. Congreso de la República de Guatemala. *Decreto 44-92. Ley general de enriquecimiento de los alimentos*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala, 1992. 4 p.
18. *Constructor civil*. [En línea]. <<http://www.elconstructorcivil.com/search?updated-max=2013-09-09T10:15:00-07:00&max-results=7>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
19. Correas de distribución SKF. *Correas*. [En línea]. <<http://www.taringa.net/posts/info/11884200/Trituracion-y-Molienda-de-Mineralesapuntes.html>>. [Consulta: 10 de diciembre de 2016].
20. CUARTAS PÉREZ, Luis Alberto. *¿Qué es el mantenimiento?* [En línea]. <[http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso\\_concurso/area3/QUE\\_ES\\_EL\\_MANTENIMIENTO\\_MECANICO.pdf](http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf)>. [Consulta: 28 de diciembre de 2016].

21. *Deterioro del engranaje*. [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>>. [Consulta: 9 de diciembre 2016].
22. *El rozamiento por deslizamiento*. [En línea]. <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>>. [Consulta: 4 de diciembre de 2016].
23. Electrónica estudios. *Tutorial de engranajes*. [En línea]. <[http://www.electronicaestudio.com/docs/1550\\_Tutorial\\_de\\_ENGRANES.pdf](http://www.electronicaestudio.com/docs/1550_Tutorial_de_ENGRANES.pdf)>. [Consulta: 9 de agosto de 2016].
24. *Engranajes metálicos*. [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones.shtml>>. [Consulta: 8 de diciembre 2016].
25. *Factor de servicio, factor de seguridad y factor de diseño*. [En línea]. <[http://www.remiskungfu.mx/images/5147/Factor%20de%20Seguridad\\_Servicio\\_Dise%C3%B1o.pdf](http://www.remiskungfu.mx/images/5147/Factor%20de%20Seguridad_Servicio_Dise%C3%B1o.pdf)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
26. *Fallas superficiales*. [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>>. [Consulta: 7 de diciembre 2016].

27. *Fallas volumétricas* [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallas-superficiales-transmisiones-engranajesmetalicos/fallas-superficiales-transmisiones-engranajes-metalicos.shtml>>. [Consulta: 8 de diciembre 2016].
28. Físicalab. *Engranajes*. [En línea]. <<https://www.fiscalab.com/apartado/engranajes#contenidos>>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
29. Flujogramas y floxogramas. [En línea]. <[http://geocities.ws/ycgonza/sem/CAPITULO2\\_archivos/image008.gif](http://geocities.ws/ycgonza/sem/CAPITULO2_archivos/image008.gif)>. [Consulta: 4 de noviembre de 2016].
30. Foro MetalAfición. *Desviación en el fresado*. [En línea]. <[http://clasehn.net/marcos/mh2/mh2doc/Tema1\\_Fresado.pdf](http://clasehn.net/marcos/mh2/mh2doc/Tema1_Fresado.pdf)>. [Consulta: 18 de agosto de 2016].
31. Goodfellow. *Acero inoxidable*. [En línea]. <<http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
32. Heavy Industry. *Trituradoras de impacto*. [En línea]. <<http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradoras-de-impacto-i.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
33. \_\_\_\_\_. *Trituradora de mandíbula*. [En línea]. <<http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/trituracion.html>>. [Consulta: 22 de enero de 2017].

34. Ikeyword. *Baiwei fiber laser cutter*. [En línea]. <[http://www.mx.nsk.com/cps/rde/dtr/mx\\_es/Rodamientos\\_\\_Soportes\\_con\\_Rod.\\_\(B276-B299\).LR.pdf](http://www.mx.nsk.com/cps/rde/dtr/mx_es/Rodamientos__Soportes_con_Rod._(B276-B299).LR.pdf)>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
35. Ingemecánica. *Correas de transmisión*. [En línea]. <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>>. [Consulta: 4 de diciembre de 2016].
36. \_\_\_\_\_. *Soldadura de los aceros inoxidable*s. [En línea]. <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
37. Industrias I. *Trituración*. [En línea]. <[http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf)>. [Consulta: 22 de enero de 2017].
38. Ingeniería mecánica. *Razón de esbeltez de transición*. [En línea]. <<http://ingenieroenmecanica.blogspot.com/2014/01/razon-deesbeltez-de-transicion-i.html>>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
39. *Instituto de la sal*. [En línea]. <<http://www.institutodelasal.com/es/sobre-la-sal>>. [Consulta: 8 de septiembre de 2016].
40. Intermec. *Cuidado y mantenimiento*. [En línea]. <[https://www.intermec.com.co/pdf/Cuidado\\_y\\_mantenimiento.pdf](https://www.intermec.com.co/pdf/Cuidado_y_mantenimiento.pdf)>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].

41. \_\_\_\_\_. *Las poleas en "V"*. [En línea]. <[http://www.intermec.com.co/pdf/Las\\_poleas\\_en\\_v.pdf](http://www.intermec.com.co/pdf/Las_poleas_en_v.pdf)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
42. *Introducción al acero inoxidable*. [En línea]. <<http://www.jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-introduccion/corte-doblez/>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2016].
43. Knowledge Based Engineering, KBE. *Engranajes*. [En línea]. <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4483/fichero/6.+Engranajes.pdf>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
44. *La calidad de los alimentos*. [En línea]. <<file:///F:/Información%20de%20EPS%20CHRIS/Lery%20General%20de%20Enriquecimiento%20de%20los%20alimentos.pdf>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
45. *Las poleas*. [En línea]. <<https://es.slideshare.net/julioserranoserrano/poleas-10578877>>. [Consulta: 8 de febrero de 2017].
46. Lección 12, cementos. *Trituración, materias primas*. [En línea]. <<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
47. Léxico. *Museo de minerales/sal*. [En línea]. <<http://www.pdv.com/lexico/museo/minerales/sal.htm>>. [Consulta: 4 de noviembre de 2016].

48. Librosmejor. *Científicos aficionados*. [En línea]. <<http://www.cientificosaficionados.com/libros/solinox1.pdf>>. [Consulta: 8 de febrero de 2017].
49. Longitud de arco, sector curricular, ruedas y engranajes. *Ejercicios resueltos de trigonometría preuniversitaria en PDF*. [En línea]. <<http://matematicasn.blogspot.com/2016/01/longitud-de-arco-sector-circular-ruedas.html>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].
50. *Manual, poleas en "V". Transmisión de potencia*. [En línea]. <<http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manua-poleas-en-v-intermec.pdf>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].
51. Mantenimiento industrial para todos. *Básicos de mantenimiento (4) – paso 3: rutinas de mantenimiento por máquina*. [En línea]. <<http://www.mantenimiento4all.com/2012/10/basicos-de-mantenimiento-4-paso3.html>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2016].
52. Maquinarias. *Trituradoras de rodillos*. [En línea]. <<http://maquinariasyequiposindustriales.blogspot.com/2014/01/trituradoras-de-rodillos.html>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].
53. *Máster en ciencia e ingeniería de materiales*. [En línea]. <<http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/ingenieria-graficag709/materiales/4.1%20Elementos%20de%20maquinas.pdf>>. [Consulta: 22 de enero de 2017].

54. *Másteres oficiales científicos en IQS Barcelona*. [En línea]. <<http://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html>>. [Consulta: 8 de febrero de 2017].
55. *Mecánica*. [En línea]. <[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_polea.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_polea.htm)>. [Consulta 11 de diciembre 2016].
56. *Mecánica industrial. Mantenimiento en motorreductores*. [En línea]. <<http://wwwmecanicaindustrial.blogspot.com/2009/01/mantenimiento-enmotorreductores.html>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].
57. *Mecapedia. Criterio de Goodman*. [En línea]. <[http://www.mecapedia.uji.es/criterio\\_de\\_Goodman.htm](http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_Goodman.htm)>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
58. *Medir en el proceso de corrugado*. [En línea]. <[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=386:iqumedir-en-el-proceso-de-corrugado&catid](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=386:iqumedir-en-el-proceso-de-corrugado&catid)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
59. *Medición de la fuerza de comprensión en el plano del liner y del fluting*. [En línea]. <[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=386:iquemedirenelprocesodecorrugado&catid](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=386:iquemedirenelprocesodecorrugado&catid)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
60. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Acuerdo Gubernativo 29-2004. Reglamento para la fortificación de la sal con yodo y sal con yodo y flúor*. Guatemala: Diario de Centroamérica, 2004. 7 p.

61. Molienda. [En línea]. <<http://procesosbio.wikispaces.com/Molienda>>. [Consulta: 8 de agosto 2016].
62. *Motores eléctricos*. [En línea]. <<http://motoreselectricoscecytej.blogspot.com/>>. [Consulta: 7 de noviembre 2016].
63. *Motores paso a paso* [En línea]. <[http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas\\_tcm\\_87-170004.pdf](http://www.skf.com/binary/87-170004/Correas_tcm_87-170004.pdf)>. [Consulta: 12 de diciembre 2016].
64. MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2006. 931 p.
65. \_\_\_\_\_. *Mecánica vectorial para ingenieros*. 8a. ed. México: McGraw-Hill, 2007. 631 p.
66. \_\_\_\_\_. *Resistencia de materiales*. 5a. ed. México: Pearson Educación, 2009. 787 p.
67. Multimet. Clasificación de aceros. [En línea]. <<http://www.multimet.net/pdf/clasificacionaceros.pdf>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
68. *Multiplicador de velocidad con poleas*. [En línea]. <[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_pol\\_multiplicador.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_pol_multiplicador.htm)>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
69. Municipalidad de Guatemala. Empresa Municipal de Agua. *Programa de incorporación de fluoruro al agua de consumo de la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala, 1988. 50 p.

70. *Normas microbiológicas de los alimentos.* [En línea]. <file:///F:/Información%20de%20EPS%20CHRIS/Lery%20General%20de%20Enrquecimiento%20de%20los%20alimentos.pdf>. [Consulta: 11 de febrero de 2017].
71. Opac. *Elementos normalizados.* [En línea]. <http://www.tosuga.com/pdf/pespeciales/Chavetas.pdf>. [Consulta: 28 de diciembre de 2016].
72. Operación unitaria de la ingeniería química. *Trituración y molienda.* [En línea]. <https://es.slideshare.net/sharo007/trituracin-y-molienda>. [Consulta: 8 de febrero de 2017].
73. Organización Mundial de la Salud. *Centro de prensa.* [En línea]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs318/es/>. [Consulta: 2 de septiembre de 2016].
74. *Polamalu.* [En línea]. <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>. [Consulta: 11 de diciembre 2016].
75. *Polea trapecial.* [En línea]. <http://www.dinamica.net/repositori/documents/productes/es/Polea\_Trapecial.pdf>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
76. *Principios físicos del funcionamiento de un motor eléctrico.* [En línea]. <http://historiaybiografias.com/archivosvarios4/motorelectrico.jpg>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

77. Productos de mantenimiento y lubricación SKF. *Prolongando el ciclo de vida de los rodamientos*. [En línea]. <[http://www.skf.com/binary/86-163650/03000\\_ES.pdf](http://www.skf.com/binary/86-163650/03000_ES.pdf)>. [Consulta: 4 de diciembre de 2016].
78. Productos Sealmaster. *Embragues y chumaceras*. [En línea]. <[http://www.ehowenespanol.com/chumacera-sobre\\_544770/](http://www.ehowenespanol.com/chumacera-sobre_544770/)>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
79. *Propiedades físicas y mecánicas del acero inoxidable*. [En línea]. <<http://www.wesco.com.co/userfiles/propiedades%20acero%20inox%20serie%20300.pdf>>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
80. *Punto seco*. [En línea]. <[http://materiales.puntoseco.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/p/e/perno\\_fwa\\_1.png](http://materiales.puntoseco.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/p/e/perno_fwa_1.png)>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
81. *Recomendaciones sobre el uso de fluoruros para prevenir y controlar la caries dental en los Estados Unidos*. [En línea]. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1020-49892002000100019>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2016].
82. Facultad de Odontología, Usac. *Catálogo de estudio odontológico*. [En línea]. <<https://www.usac.edu.gt/catalogo/odontologia.pdf>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
83. SALAS LARA, César Germán. *Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al área de alimentos del CESTTA-ESPOCH*. Ecuador: Riobamba, 2012. 76 p.

84. SÁNCHEZ, Edgar; VANEGAS, Lissette y VILLAGRÁN, Ernesto. *Estudio epidemiológico de caries dental y fluorosis en Guatemala*. [En línea]. <<http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2009/OH-GUTcpo.pdf>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2016].
85. Scribd. Cálculo de engranajes. [En línea]. <<https://es.scribd.com/doc/73420324/CALCULO-DE-ENGRANAJES>>. [Consulta: 19 de enero de 2017].
86. \_\_\_\_\_. *Ficha técnica de maquinaria*. [En línea]. <<https://es.scribd.com/doc/110204705/FICHA-TECNICA-DE-MAQUINARIA>>. [Consulta: 9 de enero de 2017].
87. \_\_\_\_\_. *Operaciones unitarias (trituración y molienda)*. [En línea]. <<https://es.scribd.com/doc/57599554/operaciones-unitarias-trituracion-y-molienda>>. [Consulta: 19 de enero de 2017].
88. Sew. *Instrucciones de montaje y mto.* [En línea]. <<http://es.slideshare.net/festrada/ew-instrucciones-de-montaje-y-mtto>>. [Consulta: 10 de diciembre 2016].
89. SHIGLEY, Joseph Edward. y MITCHELL, Leonard. *Manual de diseño mecánico*. 8a ed. México: McGraw-Hill 2008. 1062 p.
90. *Sistema de transporte y almacenamiento de alimentos*. [En línea]. <<file:///F:/Información%20de%20EPS%20CHRIS/diseño%20de%20tolva.pdf>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].

91. Slideshare. *Instrucciones de montaje*. [En línea]. <<http://es.slideshare.net/festrada/sew-instrucciones-de-montaje-y-mtto>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
92. \_\_\_\_\_. *Mantenimiento a motor eléctrico*. [En línea]. <<http://es.slideshare.net/FaustoARamosPuc/mantenimiento-a-motorelectrico>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
93. SOSA ROSALES, Maritza de la Caridad. *Evolución de la fluoruración como medida para prevenir la caries dental*. [En línea]. <[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S086434662003000300011&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086434662003000300011&lng=es)>. [Consulta: 2 de septiembre de 2016].
94. Tamizado y molienda. *Molino de martillos*. [En línea]. <[http://puertodemamonal.com/cms/wpcontent/uploads/2012/12/Ta\\_bla\\_de\\_densidades.pdf](http://puertodemamonal.com/cms/wpcontent/uploads/2012/12/Ta_bla_de_densidades.pdf)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
95. *Tecno-Widia*. Fresa de módulo para tallar engranajes [En línea]. <[http://www.tecno-widia.com.ar/milling\\_tools%2010.html](http://www.tecno-widia.com.ar/milling_tools%2010.html)>. [Consulta: 10 de diciembre de 2016].
96. Tecsup. *Manual de operación y mantenimiento*. [En línea]. <<https://www.tecsup.edu.pe/home/consultoria-e-investigaciones/elaboracion-de-manuales/>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
97. Temas científicos. *Principios físicos del funcionamiento de un motor eléctrico descripción básica*. [En línea]. <[http://historiaybiografias.com/motor\\_electrico/](http://historiaybiografias.com/motor_electrico/)>. [Consulta: 4 de diciembre de 2016].

98. *Tetraedro de aluminio*. [En línea]. <<http://cienciasdelos materiales alexandrap.blogspot.com/2012/12/tetraedrodelaluminioaplicaciones-el.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
99. *Tipos de chancadores*. [En línea]. <<https://yomineria.jimdo.com/metalurgiaextractiva/conminucion/tipos-de-chancadores/>>. [Consulta: 8 de agosto 2016].
100. *Transmisiones engranajes*. [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/fallassuperficialestransmisionesengranajes metalicos / fallas - superficiales transmisiones - engranajes metalicos.shtml>>. [Consulta: 8 de diciembre 2016].
101. *Trituración*. [En línea]. <[file:///F:/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](file:///F:/05_Apunte%20Trituracion.pdf)>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
102. *Trituración. Procesos industriales*. [En línea]. <[http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/20131C/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/20131C/05_Apunte%20Trituracion.pdf)>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
103. *Trituradora de giratoria*. [En línea]. <<http://procedimientos construccion.blogs.upv.es/files/2013/03/Trituradora-giratoria.jpg>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
104. *Trituradora de impacto*. [En línea]. <<http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradoras-de-impacto-i.html>>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].

105. *Trituradora de mandíbulas*. [En línea]. <<http://trituradoras-de-roca.com/uploads/allimg/120827/1-120RG43JY13.jpg>>. [Consulta: 8 de agosto 2016].
106. *Trituración de materia prima*. [En línea]. <<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>>. [Consulta septiembre 2016].
107. *Trituradora de rocas*. [En línea]. <<http://trituradoras-de-roca.com/uploads/allimg/120803/1-120P3140QM34.jpg>>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
108. Universidad de Huelva, España. *Diseño de máquinas*. [En línea]. <<http://www.uhu.es/rafael.sanchez/disenodemaquinas/carpetadeapuntessedisenodemaquinas/Tema%201%20Conceptos%20fundamentales.pdf>>. [Consulta: 28 de diciembre de 2016].
109. Universidad de las Americas, Puebla. *Programa para el diseño y revisión de placas base y anclas para vigas de acero*. [En línea]. <[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/orozco\\_l\\_d/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/orozco_l_d/capitulo3.pdf)>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
110. Universidad de Pamplona, Colombia. *Factor de servicio, factor de seguridad, y factor de diseño*. [En línea]. <[http://www.remiskungfu.mx/images/5147/Factor%20de%20Seguridad\\_Servicio\\_Dise%C3%B1o.pdf](http://www.remiskungfu.mx/images/5147/Factor%20de%20Seguridad_Servicio_Dise%C3%B1o.pdf)>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].

111. Universidad Nacional de San Agustín, Perú. *Los cutes o tolvas*. [En línea]. < <https://es.slideshare.net/mauricioantonio1291/tolvas> >. [Consulta: 8 de febrero de 2017].



## ANEXOS

### Anexo 1. Selección de poleas

Polea Trapecial ciega									
NORMAS: DIN2211-ISO4183									
Tolerancias									
T = Tolerancia del Diámetro primitivo (dw.)									
E = Tolerancia de excentricidad referida al Ø exterior.									
L = Tolerancia de oscilación lateral referida al Ø primitivo.									
■ Máxima diferencia en el <b>dw</b> de los canales en una misma polea: SPZ-SPA-SPB=0,4mm., SPC=0,6mm.									
Ø primitivo (dw)	T (mm)		E (mm)	L (mm)	Ø primitivo (dw)	T (mm)		E (mm)	L (mm)
	+	-				+	-		
50	0,4	0,4	0,2	0,2	224	1,8	1,8	0,4	0,4
56	0,4	0,4	0,2	0,2	236	1,9	1,9	0,4	0,4
63	0,5	0,5	0,2	0,2	250	2,0	2,0	0,4	0,4
71	0,6	0,6	0,2	0,2	280	2,2	2,2	0,5	0,5
80	0,6	0,6	0,2	0,2	300	2,4	2,4	0,5	0,5
90	0,7	0,7	0,2	0,2	315	2,5	2,5	0,5	0,5
100	0,8	0,8	0,2	0,2	355	2,8	2,8	0,5	0,5
112	0,9	0,9	0,3	0,3	400	3,2	3,2	0,5	0,5
118	1,0	1,0	0,3	0,3	450	3,6	3,6	0,6	0,6
125	1,0	1,0	0,3	0,3	500	4,0	4,0	0,6	0,6
132	1,0	1,0	0,3	0,3	560	4,5	4,5	0,6	0,6
140	1,1	1,1	0,3	0,3	630	5,0	5,0	0,6	0,6
150	1,2	1,2	0,3	0,3	710	5,7	5,7	0,6	0,6
160	1,3	1,3	0,3	0,3	800	6,4	6,4	0,6	0,6
180	1,4	1,4	0,4	0,4	900	7,2	7,2	0,6	0,6
190	1,5	1,5	0,4	0,4	1000	8,0	8,0	0,6	0,6
200	1,6	1,6	0,4	0,4	1120	9,0	9,0	1,0	1,0
212	1,7	1,7	0,4	0,4	1250	10,0	10,0	1,0	1,0

Fuente: *Polea trapecial*. [http://www.dinamica.net/repositori/documents/productes/es/Polea\\_Trapecial.pdf](http://www.dinamica.net/repositori/documents/productes/es/Polea_Trapecial.pdf)\_Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 2. Selección de poleas

Tablade compatibilidadentre losprincipalestipos de correatrapezoidalylas poleas SIT											
PERFIL CORREAS	CLASICAS				ESTRECHAS				RMA		
	Z	A	B	C	SPZ	SPA	SFB	SPC	3V	5V	8V
SECCION	10x6	13x8	17x11	22x14	9,7x8	12,7x10	17,3x13	22x18	9,5x8	16x13,5	25,5x23
Poleas ciegas	S FZ	●				●				●	
	S PA		●				●				●
	S FB			●			●				
	C				●				○		
Poleas para taper	S FZ	●				●				●	
	S PA		●				●				●
	S FB			●			●				
	S PC				●				●		

● = SI ○ = NO

Fuente: *Polea trapezoidal*. [http://www.dinamica.net/repositori/documents/productes/es/Polea\\_Trapezoidal.pdf](http://www.dinamica.net/repositori/documents/productes/es/Polea_Trapezoidal.pdf)\_Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 3. Material de los engranes

COMPOSICIÓN QUÍMICA		PROPIEDADES MECÁNICAS												
SAE 4340	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Estado de suministro	Resistencia a la tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell
	0.38 / 0.43								Laminado en caliente	65 - 75	45	20	50	210/240
	0.60 / 0.80								Calibrado	75 - 85	65	10	30	240/260
	0.035 max.								Bonificado	90 - 110	80	16	45	260/320
0.040 max.														
0.15 / 0.35														
0.70 / 0.90														
0.20 / 0.30														
1.65 / 2.00														
TRATAMIENTO TÉRMICO														
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C							ENFRIAMIENTO						
Normalizado	850-870°C							Aire						
Recocido	690-720°C							Horno						
Temple	820-860°C							Acetle						
Revenido	540-660°C							Aire						
Forja	850-1100°C							Ceniza e CAL						
CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES														
<b>CARACTERÍSTICAS:</b> Acero de gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga en piezas de gran sección. No presenta fragilidad de revenido y posee maquinabilidad a dureza relativamente alta, resistencia a la torsión. En MARCA ASSAB es equivalente al 705.														
<b>APLICACIONES:</b> Utilizado en tornillería de alta resistencia, levas de mando, engranajes para maquinaria templados por inducción, ejes para carros y camiones, discos de frenos, cordones, bielas para motores, árboles para carros, ejes de transmisión de grandes dimensiones. No se recomienda utilizar sin tratamiento térmico.														
Soldadura: AWS EB016, B2 / Dureza obtenida después de tratamiento térmico 55 - 57 HRC.														

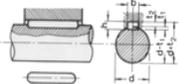
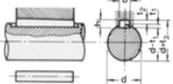
Fuente: *Aceros aleados para temple y revenido*. <http://reydin.com.co/wp-content/uploads/2015/12/TABLA-4340.pdf>. Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 4. Material de los engranes

<b>NORMAS EQUIVALENTES</b>	
Afnor(Fr)...35NCD6 - Bs(Ing)l)...817M40 - Din(Alem) 16565 - Jis(Jap) SNCM439 - Uni(Ital)... 36NiCrMo4 - <b>AISI/SAE 4340</b>	
<b>PERFILES USUALES</b>	De 76mm hasta 254mm (3" a 10") perfiles hasta 570mm (22.1/2") consultar stock

Fuente: *Aceros aleados para temple y revenido*. <http://reydin.com.co/wp-content/uploads/2015/12/TABLA-4340.pdf>. Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 5. Selección de chavetas

<b>DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887</b> STANDARD KEYWAYS S/DIN 6885/1 - 6886 and 6887					
					
		Chaveta paralela S/DIN-6885/1		Chaveta de cuña S/DIN-6886	
Ø eje d mm desde-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo			
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887	
		d + t <sub>2</sub> m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	d + t <sub>2</sub> m/m	Tol. admisible (en altura)m/m
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4	
30-38	10x8	d+3,4		d+2,8	
38-44	12x8	d+3,2	+0,2	d+2,6	+0,2
44-50	14x9	d+3,6		d+2,9	
50-58	16x10	d+3,9		d+3,2	
58-65	18x11	d+4,3		d+3,5	
65-75	20x12	d+4,7		d+3,9	
75-85	22x14	d+5,6		d+4,8	
85-95	25x14	d+5,4		d+4,6	
95-110	28x16	d+6,2		d+5,4	
110-130	32x18	d+7,1		d+6,1	
130-150	36x20	d+7,9		d+6,9	
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7		
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9		
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1		

Fuente: Dimensiones chaveteros y chavetas S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887.  
<http://www.cadersa.es/Pag72.htm>. Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 6. Selección de chavetas

Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
$t_i$ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	$\varnothing$ m/m desde-hasta	Tol. H-7 m/m
3,5	+0,2	10-18	+0,018 0
4,1			
4,7		30-50	+0,025 0
4,9			
5,5		50-80	+0,030 0
6,2			
6,8		80-120	+0,035 0
7,4			
8,5		120-180	+0,040 0
8,7			
9,9	+0,3	180-250	+0,046 0
11,1		250-315	+0,052 0
12,3			
13,5		315-400	+0,057 0
15,3			
17			

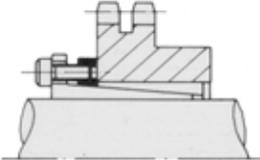
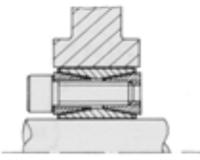
Fuente: Dimensiones chaveteros y chavetas S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887.

<http://www.cadersa.es/Pag72.htm>. Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 7. Selección de chavetas

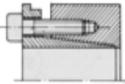
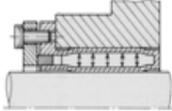
Zonas de tolerancia en el ancho de los chaveteros		
Tipo de ajuste	chavetero eje	chaveteo rueda
A presión (forzado) <i>forced</i>	P9	P9
Ligero	N9	J9
Deslizante	H8	D10

CONOS DE DESPRENDIMIENTO RAPIDO Y CASQUILLOS ETP	
	

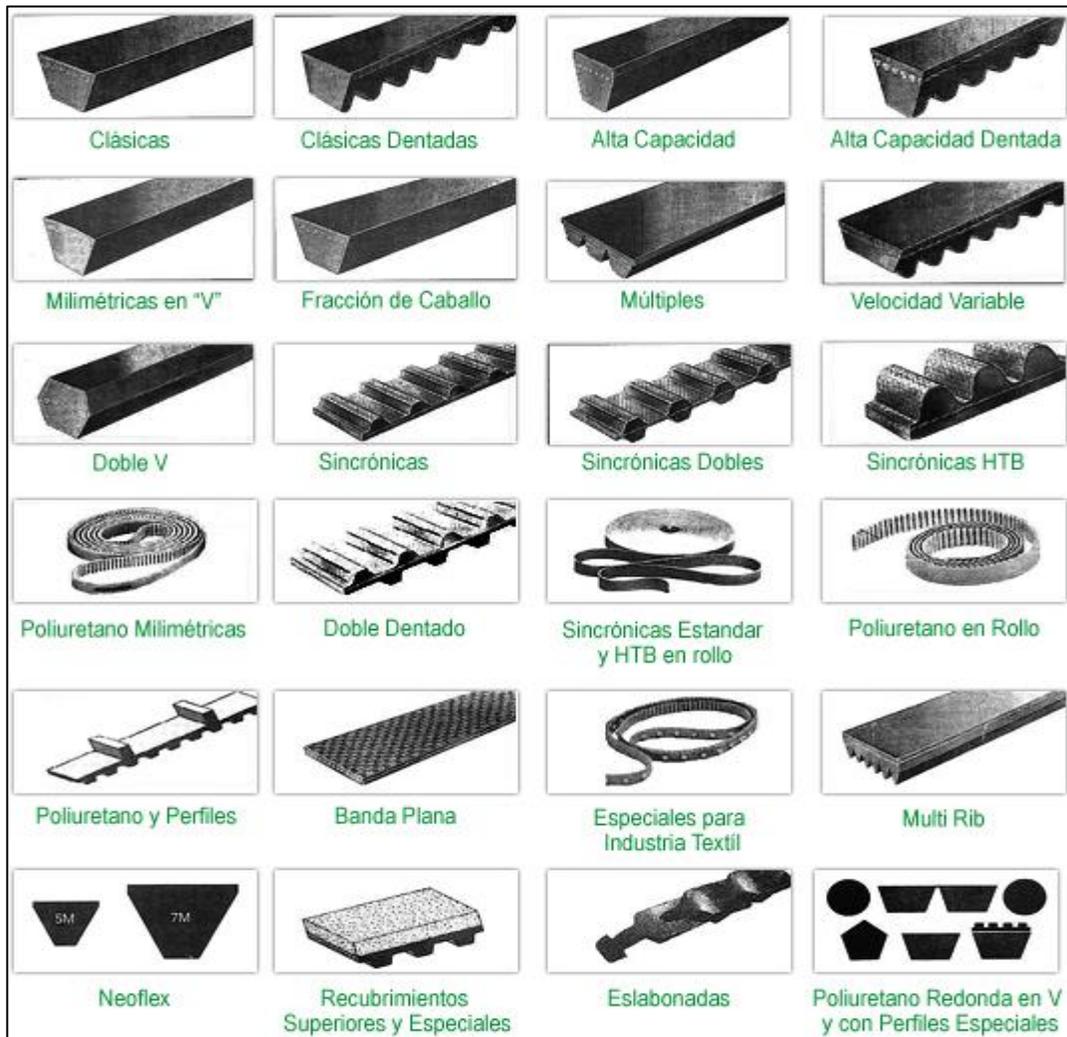
Fuente: Dimensiones chaveteros y chavetas S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887.  
<http://www.cadersa.es/Pag72.htm>. Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 8. Selección de chavetas

<p>La chaveta deberá dimensionarse de manera que pueda transmitir el mismo momento o par de torsión que el eje correspondiente. Por ello, la longitud de dicha chaveta deberá ser, como mínimo, igual a 1,5 veces el diámetro del eje.</p> <p>Los chaveteros de eje y rueda deberán tener bordes redondeados ( en todos los sentidos) para evitar la formación de grietas y posteriores roturas.</p>	
	

Fuente: Dimensiones chaveteros y chavetas S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887.  
<http://www.cadersa.es/Pag72.htm>. Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 9. Selección de bandas de transmisión



Fuente: BYC, rodamientos y suministros. *Bandas*.

[http://bycrodamientos.mex.tl/1037855\\_BANDAS.html](http://bycrodamientos.mex.tl/1037855_BANDAS.html). Consulta: 3 de enero de 2017.

Anexo 10. Selección de bandas de transmisión

		<b>CATÁLOGO DE CORREAS INDUSTRIALES</b>		<b>2010</b>	
<b>DAYCO GOLD LABEL V - MM</b> <b>CORREAS TRAPECIALES DE SECCIÓN CONVENCIONAL</b>					
<b>SECCIÓN "A" (13 x 8 mm.)</b>			<b>SECCIÓN "A" (13 x 8 mm.)</b>		
TIPO	DESARROLLO INTERIOR mm.	DESARROLLO PRIMITIVO mm.	TIPO	DESARROLLO INTERIOR mm.	DESARROLLO PRIMITIVO mm.
A37,50	953	986	A64	1626	1659
A38	965	998	A65	1651	1684
A38,50	978	1011	A66	1676	1709
A39	991	1024	A67	1702	1735
A39,50	1003	1036	A68	1727	1760
A40	1016	1049	A69	1753	1786
A40,50	1029	1062	A70	1778	1811
A41	1041	1074	A70,75	1797	1830
A41,50	1054	1087	A71	1803	1836
A41,75	1060	1093	A72	1829	1862
A42	1067	1100	A73	1854	1887
A42,50	1080	1113	A74	1880	1913
A43	1092	1125	A75	1905	1938
A43,50	1105	1138	A76	1930	1963
A43,75	1111	1144	A77	1956	1989
A44	1118	1151	A78	1981	2014
A44,50	1130	1163	A79	2007	2040
A45	1143	1176	A80	2032	2065
A45,50	1156	1189	A81	2057	2090
A46	1168	1201	A82	2083	2116
A46,50	1181	1214	A83	2108	2141
A47	1194	1227	A83,50	2121	2154
A48	1219	1252	A84	2134	2167
A48,25	1226	1259	A85	2159	2192
A49	1245	1278	A86	2184	2217
A50	1270	1303	A87	2210	2243
A51	1295	1328	A88	2235	2268

Fuente: Aftermarket. *Catálogo de correas industriales 2010.*

[http://www.daycoaftermarket.com/download/area\\_argentina/catalogo\\_correas\\_industriales.pdf](http://www.daycoaftermarket.com/download/area_argentina/catalogo_correas_industriales.pdf).

Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 11. Selección de bandas de transmisión

A51,50	1308	1341	A89	2261	2294
A52	1321	1354	A90	2286	2319
A52,50	1334	1367	A91	2311	2344
A53	1346	1379	A92	2337	2370
A53,25	1353	1386	A93	2362	2395
A54	1372	1405	A94	2388	2421
A55	1397	1430	A95	2413	2446
A56	1422	1455	A96	2438	2471
A57	1448	1481	A97	2464	2497
A58	1473	1506	A97,50	2477	2510
A59	1499	1532	A98	2489	2522
A60	1524	1557	A99	2515	2548
A61	1549	1582	A100	2540	2573
A62	1575	1608	A101	2565	2598
A63	1600	1633	A102	2591	2624

PESO EN gr./m. = 100

PESO EN gr./m. = 100

La potencia **original** en movimiento



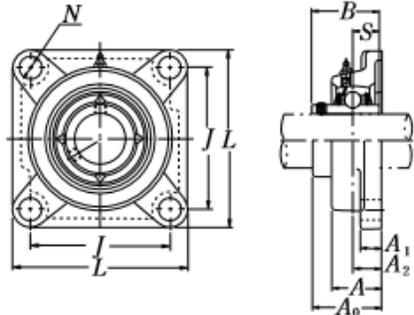
Fuente: Aftermarket. *Catálogo de correas industriales 2010.*

[http://www.daycoaftermarket.com/download/area\\_argentina/catalogo\\_correas\\_industriales.pdf](http://www.daycoaftermarket.com/download/area_argentina/catalogo_correas_industriales.pdf).

Consulta: 3 de enero de 2017.

## Anexo 12. Selección de chumaceras

**Soportes tipo brida cuadrada con tornillos de apriete**



Diám. Eje  mm pulgadas	Designación soporte(*)	Dimensiones nominales									Tamaño tornillo  mm pulgadas	Número de rodamiento
		mm pulgadas										
		L	J	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A	N	A <sub>0</sub>	B	S		
<b>12</b>	<b>UCF201D1</b>	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC201D1
<b>1/2</b>	<b>UCF201-008D1</b>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>33</sup> / <sub>64</sub>	19/32	7/16	1	15/32	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	1.2205	0.500	3/8	UC201-008D1
<b>15</b>	<b>UCF202D1</b>	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC202D1
<b>9/16</b>	<b>UCF202-009D1</b>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>33</sup> / <sub>64</sub>	19/32	7/16	1	15/32	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	1.2205	0.500	3/8	UC202-009D1
<b>5/8</b>	<b>UCF202-010D1</b>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>33</sup> / <sub>64</sub>	19/32	7/16	1	15/32	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	1.2205	0.500	3/8	UC202-010D1
<b>17</b>	<b>UCF203D1</b>	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC203D1
<b>11/16</b>	<b>UCF203-011D1</b>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>33</sup> / <sub>64</sub>	19/32	7/16	1	15/32	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	1.2205	0.500	3/8	UC203-011D1
<b>20</b>	<b>UCF204D1</b>	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC204D1
<b>3/4</b>	<b>UCF204-012D1</b>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>33</sup> / <sub>64</sub>	19/32	7/16	1	15/32	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	1.2205	0.500	3/8	UC204-012D1

Fuente: Ikeyword. *Baiwei fiber laser cutter*.

[http://www.mx.nsk.com/cps/rde/dtr/mx\\_es/Rodamientos\\_-\\_Soportes\\_con\\_Rod.\\_\(B276-B299\).LR.pdf](http://www.mx.nsk.com/cps/rde/dtr/mx_es/Rodamientos_-_Soportes_con_Rod._(B276-B299).LR.pdf). Consulta: 3 de enero de 2017.

### Anexo 13. Selección de chumaceras

<b>25</b>	<b>UCF205D1</b>	95	70	16	13	27	12	35.8	34.1	14.3	M10	UC205D1
<b>13/16</b>	<b>UCF205-013D1</b>											UC205-013D1
<b>7/8</b>	<b>UCF205-014D1</b>	33/4	23/4	5/8	1/2	11/16	15/32	113/32	1.3425	0.563	3/8	UC205-014D1
<b>15/16</b>	<b>UCF205-015D1</b>											UC205-015D1
<b>1</b>	<b>UCF205-100D1</b>											UC205-100D1
<b>30</b>	<b>UCF206D1</b>	108	83	18	13	31	12	40.2	38.1	15.9	M10	UC206D1
<b>11/16</b>	<b>UCF206-101D1</b>											UC206-101D1
<b>11/8</b>	<b>UCF206-102D1</b>	41/4	317/64	45/64	1/2	17/32	15/32	137/64	1.5000	0.626	3/8	UC206-102D1
<b>13/16</b>	<b>UCF206-103D1</b>											UC206-103D1
<b>11/4</b>	<b>UCF206-104D1</b>											UC206-104D1
<b>35</b>	<b>UCF207D1</b>	117	92	19	15	34	14	44.4	42.9	17.5	M12	UC207D1
<b>11/4</b>	<b>UCF207-104D1</b>											UC207-104D1
<b>15/16</b>	<b>UCF207-105D1</b>	419/32	35/8	3/4	19/32	111/32	35/64	13/4	1.6890	0.689	7/16	UC207-105D1
<b>13/8</b>	<b>UCF207-106D1</b>											UC207-106D1
<b>17/16</b>	<b>UCF207-107D1</b>											UC207-107D1
<b>40</b>	<b>UCF208D1</b>	130	102	21	15	36	16	51.2	49.2	19	M14	UC208D1
<b>11/2</b>	<b>UCF208-108D1</b>	51/8	41/64	53/64	19/32	113/32	5/8	21/64	1.9370	0.748	1/2	UC208-108D1
<b>19/16</b>	<b>UCF208-109D1</b>											UC208-109D1
<b>45</b>	<b>UCF209D1</b>	137	105	22	16	38	16	52.2	49.2	19	M14	UC209D1
<b>15/8</b>	<b>UCF209-110D1</b>											UC209-110D1
<b>111/16</b>	<b>UCF209-111D1</b>	513/32	49/64	55/64	5/8	11/2	5/8	21/16	1.9370	0.748	1/2	UC209-111D1
<b>13/4</b>	<b>UCF209-112D1</b>											UC209-112D1

**Nota** (1) Estas designaciones de soporte indican el tipo relubricable. Si se necesita el tipo sin mantenimiento, seleccione los tipos sin el sufijo "D1".

Fuente: Ikeyword. *Baiwei fiber laser cutter*.

[http://www.mx.nsk.com/cps/rde/dtr/mx\\_es/Rodamientos\\_-\\_Soportes\\_con\\_Rod.\\_\(B276-B299\).LR.pdf](http://www.mx.nsk.com/cps/rde/dtr/mx_es/Rodamientos_-_Soportes_con_Rod._(B276-B299).LR.pdf). Consulta: 3 de enero de 2017.