

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA  
DE HOJAS SECAS DE GUAYUSA CON UNA CAPACIDAD DE  
6.5 QUINTALES POR HORA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**FERNANDO SANTIAGO RAMOS PEÑA**

**fernando\_ramos\_p@hotmail.com**

**KLEBER ALEXANDER VEGA FIALLOS**

**alex\_vega\_90@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. JAIME RAÚL VARGAS TIPANTA**

**jaime.vargas@epn.edu.ec**

**Quito, Marzo 2015**

## DECLARACIÓN

Nosotros, FERNANDO SANTIAGO RAMOS PEÑA y KLEBER ALEXANDER VEGA FIALLOS, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Fernando Santiago Ramos Peña

---

Kleber Alexander Vega Fiallos

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado Fernando Santiago Ramos Peña y Kleber Alexander Vega Fiallos bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Jaime Raúl Vargas Tipanta  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Jorge Humberto Escobar Lafuente.  
CODIRECTOR

## **AGRADECIMIENTOS**

Dios, por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida.

A mis padres, que con su amor, comprensión y sabios consejos, me supieron apoyar durante mi formación universitaria. No me bastará la vida para demostrarles el amor, la gratitud y admiración que siento por ustedes.

A mi compañero y amigo, Kleber Vega, con quien compartimos esta experiencia hasta su feliz culminación.

A mis amigos Jorge S., Alejandra T., Paul G., Víctor V. y Oscar A., gracias por todas las vivencias compartidas dentro y fuera de las aulas, espero que la finalización de esta etapa no signifique un distanciamiento, que nuestra amistad perdure.

A todos los profesores y trabajadores de la poderosa Facultad de Ingeniería Mecánica, quienes impartieron sus conocimientos sembrando el inicio de lo que se espera sea una exitosa vida profesional.

**Fernando Ramos Peña**

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas.

A mis padres Kleber y Marcia, que con su esfuerzo y sacrificio, consejos y sabiduría supieron llenar mi vida de aptitud y fortaleza, incentivándome siempre a no abandonar mis sueños, que poco a poco se están cumpliendo. A mi hermana Jazmín, que con su ternura y felicidad colma mis días de alegría.

A mi familia, a mis abuelitos, tíos y primos, que me brindan su apoyo y agrado, siempre respaldándome para seguir adelante.

A mi compañero Fernando Ramos, gracias por todas las experiencias que nos hicieron amigos dentro y fuera de las aulas.

Agradezco a la Gloriosa Facultad de Ingeniería Mecánica, por haberme dado triunfos vistiendo la roja y negra querida. Al ing. Jaime Vargas que aparte de ser un docente también compartió su amistad.

**Kleber Vega Fiallos**

## DEDICATORIA

Todo el esfuerzo dedicado a la culminación de mis estudios universitarios y a la ejecución de este proyecto de titulación se lo dedico a Dios, por permitirme tener salud, sabiduría y la fortaleza necesaria para siempre seguir adelante.

A mi madre Isabel Peña y a mi padre Vicente Ramos, por contar con su apoyo incondicional, por su esfuerzo, sacrificio y por brindarme todos los recursos necesarios para alcanzar esta meta. Gracias por hacer de mí una persona de carácter, de principios y valores, por enseñarme a ser perseverante en el camino hasta cumplir mis objetivos.

A mi hermana Jéssica, quien compartió conmigo largas jornadas de tareas y prolongadas noches de estudio. A mi hermano Diego, quien a pesar de la distancia siempre me tiene presente. A ustedes hermanos quiero demostrarles que con esfuerzo y dedicación se obtiene todo lo que uno sueña.

A mi familia paterna y materna, gracias a todas por estar siempre pendientes, por su cariño, sus consejos y por ser parte importante de mi vida desde la niñez.

**Fernando Ramos Peña**

A mi padre, que con su carácter me enseñó que nunca hay que rendirse en la vida, que después de las derrotas hay que levantarse y seguir adelante.

A mi madre, que con su ternura y su confianza siempre trata de hacer de mí, una mejor persona. Padres gracias por la confianza que depositaron en mí.

A mi hermana, que es el amor de mi vida. Tú eres el motivo para seguir triunfando y espero lo mismo para ti.

A mi familia, ustedes representan la unión y la amistad, ese es el mejor ejemplo que me pueden dar.

A mis amigos y a mi persona favorita, que siempre estuvieron y estarán en mi camino.

**Kleber Vega Fiallos**

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
1.2.3 ALCANCES .....	2
1.2.4 JUSTIFICACIÓN.....	2
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 MATERIA PRIMA.....	4
2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE GUAYUSA .....	4
2.1.2 DATOS ECOLÓGICOS .....	5
2.1.3 DATOS TAXONÓMICOS .....	5
2.1.4 USOS COMERCIALES DE LA GUAYUSA.....	6
2.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	6
2.1.6 USOS MEDICINALES .....	8
2.1.7 ESTUDIOS SOBRE LA INFORMACIÓN NUTRICIONAL.....	8
2.2 PLANTACIONES.....	8
2.2.1 SELECCIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE ESTACAS.....	9
2.2.2 OBTENCIÓN DE ESTACAS.....	10
2.2.3 PREPARACIÓN DE VIVEROS.....	11
2.2.4 SIEMBRA DEFINITIVA DE LA PLANTA.....	12
2.2.5 PODA DE LA PLANTA .....	12
2.2.6 IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS PARA LA COSECHA.....	12
2.2.7 MATERIALES E INSUMOS PARA LA COSECHA .....	13
2.2.8 CONSIDERACIONES PARA LA COSECHA.....	14

2.2.9	TRANSPORTE .....	14
2.2.10	GRADO DE RESISTENCIA DE LAS HOJAS DE GUAYUSA.....	14
2.3	FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TRITURACIÓN .....	16
2.3.1	CLASES DE TRITURACIÓN .....	16
2.3.2	TAMAÑO DE DESINTEGRACIÓN .....	17
2.3.2.1	Trituración (desintegración grosera) .....	17
2.3.2.2	Molienda (desintegración fina) .....	17
2.3.3	TRITURADORA.....	17
2.3.3.1	Tipos de trituradoras .....	18
2.3.3.2	Trituradora de mandíbulas .....	18
2.3.3.3	Trituradora giratoria.....	19
2.3.3.3.1	Trituradora de eje vertical y apoyo superior .....	20
2.3.3.3.2	Trituradora de eje vertical y apoyo inferior .....	20
2.3.3.4	Trituradora de rodillos .....	22
2.3.3.5	Trituradora de impacto o martillos.....	23
2.3.3.5.1	Trituradora de martillos de eje horizontal .....	23
2.3.3.5.2	Trituradora de martillos de eje vertical .....	24
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>25</b>
<b>ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS</b>	.....	<b>25</b>
3.1	PARÁMETROS FUNCIONALES.....	25
3.2	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	26
3.2.1	CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA.....	26
3.2.2	CAPACIDAD DE CARGA DE LA ESTRUCTURA .....	28
3.2.3	ESPACIO FÍSICO REQUERIDO (LARGO, ANCHO Y ALTURA).....	28
3.2.4	GRADO DE TRITURACIÓN REQUERIDO .....	29
3.2.5	ERGONOMÍA .....	30
3.2.6	CAPACIDAD DE LA TOLVA.....	30
3.2.6.1	Tamaño de alimentación .....	30
3.2.7	PESO DEL PROTOTIPO.....	31
3.2.8	INVERSIÓN PRINCIPAL .....	32

3.2.9	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	32
3.3	TRABAJO DE CAMPO.....	33
3.4	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....	33
3.4.1	ALTERNATIVA 1: TRITURADORA GIRATORIA.....	33
3.4.1.1	Ventajas de la alternativa 1 .....	34
3.4.1.2	Desventajas de la alternativa 1 .....	34
3.4.2	ALTERNATIVA 2: TRITURADORA DE RODILLOS DENTADOS.....	35
3.4.2.1	Ventajas de la alternativa 2 .....	35
3.4.2.2	Desventajas de la alternativa 2 .....	36
3.4.3	TRITURADORA DE IMPACTO O MARTILLOS.....	36
3.4.3.1	Ventajas de la alternativa 3 .....	37
3.4.3.2	Desventajas de la alternativa 3 .....	37
3.5	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA A CONSTRUIRSE .....	38
3.6	PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	40
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>41</b>
<b>DISEÑO DE LOS ELEMENTOS A CONSTRUIRSE Y SELECCIÓN DE</b>		
<b>ELEMENTOS NORMALIZADOS</b>	.....	<b>41</b>
4.1	TRITURADORA DE RODILLOS .....	41
4.2	DISEÑO DE LOS RODILLOS .....	41
4.2.1	NÚMERO DE RODILLOS.....	42
4.2.2	DÍAMETRO DE LOS RODILLOS.....	42
4.2.2.1	Ángulo de separación entre rodillos .....	42
4.2.2.2	Determinación del coeficiente de fricción .....	42
4.2.2.3	Cálculo del diámetro de los rodillos.....	44
4.2.3	LONGITUD DE LOS RODILLOS .....	45
4.2.4	REVOLUCIONES POR MINUTO DE LOS RODILLOS .....	46
4.2.5	CAPACIDAD DE TRITURACIÓN DE LOS RODILLOS .....	46
4.2.5.1	Densidad de la hoja de guayusa .....	46
4.2.5.2	Humedad de la hoja de guayusa.....	50
4.2.5.3	Capacidad.....	52



4.2.6	SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE LAS HOJAS DE GUAYUSA Y LOS RODILLOS .....	53
4.2.7	CARGA EN LOS RODILLOS.....	54
4.2.7.1	Esfuerzo de compresión unitaria.....	54
4.2.8	SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LOS RODILLOS .....	55
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO .....	55
4.3.1	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS POLEAS .....	56
4.3.2	SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LAS POLEAS .....	58
4.3.3	CÁLCULO DE LOS ENGRANES.....	58
4.3.4	SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LOS ENGRANES .....	62
4.3.5	SELECCIÓN DE LAS LENGÜETAS.....	63
4.3.5.1	Dimensiones de lengüetas y lengüeteros .....	63
4.3.5.2	Selección del material de las lengüetas .....	64
4.4	CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LOS ELEMENTOS. 65	
4.4.1	POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO PRINCIPAL .....	65
4.4.1.1	Momento de inercia del rodillo principal .....	65
4.4.1.2	Cálculo de la aceleración angular .....	67
4.4.1.3	Torque del rodillo principal .....	68
4.4.1.4	Potencia requerida en el rodillo principal .....	69
4.4.2	POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO SECUNDARIO .....	69
4.4.2.1	Momento de inercia del rodillo secundario .....	69
4.4.2.2	Torque del rodillo secundario .....	71
4.4.2.3	Potencia requerida en el rodillo secundario .....	71
4.4.3	POTENCIA REQUERIDA EN LAS POLEAS .....	71
4.4.3.1	Cálculo del volumen de la polea motriz.....	71
4.4.3.2	Cálculo de la masa de la polea motriz .....	72
4.4.3.3	Cálculo de la inercia de la polea motriz.....	72
4.4.3.4	Cálculo del volumen de la polea conducida .....	73
4.4.3.5	Masa polea conducida .....	73
4.4.3.6	Inercia polea conducida .....	73
4.4.4	POTENCIA REQUERIDA PARA LOS ENGRANAJES .....	74

4.5	POTENCIA REQUERIDA PARA TRITURAR LAS HOJAS .....	76
4.6	SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR .....	77
4.7	BANDAS .....	78
4.7.1	SELECCIÓN DE BANDAS .....	78
4.7.2	PARÁMETROS DE SELECCIÓN .....	78
4.7.3	ESTIMAR EL FACTOR DE SERVICIO.....	79
4.7.4	ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA TEÓRICA.....	80
4.7.5	CÁLCULO DE LA POTENCIA DE DISEÑO .....	80
4.7.6	DETERMINAR LA SECCIÓN DE LAS CORREAS .....	80
4.7.7	ELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS POLEAS.....	82
4.7.8	DISTANCIA ENTRE CENTROS .....	82
4.7.9	ÁNGULO DE CONTACTO .....	83
4.7.10	LONGITUD DE LA BANDA .....	84
4.8	DISEÑO DE LOS RODILLOS .....	84
4.8.1	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL RODILLO PRINCIPAL.....	84
4.8.2	CÁLCULO DEL MOMENTO FLECTOR Y FUERZA CORTANTE ....	85
4.8.3	DISEÑO ESTÁTICO DE LOS RODILLOS .....	88
4.8.4	DISEÑO DINÁMICO DE LOS RODILLOS .....	90
4.9	SELECCIÓN DE LA CHUMACERA .....	99
4.9.1	DISEÑO DE LA GUIA PARA LAS CHUMACERAS .....	99
4.9.1.1	Selección de material.....	99
4.10	DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA TOLVA.....	100
4.10.1	SELECCIÓN DEL MATERIAL .....	101
4.10.2	DISEÑO DE LA SOLDADURA .....	101
4.11	CÁLCULO DE LA ARMADURA SOPORTE.....	101
4.11.1	DISEÑO DE LA PLANCHA BASE .....	101
4.11.1.1	Cálculo de la plancha base .....	102
4.11.1.2	Selección de la placa base.....	104
4.11.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....	106

4.11.2.1	Cálculo del perfil horizontal .....	107
4.11.2.1.1	Selección del perfil horizontal .....	108
4.11.2.2	Diseño de columnas de la armadura soporte.....	109
4.11.3	DISEÑO DE LA SOLDADURA .....	113
4.11.4	DISEÑO DE LA PLACA BASE .....	113
4.11.5	SELECCIÓN DE LOS PERNOS DE ANCLAJE.....	116
<b>CAPÍTULO 5</b>	.....	117
<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO DEL PROTOTIPO</b>	.....	117
5.1	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO.....	117
5.2	MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y HERRAMIENTAS .....	117
5.2.1	MÁQUINAS HERRAMIENTAS .....	119
5.2.2	HERRAMIENTAS .....	119
5.3	FOTOGRAFÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN.....	121
5.4	MONTAJES DE LAS DIFERENTES PARTES Y ELEMENTOS DEL PROTOTIPO.....	123
5.4.1	FOTOGRAFÍAS DE MONTAJE.....	125
5.5	PRUEBAS DE CAMPO .....	125
5.6	FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS DE CAMPO E INSPECCIÓN.....	126
<b>CAPÍTULO 6</b>	.....	127
<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	.....	127
6.1	COSTOS DEL PROTOTIPO .....	127
6.2	COSTO DE MATERIALES.....	127
6.3	COSTOS DE MAQUINADO .....	130
6.4	COSTO DE MANO DE OBRA.....	131
6.5	COSTO DE DISEÑO.....	131
6.6	IMPREVISTOS.....	131
6.7	COSTOS TOTALES.....	132
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	133
<b>RECOMENDACIONES</b>	.....	134
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	.....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Clasificación de la guayusa .....	4
Figura 2. 2 Contenido cafeína y antioxidantes .....	7
Figura 2. 3 Comparación de cafeína .....	7
Figura 2. 4 Zona de sembríos .....	9
Figura 2. 5 Árboles de guayusa.....	10
Figura 2. 6 Estacas de guayusa recolectadas en campo .....	11
Figura 2. 7 Vivero de plantas de guayusa.....	11
Figura 2. 8 Planta lista para su cosecha .....	13
Figura 2. 9 Ensayo de compresión .....	15
Figura 2. 10 Métodos de trituración .....	16
Figura 2. 11 Trituradora de mandíbulas .....	18
Figura 2. 12 Tipos de trituradora de mandíbula.....	19
Figura 2. 13 Trituradora de eje vertical y apoyo superior .....	21
Figura 2. 14 Trituradora de eje vertical y apoyo inferior .....	21
Figura 2. 15 Trituradora de cilindros con sistema de resorte .....	22
Figura 2. 16 Trituradora de martillos de eje horizontal .....	24
Figura 2. 17 Trituradora de martillos de eje vertical .....	24
Figura 3. 1 Tipos de trituradoras en función de las propiedades del material .....	27
Figura 3. 2 Espacio físico requerido .....	28
Figura 3. 3 Tamaño máximo de la alimentación vs tamaño del producto.....	31
Figura 3. 4 Tipos de trituradoras en función de la inversión inicial .....	32
Figura 3. 5 Trituradora giratoria .....	34
Figura 3. 6 Trituradora de rodillos dentados.....	35
Figura 3. 7 Trituradora de martillos de eje horizontal .....	37
Figura 4. 1 Determinación del coeficiente de fricción .....	43
Figura 4. 2 Determinación experimental del coeficiente de fricción.....	43
Figura 4. 3 Diferencia de volúmenes.....	47
Figura 4. 4 Volumen de hojas molidas de guayusa .....	48
Figura 4. 5 Volumen de hojas cortadas de guayusa .....	49
Figura 4. 6 Humedad de la hoja de guayusa.....	51
Figura 4. 7 Superficie de contacto.....	53
Figura 4. 8 Distribución de la carga de compresión en el rodillo .....	54
Figura 4. 9 Esquema de una polea .....	56
Figura 4. 10 Esquema de engranes .....	59
Figura 4. 11 Lengüeta .....	63
Figura 4. 12 Secciones del rodillo principal .....	66
Figura 4. 13 Secciones del rodillo secundario .....	70
Figura 4. 14 Engranaje .....	74
Figura 4. 15 Grafica de la selección del perfil de correa .....	81
Figura 4. 16 Diagrama de cuerpo libre del rodillo principal .....	85

Figura 4. 17 Diagrama de cuerpo libre .....	86
Figura 4. 18 Diagrama de esfuerzo cortante .....	87
Figura 4. 19 Diagrama de momento flector .....	87
Figura 4. 20 Barra circular con entalle circunferencial sometido a torsión .....	94
Figura 4. 21 Diagrama de sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio .....	94
Figura 4. 22 Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa	95
Figura 4. 23 Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión .....	96
Figura 4. 27 Diseño guía chumacera .....	99
Figura 4. 25 Diseño de la tolva .....	100
Figura 4. 26 Plancha base.....	102
Figura 4. 27 Diagrama de cortante – placa soporte .....	103
Figura 4. 28 Diagrama de momento – placa soporte .....	103
Figura 4. 29 Estructura soporte .....	106
Figura 4. 30 Placa base .....	107
Figura 4. 31 Diagrama cortante – perfil horizontal.....	108
Figura 4. 32 Diagrama momento flector– perfil horizontal .....	108
Figura 4. 33 Esquema del pórtico de un agua.....	110
Figura 4. 34 Gráfica de alineación para longitud efectiva de columnas en marcos continuos .....	110
Figura 4. 35 Diseño de la placa base .....	114
Figura 5. 1 Fases de construcción del prototipo.....	118
Figura 5. 2 Montaje de elementos .....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Pruebas de resistencia a la compresión.....	15
Tabla 2. 2 Trituración en base al tipo de material .....	16
Tabla 3. 1 Reducción del tamaño de partículas .....	29
Tabla 3. 2 Selección de alternativas.....	39
Tabla 4. 1 Determinación del coeficiente de fricción .....	44
Tabla 4. 2 Cálculo de la densidad de hojas molidas .....	48
Tabla 4. 3 Cálculo de la densidad de hojas cortadas .....	49
Tabla 4. 4 Cálculo de la Humedad de la hoja de guayusa .....	51
Tabla 4. 5 Propiedades físicas del aluminio .....	58
Tabla 4. 6 Propiedades mecánica aceros St 60 .....	65
Tabla 4. 7 Factor de servicio .....	79
Tabla 4. 8 Perfil y dimensiones de las bandas .....	80
Tabla 4. 9 Diámetro mínimo de las poleas .....	82
Tabla 4. 10 Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin .....	91
Tabla 4. 11 Factor de confiabilidad correspondiente a una desviación estándar de 8% del límite de fatiga. ....	92
Tabla 6. 1 Lista de precios de los materiales .....	128
Tabla 6. 2 Lista de precios de los materiales normalizados .....	129
Tabla 6. 3 Costos de maquinado.....	130
Tabla 6. 4 Costos de mano de obra .....	131
Tabla 6. 5 Costos totales.....	132

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación aborda el diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa para la elaboración de infusiones aromáticas. La producción requerida es de 294,84 kilogramos por hora (6.5 quintales por hora).

El proyecto recopila ciertos fundamentos teóricos acerca de la hoja de guayusa como son: composición química, usos medicinales, plantaciones, obtención de estacas, lugar de los sembríos, transporte de la materia prima, resistencia a la compresión, además se destaca la importancia de la manipulación de alimentos para manejar correctamente los parámetros de diseño y parámetros funcionales de la máquina.

Se dispone de sustento teórico sobre la trituración, con lo cual se puede seleccionar el método más adecuado para obtener el grado de molienda necesario para la preparación de infusiones aromáticas, obteniéndose así los parámetros de diseño de la máquina.

Se presenta el desarrollo de toda la información de cálculos, selección de los diferentes elementos normalizados y selección de materiales, empleados en la construcción de la máquina, los mismos que son parte fundamental del dimensionamiento y diseño.

Se detallan planos de taller y de montaje, además se muestra el proceso constructivo de cada una de las partes de dicha máquina y las pruebas de campo con lo cual se asegura la correcta funcionalidad de la misma.

Se realiza un análisis de costo de producción, en donde se detalla precios referenciales del año 2015 del mercado ecuatoriano.

Para finalizar se establecen las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos de la ejecución del presente Proyecto de Titulación.

## PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación tiene como principal objetivo diseñar y construir una máquina trituradora de hojas secas de guayusa destinada a la elaboración de infusiones aromáticas naturales.

La guayusa es una planta nativa de la Amazonia ecuatoriana, muchas personas desconocen los beneficios y propiedades medicinales de la misma. La ejecución de este proyecto ofrece la oportunidad a las familias indígenas de la zona, obtener un aumento en la producción de la materia prima y por consiguiente generar mayores ingresos económicos.

Los conocimientos adquiridos durante la preparación universitaria en la carrera de Ingeniería Mecánica, permiten proponer el diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas de guayusa versátil que garantice su funcionamiento adecuado, facilidad de operación, seguridad al operario, mediante la selección adecuada de los diferentes elementos y materiales de acuerdo a su aplicación.

Otro factor importante para su diseño, es la optimización del material que se emplea en su construcción, con lo cual se reduce costos de producción.



# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La investigación de las plantas con propiedades medicinales de la región oriental del Ecuador, ha permitido que en los últimos años se desarrollen mecanismos para su aprovechamiento, tal es el caso de la trituración de las hojas de guayusa para infusiones aromáticas, ya que la nueva tendencia es consumir productos que no contengan altos contenidos de agentes químicos, a fin cuidar el organismo y prevenir posibles enfermedades.

Para el presente proyecto se ha escogido la planta de guayusa, nativa de la región amazónica, la cual posee grandes beneficios medicinales para los consumidores, por ello la empresa Tierra Verde Company Guay S.A. ha solicitado el diseño y la construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa.

Fiel al principio de la universidad ecuatoriana de apoyar el desarrollo tecnológico de la microempresa, se plantea como Proyecto de Titulación el diseño y construcción de la referida máquina.

### **1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO**

#### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 294,84 kilogramos por hora (6.5 quintales por hora).

#### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un estudio de campo
- Investigar los grados de molienda y técnicas de trituración.

- Diseñar y construir una máquina factible para su operación y de fácil mantenimiento.
- Elaborar un manual de operación que garantice el óptimo funcionamiento de la máquina y la seguridad del operario en condiciones de trabajo.
- Desarrollar la memoria técnica que garantice el proceso de diseño, la selección de alternativas y su construcción posterior.

### **1.2.3 ALCANCES**

- Se recopilarán fuentes bibliográficas e información general sobre diseño de máquinas y solución del problema con diferentes alternativas.
- Se determinarán las limitaciones y restricciones sobre las necesidades de la molienda de la hoja de guayusa para establecer especificaciones de diseño.
- Se realizarán los estudios y selección de alternativas, a fin de determinar los componentes mecánicos apropiados en el diseño de la máquina.
- Se diseñará, construirá la alternativa más adecuada y se elaborarán los planos de construcción.
- Se analizarán costos de construcción, montaje de los elementos diseñados y otros normalizados.
- Se presentarán conclusiones y recomendaciones posteriores al desarrollo del diseño y construcción.
- Se documentará el proyecto mediante la memoria técnica respectiva.

### **1.2.4 JUSTIFICACIÓN**

La conveniencia del diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas de guayusa reside en obtener un adecuado proceso de molienda, para lograr lanzar al mercado infusiones a base de guayusa, en una presentación que pueda captar la atención del consumidor y ofrecer una alternativa nueva de consumo para los habitantes que prefieren bebidas naturales.

La trascendencia que tendrán las infusiones a base de guayusa en los consumidores es que los mismos podrán saber la existencia de plantas de la Amazonía ecuatoriana de las cuales se desconoce los beneficios, ya que éstas no han sido procesadas a gran escala en el mercado.

El beneficio del diseño de la máquina es garantizar el máximo aprovechamiento de la hoja para no generar desperdicios y obtener un grado de molienda adecuado.

Los beneficiados de la máquina que se pretende diseñar serán las empresas ecuatorianas destinadas a la producción de infusiones aromáticas y bebidas. Por consiguiente también serán beneficiados indirectamente los productores de guayusa en la Amazonía, ya que obtendrán ingresos económicos por concepto de la siembra de la planta de guayusa. Además los consumidores a nivel nacional podrán preparar infusiones sin ningún contenido químico que sea perjudicial para su salud.

Para que el proyecto pueda ser puesto en marcha se requiere de una serie de factores, tales como: disponibilidad de información de la materia prima, diseño de máquinas, conocimiento de materiales y destreza en el manejo de un software para la elaboración de planos.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 MATERIA PRIMA

La materia prima a emplearse en la elaboración de este proyecto son las hojas de guayusa planta endémica del Ecuador, que posee propiedades antidiabéticas, estimulantes, tónicos y reconstituyentes.

##### 2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE GUAYUSA

La guayusa es una planta nativa de la selva amazónica ecuatoriana. Este árbol puede alcanzar una altura de 6 a 30 metros, sus hojas poseen dimensiones entre 2,5 a 7 cm de longitud, son ricas en cafeína y otros alcaloides. Las flores son pequeñas, blancas y su fruto es esférico de color rojo, de 6 a 7 mm de diámetro. <sup>1</sup>

En la figura 2.1 se detalla la clasificación de la planta de guayusa.



**Figura 2. 1** Clasificación de la guayusa

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ilex\\_guayusa](http://es.wikipedia.org/wiki/Ilex_guayusa)  
 Elaboración: Propia

<sup>1</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Ilex\\_guayusa](http://es.wikipedia.org/wiki/Ilex_guayusa)

### 2.1.2 DATOS ECOLÓGICOS

La planta pertenece al género *Ilex guayusa* Loess, está presente en las regiones tropicales y subtropicales del continente americano e incluso en Oceanía, se calcula que posee más de 500 especies. El subgénero *Euilex* es el más extenso, puesto que incluye varias especies en el neotrópico distribuidas en Colombia, Ecuador, Brasil, Uruguay, Paraguay y el norte de Argentina (Brücher 1989). En el Ecuador, de acuerdo a los registros del Herbario de Loja (LOJA), la guayusa está presente en las provincias de Sucumbíos, Napo, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, también registran individuos en las provincias de Pichincha y Tungurahua. La distribución de la especie es desde el nivel del mar hasta los 1500 msnm. <sup>2</sup>

### 2.1.3 DATOS TAXONÓMICOS

*Ilex guayusa* Loes pertenece a la familia *Aquifoliaceae*. Es un árbol perenne nativo de la región amazónica, pero también está presente en ciertos lugares subtropicales de la región andina en estado cultivado. La planta puede alcanzar un tamaño promedio de hasta 10 m de altura, poseen un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 50 a 80 cm, tienen una copa irregular y presentan un follaje denso. En la localidad de San Luis ubicada cerca de Sevilla Don Bosco (provincia de Morona Santiago), se ha reportado la existencia de un bosque natural de árboles de guayusa que alcanzan una altura de 20 m y tienen un DAP de 80 a 90 cm.

El tronco tiene un fuste a menudo bifurcado a la altura del pecho, corteza blanca y textura lisa. Las ramas son extendidas y flexibles. Las hojas son coriáceas, verde-oliváceas, enteras, oblongo-elípticas, simples, alternas, coriáceas, dentadas, glabras o subglabras en el haz y envés, ápice acuminado, base aguda, 15 a 21 cm de largo, 5 a 7,5 cm de ancho, pecíolo corto de 1 cm de largo. El fruto es una baya globosa de casi 1 cm de ancho y verde. La flor posee una corola blanco verdosa con pétalos obtusos, estambres en igual número que los pétalos, anteras oblongas, ovario sécil subgloboso y usualmente de 4 a 6 cavidades. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> [http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/1368381/01\\_caracterizacion\\_fitoquimica.pdf](http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/1368381/01_caracterizacion_fitoquimica.pdf)

### 2.1.4 USOS COMERCIALES DE LA GUAYUSA

El uso de la guayusa es difundido en Sudamérica como bebida tradicional. La infusión de guayusa puede considerarse como el “mate ecuatoriano”, debido a que es consumida en la región amazónica del Ecuador. Se sirve caliente en copas con el desayuno y helada con gotitas de limón, para acompañar las comidas (Napo). En algunas cafeterías de la ciudad de Macas (Amazonía ecuatoriana), se ofrece la “guayusa con hueso”, bebida que consiste en una mezcla de infusión de guayusa y un macerado alcohólico localmente conocido como “*chuchuhuaso*”.<sup>3</sup>

### 2.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las hojas de guayusa poseen altos contenidos de cafeína, superior a las del café y del té, teobromina, L-teanina, polifenoles, flavonoides, saponinas, cantidades menores de teofilina y otras xantinas, esteroides, terpenoides, lactonasterpénicas y Triterpenos<sup>4</sup>.

Estos compuestos ofrecen una variedad de beneficios en la salud integral:

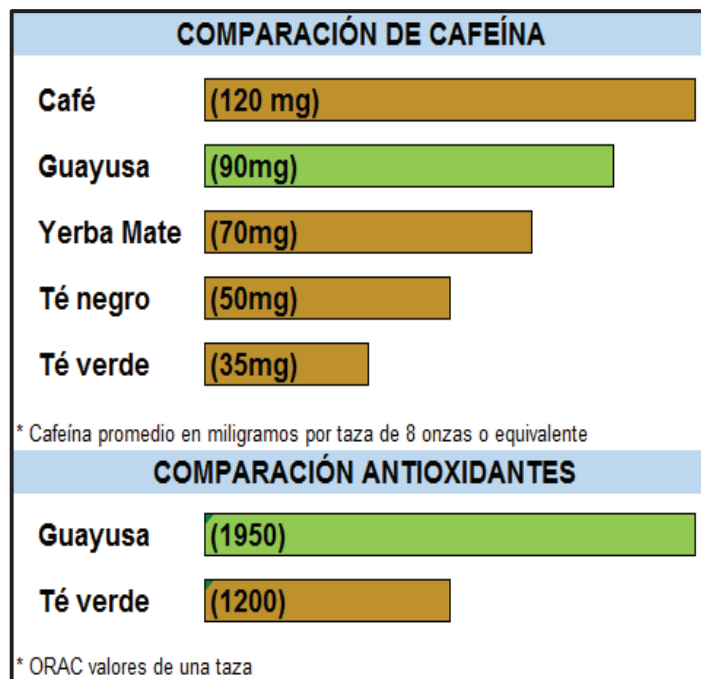
- La teobromina es un estimulante que posee el chocolate negro, al combinarse con la cafeína crea un efecto energético equilibrado sin ningún nerviosismo, choque o sobresalto.
- La L-teanina, es un ácido glutámico análogo que generalmente posee el té verde, tiene la propiedad de combatir el estrés y reducir la fatiga física y mental.
- Los aminoácidos y antioxidantes cardiovasculares, eliminan los radicales libres; compuestos dañinos en el cuerpo que alteran las células, modificando su ADN (material genético), provocando incluso, la muerte celular.

En la figura 2.2 se muestra una comparación del contenido de cafeína y antioxidantes de la guayusa.

---

<sup>3</sup> <http://es.scribd.com/doc/63647125/guayusa-caracterizacionfitoquimica6#download>

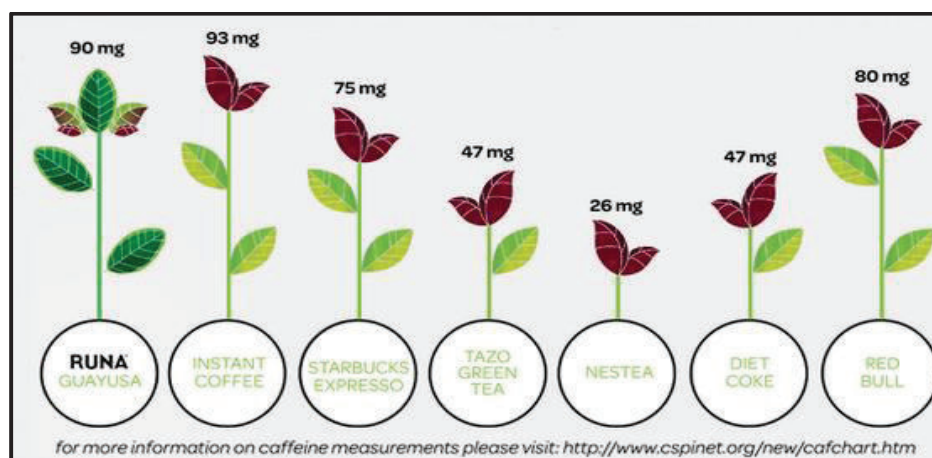
<sup>4</sup> PACHA ANA; Comprobación del efecto adelgazante de la tritura de guayusa en ratones con sobrepeso inducido; ESPOCH; Riobamba; 2012



**Figura 2. 2** Contenido cafeína y antioxidantes

Fuente: <http://www.shroomery.org/>  
Elaboración: Propia

Análisis químicos realizados a la hoja de guayusa en 2009 y 2010 muestran que el contenido de cafeína es de 2,90 a 3,29% en peso seco.<sup>5</sup>



**Figura 2. 3** Comparación de cafeína

Fuente: <http://www.klaaskoolman.com/>  
Elaboración: Anónima

<sup>5</sup> «[Lab Number:056939](#)». *Advanced Botanical Consulting & Testing, Inc.*

### **2.1.6 USOS MEDICINALES**

La planta de guayusa presenta los siguientes usos en el campo medicinal:

- Digestivo.
- Expectorante.
- Antioxidante.
- Evita las infecciones del sistema reproductivo.
- Desinflama las vías urinarias, ovarios, próstata, etc.
- Regula la menstruación.
- Ayuda en los problemas de infertilidad.
- Reduce los niveles de glucosa en la sangre en los diabéticos.
- Activa y desarrolla la fuerza, agilidad física y mental. <sup>6</sup>

### **2.1.7 ESTUDIOS SOBRE LA INFORMACIÓN NUTRICIONAL**

Existen varios estudios nutricionales hechos a la planta de guayusa que son realizados por la FUNDACIÓN RUNA & RUNATARPUNA EXPORTADORA S.A., quienes se dedican a la elaboración de varios productos a base de guayusa en el Ecuador.

En el Anexo 1 se detallan los resultados de laboratorio efectuados en la mencionada planta.

## **2.2 PLANTACIONES**

La guayusa en estado silvestre en la amazonia posee una población reducida, por lo que se requiere la siembra de plantas, que a futuro sirvan para extraer sus hojas.

Para la siembra de plantas de guayusa se utiliza la técnica de enraizamiento de estacas o por acodos, siendo la primera la más fácil de realizar y permite la producción de la mayor cantidad de plantas. <sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> <http://manta.doplim.ec/te-energetico-guayusa-id-17976.html>

<sup>7</sup> Torres Gonzalo; El aprovechamiento de la guayusa; Fundación Chankuap; 2013



En la figura 2.4 se aprecia el proceso de siembra.



**Figura 2. 4** Zona de sembríos

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### **2.2.1 SELECCIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE ESTACAS**

Los árboles aptos para la extracción de las estacas deben poseer excelente formación, gran cantidad de follaje, tolerancia a plagas y enfermedades y buena calidad de hojas. Otro factor importante es la ubicación de la finca o comunidad donde se encuentre la plantación, ya que esto marca la clase de suelo y por consiguiente la calidad de las estacas.

En la figura 2.5 se aprecia un árbol de guayusa aproximadamente de 6 años de edad de cual se puede extraer sus hojas y estacas.



**Figura 2. 5** Árboles de guayusa

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### **2.2.2 OBTENCIÓN DE ESTACAS**

Los árboles seleccionados deben poseer ramas maduras, de aproximadamente un año de edad, de las mismas se cortan las estacas en segmentos de 25 a 40 centímetros y el diámetro del tallo debe estar entre 1 y 3 centímetros, para esta actividad se utiliza una tijera esterilizada con alcohol o limón, el corte debe ser realizado en bisel (inclinado).

Las estacas se deben recolectar entre las 6 y 9 de la mañana, o entre las 4 y 6 de la tarde, con el fin de impedir su exposición al sol y la deshidratación, deben agruparse y envolverse en papel humedecido. Posteriormente estas son almacenadas bajo sombra, en un sitio fresco y en el menor tiempo posible deben ser transportadas al vivero en bolsas plásticas o contenedores de espuma flex.<sup>8</sup>

En la figura 2.6 se puede apreciar la recolección de las estacas de guayusa.

---

<sup>8</sup> Torres Gonzalo; El aprovechamiento de la guayusa; Fundación Chankuap; 2013



**Figura 2. 6** Estacas de guayusa recolectadas en campo

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### 2.2.3 PREPARACIÓN DE VIVEROS

Una vez determinado el sitio para el vivero, se colocan postes de madera en las esquinas del terreno y sobre ellos una malla protectora, la misma que ayuda a controlar las condiciones climáticas, hasta que las plantas alcancen un adecuado desarrollo. En la figura 2.7 se aprecia un vivero de plantas de guayusa.



**Figura 2. 7** Vivero de plantas de guayusa

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

#### **2.2.4 SIEMBRA DEFINITIVA DE LA PLANTA**

Para sembrar la planta se debe tener en cuenta que el árbol de guayusa desarrolla una copa media, por ello es necesario considerar una distancia entre plantas de 4 metros, la mejor época para la siembra esta comprendida entre los meses de abril y mayo.

Para que la planta desarrolle un buen follaje se debe aplicar abonos orgánicos ricos en nitrógeno, como restos de cosechas, estiércol semi-descompuesto de animales, compost, o biol.

La planta tiene un adecuado desarrollo en los 200 hasta los 1 500 msnm, con temperaturas comprendidas entre los 18° a 28° celsius y precipitaciones desde los 1 500 hasta los 4 000 metros cúbicos anuales.

El mantenimiento de las plantas debe efectuarse anualmente, para ello se requiere realizar el deshierbe manteniéndolo libre de malezas que pueda afectar la calidad de las hojas, causar pudrición, provocar marchitamiento por hongos o daños por insectos.<sup>9</sup>

#### **2.2.5 PODA DE LA PLANTA**

La poda de mantenimiento se la debe realizar al quinto año de edad que consiste en eliminar:

- Ramas bajas o pegadas al suelo, ramas secas, enfermas, dañadas o rotas, ramas cruzadas, mal orientadas o que enmarañan la copa.
- Tallos enfermizos.
- Trozos de ramas sin brotes y muertos.<sup>10</sup>

#### **2.2.6 IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS PARA LA COSECHA**

El árbol de guayusa muestra excelentes características para la cosecha de sus hojas a partir del cuarto año de crecimiento, en donde se debe iniciar aprovechando

---

<sup>9</sup> <http://chankuap.org/wp-content/uploads/2014/03/Manual-de-buenas-practicas-de-la-Guayusa.pdf>.

el 25% del área foliar de la planta por año, para luego ir incrementando hasta llegar al 50% desde el sexto año.<sup>10</sup>

En la figura 2.8 se presenta una planta de guayusa lista para la cosecha de sus hojas.



**Figura 2. 8** Planta lista para su cosecha

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### **2.2.7 MATERIALES E INSUMOS PARA LA COSECHA**

Para realizar la recolección de las hojas de guayusa se debe revisar que los implementos destinados para esta actividad estén en perfectas condiciones, con el fin de evitar accidentes.

Los implementos necesarios para la recolección de las hojas son: sacos, piola, guantes, machete, serruchos, tijeras de podar y escalera.

---

<sup>10</sup> Torres Gonzalo; El aprovechamiento de la guayusa; Fundación Chankuap; 2013

### **2.2.8 CONSIDERACIONES PARA LA COSECHA**

Para la recolección de las hojas de guayusa se debe evitar el sacrificio de la planta, ya que es una especie de crecimiento lento.

El método recomendado para la cosecha de las hojas, es la poda de ramillas que posean las hojas maduras, la misma se debe realizar máximo al 75% de las plantas manejadas por año, dejando el 25% para asegurar futuras producciones.

Las hojas aptas son aquellas que poseen un color verde oscuro, se descarta de la cosecha aquellas que no poseen la madurez adecuada y que contienen musgos o líquenes, con daños mecánicos o por insectos, o con presencia de enfermedades.<sup>11</sup>

### **2.2.9 TRANSPORTE**

Concluida la actividad de cosecha de las hojas de guayusa, deben ser transportadas en sacos completamente limpios, para evitar la contaminación hasta la llegada al centro de acopio para su posterior procesamiento.

El transporte debe garantizar el mínimo maltrato de las hojas, este dependerá de la cantidad recolectada, la distancia al sitio de acopio, la accesibilidad y la disponibilidad del recurso.

### **2.2.10 GRADO DE RESISTENCIA DE LAS HOJAS DE GUAYUSA**

Las pruebas del grado de resistencia a la compresión de las hojas de guayusa se realizan en el laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Politécnica Nacional.

El ensayo se realiza con diferentes instrumentos que se detallan en la tabla 2.1, en paquetes de cierto número de hojas de guayusa como se muestra en la figura 2.9.

---

<sup>11</sup> Torres Gonzalo; El aprovechamiento de la guayusa; Fundación Chankuap; 2013



**Figura 2. 9** Ensayo de compresión

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

Los resultados obtenidos del ensayo se detallan en la tabla 2.1:

**Tabla 2. 1** Pruebas de resistencia a la compresión

N°	Instrumento	N° de hojas	Cm [N]	$\sigma_c$ [ksi]	$\sigma_c$ [kgf/mm <sup>2</sup> ]
1	Espátula	37	76,4	0,0000111	7,78513E-06
2	Punzón de punta	34	140,8	0,0000204	1,43466E-05
3	Punzón de redondo	38	58,8	0,0000198	1,39246E-05
4	Punzón plano	34	136,9	0,0000314	2,20825E-05
				<b>PROMEDIO</b>	<b>1,45347E-05</b>

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

Donde:

Cm: Carga máxima

$\sigma_c$ : Esfuerzo de compresión

## 2.3 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TRITURACIÓN

Es el proceso en el cual se desintegra o se reduce el tamaño de sustancias sólidas por medios físicos, ejemplos de estos son las máquinas trituradoras, molinos o combinados.

### 2.3.1 CLASES DE TRITURACIÓN

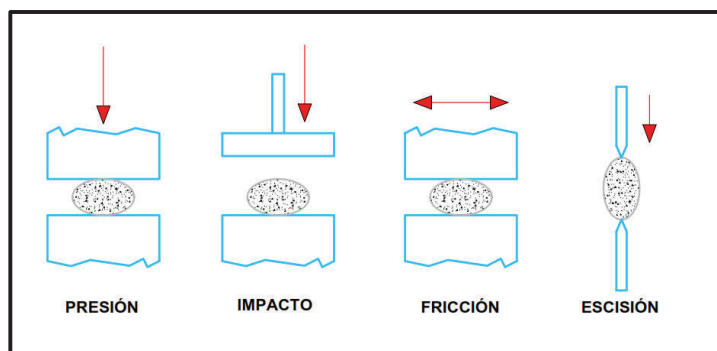
Según las propiedades físicas de un material y su composición química, se emplean distintos métodos de trituración, los mismos se detallan en la tabla 2.2.

**Tabla 2. 2** Trituración en base al tipo de material <sup>12</sup>

Clase de material	Clase de trituración
Material duro	Presión, Impacto
Material frágil	Fractura
Material tenaz	Escisión, corte

Fuente: T-ESPE-047222.pdf  
Elaboración: Propia

Las máquinas trituradoras aplican paralelamente varios de estos métodos:



**Figura 2. 10** Métodos de trituración

Fuente: T-ESPE-047222.pdf  
Elaboración: Propia

<sup>12</sup> PORTALANZA L. & RODRÍGUEZ I.; *Diseño y construcción de una máquina trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificaciones en envases tetra pack y recipientes plásticos*; Escuela Politécnica del Ejército; Sangolquí; 2013



## 2.3.2 TAMAÑO DE DESINTEGRACIÓN

Mediante la desintegración de materiales sólidos se obtiene diferente tamaño de partículas, por lo que se pueden distinguir las diferentes etapas de trituración y molienda.<sup>13</sup>

### 2.3.2.1 Trituración (desintegración grosera)

La trituración o desintegración grosera puede ser:

- **Trituración gruesa**

Tamaños de partículas de salida 15 cm (6")

- **Trituración media**

Tamaños de partículas de salida entre 3 y 15 cm ( $1\frac{1}{4}$  " – 6 ")

- **Trituración fina**

Tamaños de partículas de salida entre 0,5 a 3 cm ( $\frac{1}{5}$  " –  $1\frac{1}{4}$  ")

### 2.3.2.2 Molienda (desintegración fina)

La molienda o desintegración fina puede ser:

- **Molienda grosera**

Tamaños de partículas de salida entre 0,1 y 0,3 mm

- **Molienda fina**

Tamaños de partículas de salida menores a 0,1 mm

## 2.3.3 TRITURADORA

Una trituradora o chancadora es una máquina que permite realizar el proceso de trituración mediante elementos que realizan fuerzas, para poder romper y disminuir el tamaño de materiales.

---

<sup>13</sup> [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf)

### 2.3.3.1 Tipos de trituradoras

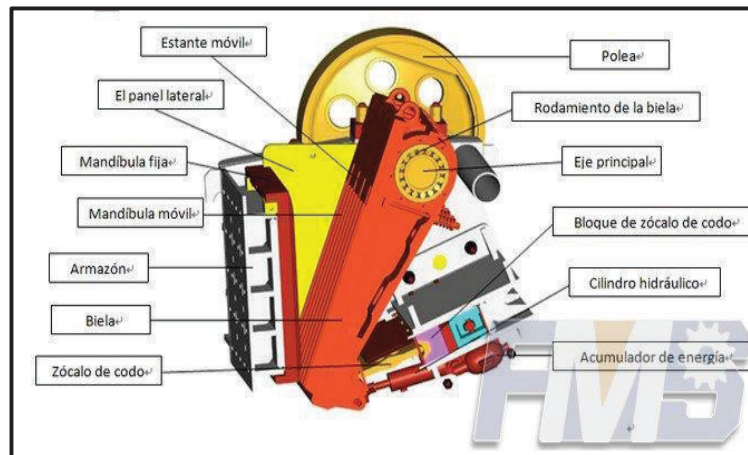
En la industria se suele utilizar diferentes tipos de trituradoras, esto depende del material que se vaya a triturar y el tamaño que se desee obtener.

Los tipos principales de trituradoras son:

### 2.3.3.2 Trituradora de mandíbulas

Este tipo de trituradora se destina para la trituración de tamaño grueso o medio. Consta de dos placas de hierro, una de las placas tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija, durante el cual se consigue fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos (cámara de trituración).<sup>14</sup>

En la figura 2.11 se presenta la trituradora de mandíbulas con sus principales partes.



**Figura 2. 11** Trituradora de mandíbulas

Fuente: <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/>  
Elaboración: Anónima

En función de la ubicación del punto de balanceo de la mandíbula móvil las trituradoras de mandíbulas se clasifican en:

<sup>14</sup> <http://insutecmza.blogspot.com/2011/04/objetivo-reducir-el-tamano-de-los.html>

- **Trituradora tipo Blake**

Fijada en el punto más alto, en el área de recepción o alimentación.

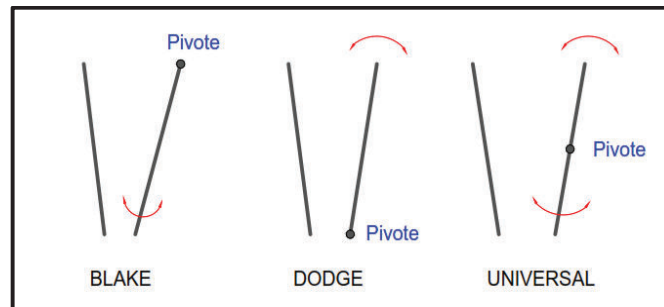
- **Trituradora tipo Dodge**

Fijada en el punto más bajo, en el área de descarga

- **Trituradora tipo Universal**

Fijada en el punto medio del cuerpo de la trituración <sup>15</sup>

En la figura 2.12 se presenta un esquema del tipo de trituradoras de mandíbulas según el punto de pivote.



**Figura 2. 12** Tipos de trituradora de mandíbula

Fuente: <http://insutecmza.blogspot.com>

Elaboración: Propia

### 2.3.3.3 Trituradora giratoria

Este tipo de trituradora tienen la capacidad de obtener a la salida una trituración fina, media o gruesa ya que está determinada por un sistema hidráulico llamada reglaje que permite regular el acabo final. Está formada por una cabeza móvil en forma de cono truncado invertido localizado en el interior de una coraza que tiene el mismo contorno, entonces la cabeza trituradora gira excéntricamente, así, durante cada rotación, cada punto del eje móvil se aproxima y se aleja del punto correspondiente del cono fijo, lo que produce que el material que se tritura quede atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio.

<sup>15</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Trituradora>

Como ventajas se tienen:

- Compensación hidráulica
- Diseño para trabajo pesado
- Alta productividad

Sus desventajas son:

- Capacidad media
- Velocidad media

Existen dos tipos de trituradoras giratorias: las denominadas de eje vertical y apoyo superior y las de eje vertical y apoyo inferior.

#### **2.3.3.3.1** *Trituradora de eje vertical y apoyo superior*

Esta tipo de trituradora posee una mandíbula fija anular y una mandíbula móvil en forma de cono con la base en la parte inferior. El cono triturador en su parte inferior va montado sobre un eje vertical, el cual está conectado con una corona dentada la que gira a merced del accionamiento de un motor. <sup>16</sup>

En la figura 2.13 se presenta un esquema de la trituradora mencionada.

#### **2.3.3.3.2** *Trituradora de eje vertical y apoyo inferior*

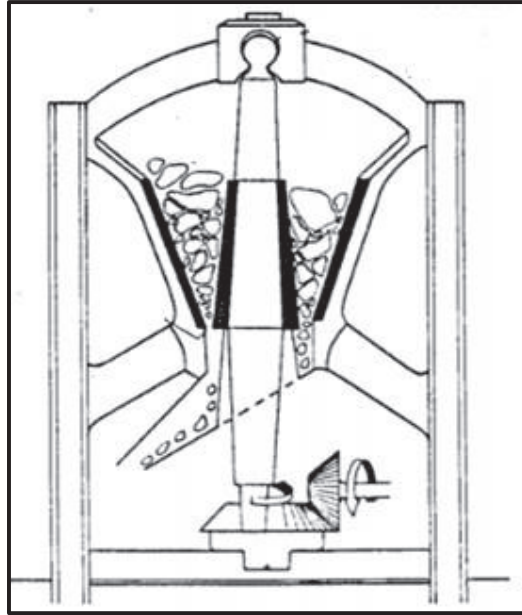
Esta trituradora cuenta con una mandíbula fija y con un cono triturador en forma de hongo que va montado sobre un eje vertical, levemente conectado sobre una corona dentada que gira con acción del motor. <sup>17</sup>

En la figura 2.14 se muestra dicha trituradora con sus principales partes.

---

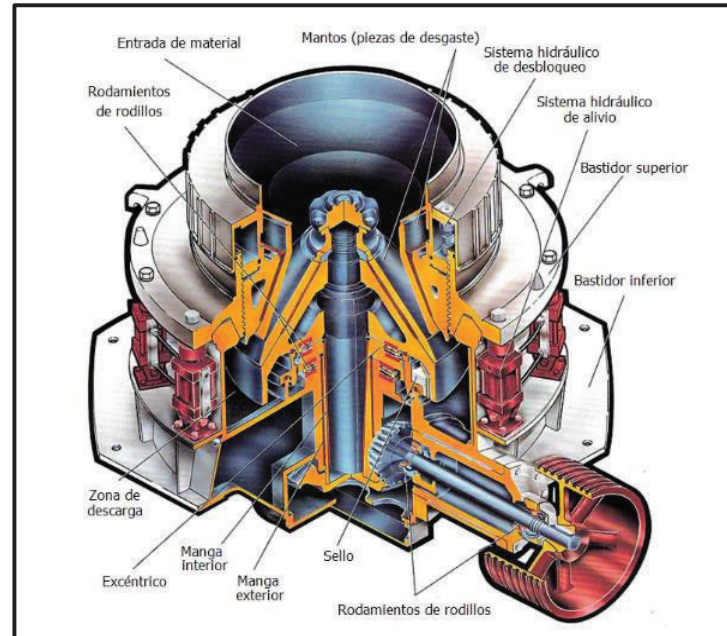
<sup>16</sup> <http://es.scribd.com/doc/247078107/05-Apunte-Trituracion#scribd>

<sup>17</sup> <http://es.scribd.com/doc/247078107/05-Apunte-Trituracion#scribd>



**Figura 2. 13** Trituradora de eje vertical y apoyo superior

Fuente: Premat.pdf  
Elaboración: Anónima



**Figura 2. 14** Trituradora de eje vertical y apoyo inferior

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/247078107/05>  
Elaboración: Anónima

### 2.3.3.4 Trituradora de rodillos

Esta trituradora es adecuada para triturar materiales de media dureza, por lo que se tiene un tamaño de trituración medio y fino. Este tipo de triturado se fundamenta en dos rodillos o cilindros horizontales de ejes paralelos girando en sentido inverso y a la misma velocidad de rotación, formando entre ellos una cámara de trituración en forma de V.

En algunos casos según la necesidad del operario, uno de sus cilindros puede ser regulable, esto se consigue por un sistema de resortes o de pernos.

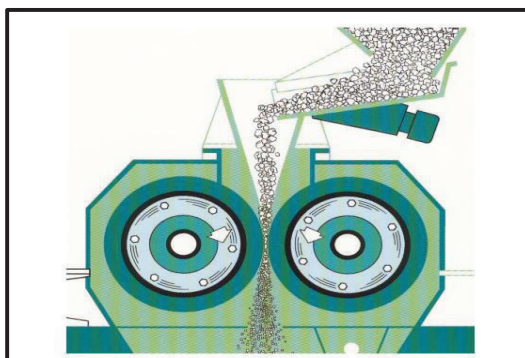
Entre sus ventajas se tienen:

- Alta capacidad de producción
- Útil para materiales de dureza media
- Elevada fuerza de trituración
- Fácil construcción e instalación
- Bajo Costo

Como desventajas están:

- Desgaste de rodillos <sup>18</sup>

En figura 2.15 se detalla un esquema de la trituradora de rodillos.



**Figura 2. 15** Trituradora de cilindros con sistema de resorte

Fuente: <http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/>  
Elaboración: Anónima

<sup>18</sup> PORTALANZA L. & RODRÍGUEZ I.; *Diseño y construcción de una máquina trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificaciones en envases tetra pack y recipientes plásticos*; Escuela Politécnica del Ejército; Sangolquí; 2013

### 2.3.3.5 Trituradora de impacto o martillos

Este tipo de trituradoras actúan en base a la sucesión de golpes en el material que se va a ser desintegrado, obteniéndose materiales triturados de tamaño medio y fino y presenta una elevada tasa de reducción.

Este tipo de trituradora comprimen el material entre dos cuerpos, mientras más rápido sea la fuerza de aplicación más rápido ocurre la fractura.

Como ventajas se tienen:

- Diversos tipos en el tamaño de partículas desintegradas.
- Útil para cualquier tipo material o fibra

Entre las desventajas están:

- Menos eficaces en cuestión de energía comparado con los molinos de rodillos
- Generan excesivo calor, ruido y polvo

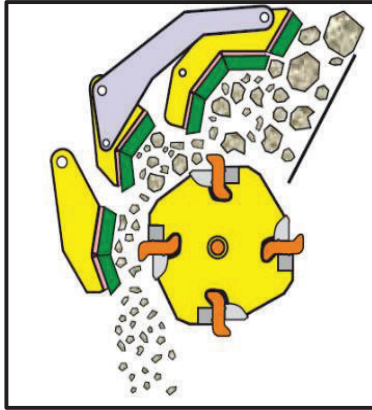
Existen dos tipos de trituradoras de impacto: martillos de eje horizontal y de eje vertical.

#### 2.3.3.5.1 *Trituradora de martillos de eje horizontal*

Este tipo de trituradora está formada por una carcasa que en su interior cuenta con placas de desgaste, en donde se encuentra un eje ubicado en sentido horizontal que gira a elevadas revoluciones, al mismo van sujetos perpendicular y rígidamente los martillos.

El material a ser triturado entra por la parte superior e ingresa a la cámara de desintegración, durante su caída es golpeado sucesivamente por los martillos del rotor hasta convertir en partículas.

En la figura 2.16 se muestra un esquema de la trituradora de martillos de eje horizontal.



**Figura 2. 16** Trituradora de martillos de eje horizontal

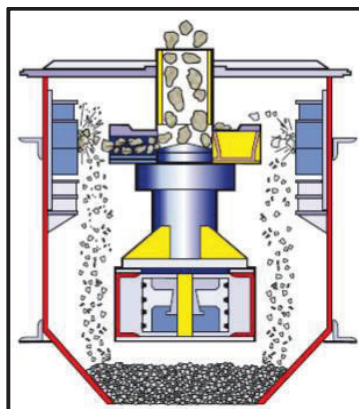
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/247078107/05-Apunte>  
Elaboración: Anónima

### 2.3.3.5.2 *Trituradora de martillos de eje vertical*

Esta trituradora dispone de 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.

El proceso de trituración se efectúa cuando el material impacta a grandes velocidades con la placa de desgaste y entre ellas.<sup>19</sup>

En la figura 2.17 se detalla un esquema de la trituradora de martillos de eje vertical.



**Figura 2. 17** Trituradora de martillos de eje vertical

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/247078107/05-Apunte-Trituracion#scribd>  
Elaboración: Anónima

<sup>19</sup> <http://es.scribd.com/doc/247078107/05-Apunte-Trituracion#scribd>



## **CAPÍTULO 3**

### **ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

En el presente capítulo se determinan los parámetros de diseño, con el fin de ejercer una óptima selección, en base a una serie de alternativas.

Como parámetros principales se tienen el grado de molienda necesario que se debe obtener y el grado de resistencia a la ruptura de las hojas. Estos datos son obtenidos de pruebas realizadas que se detalla en el numeral 2.2.10.

#### **3.1 PARÁMETROS FUNCIONALES**

Para el diseño y construcción de la máquina se debe tener en cuenta normas, códigos y reglamentos tanto nacionales como internacionales, que rigen la construcción y la manipulación de alimentos.

La normativa NTE INEN 2 392:2007 presentada en el Anexo 2, establece los requerimientos y requisitos que deben cumplir las plantas aromáticas destinadas a la realización de infusiones para el consumo humano. Adicionalmente, estas hierbas deben ser procesadas de acuerdo a las condiciones establecidas en el Código de la Salud y sus Reglamentos, que norman la reducción de contaminación.

Los requerimientos principales para el diseño de la máquina son:

- Como materia prima se tienen las hojas secas de guayusa.
- Las condiciones de trabajo de la máquina deben ser a temperatura ambiente (21°C).
- Las propiedades fundamentales de las hojas a ser consideradas son: resistencia a la ruptura y densidad.
- La máquina debe ser versátil, para posteriormente trabajar con otras plantas aromáticas.
- Fluidez en la salida del material triturado.
- La máquina deber ser semiautomática, es decir, que solo requiere de un operario para la entrega de materia prima y para su accionamiento.

- De peso ligero, para poder realizar traslados si lo amerita la empresa.
- Debe poseer características de desmontaje fácil para ejecutar los mantenimientos respectivos.
- El reemplazo de piezas dañadas a consecuencia de cumplir su vida útil debe ser fácil de ejecutar.
- El material en contacto con las hojas debe construirse en acero inoxidable. La estructura soportante debe ser fabricada en acero ASTM A-36 con recubrimiento de pintura electrostática.

### **3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO**

Para la determinación de cada uno de los parámetros requeridos en el diseño y construcción de la máquina trituradora, se debe considerar los siguientes requerimientos, necesidades y condiciones de operación a la que va a estar sometida:

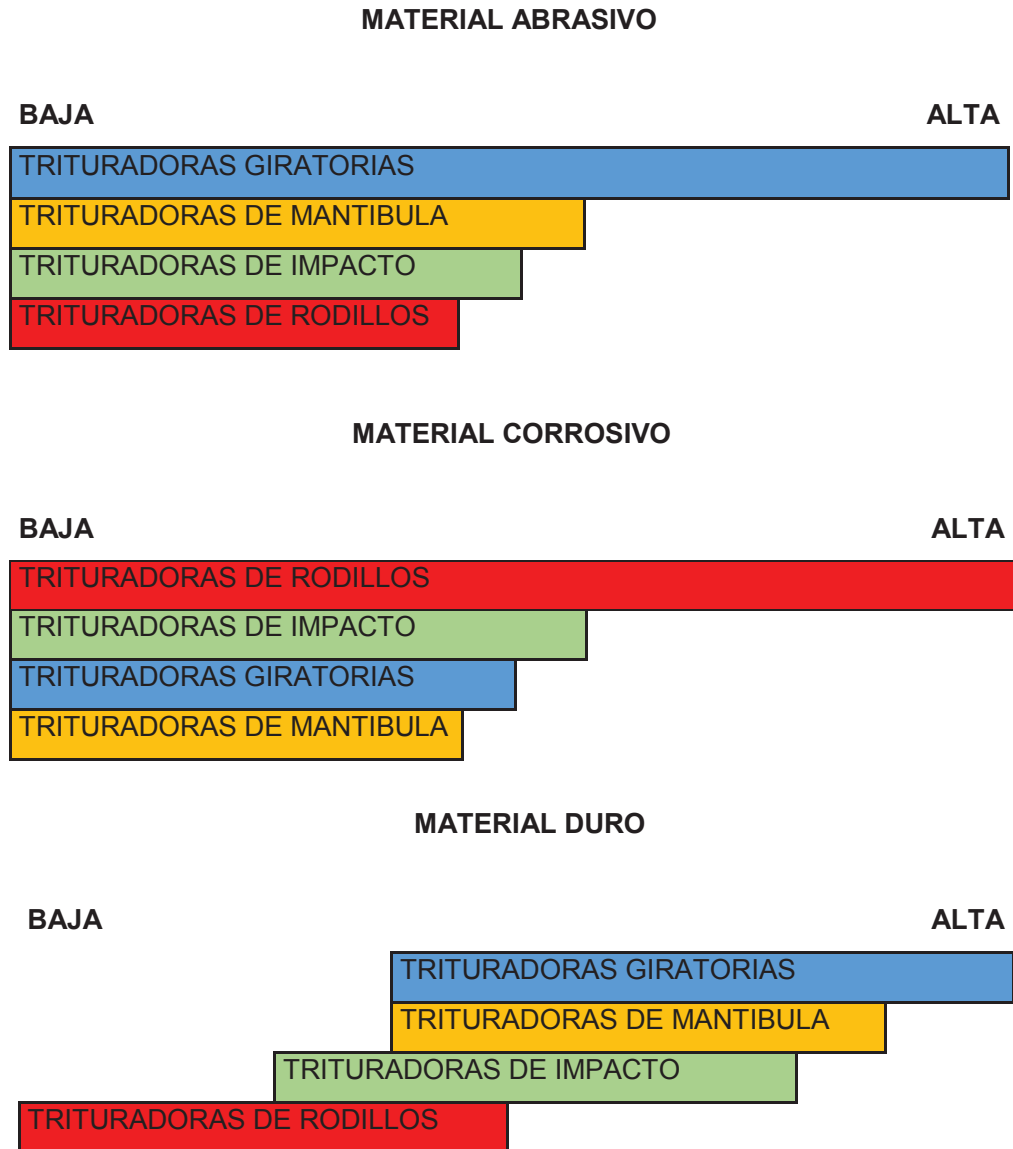
- Características de la materia prima
- Capacidad de carga de la estructura
- Espacio físico requerido (largo, ancho y altura)
- Grado de molienda requerido
- Ergonomía
- Capacidad de la tolva
- Peso del Prototipo
- Inversión principal
- Costo de operación y mantenimiento

#### **3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA**

Las principales características de las hojas secas de guayusa que van a ser sometidas al proceso de trituración son:

- Resistencia a la ruptura
- Contenido de humedad
- Densidad.

A continuación se presenta una comparación entre los diferentes tipos de trituradoras en función de las propiedades del material a ser procesado.<sup>20</sup>



**Figura 3. 1** Tipos de trituradoras en función de las propiedades del material

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco>

Elaboración: Propia

<sup>20</sup> <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>

Al considerar que las hojas de guayusa no son de naturaleza abrasiva, presenta baja dureza y que durante el proceso de trituración, la máquina va estar sometida a condiciones de corrosión debido al grado de humedad de las hojas, se selecciona una trituradora de rodillos como la alternativa más apropiada.

### **3.2.2 CAPACIDAD DE CARGA DE LA ESTRUCTURA**

La capacidad de carga se establece en base al peso de los elementos mecánicos y eléctricos localizados sobre la estructura, más la cantidad de hojas de guayusa a ser trituradas.

### **3.2.3 ESPACIO FÍSICO REQUERIDO (LARGO, ANCHO Y ALTURA)**

Para determinar las dimensiones físicas de la máquina, se realiza un estudio de campo en las instalaciones de la empresa Tierra Verde Company Guay S.A., misma que solicita considerar las medidas aproximadas: largo 700 mm, ancho 800 mm y altura 2000 mm. El alto considerado es debido a la posterior implementación de una tamizadora.

En la figura 3.2 se muestre el lugar destinado para la máquina.



**Figura 3. 2** Espacio físico requerido

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### 3.2.4 GRADO DE TRITURACIÓN REQUERIDO

Al no existir una norma técnica nacional que contenga el grado de trituración establecido para plantas aromáticas, se realiza un estudio a las infusiones aromáticas existentes en el mercado ecuatoriano, determinando de esta forma, el tamaño de trituración al que fueron sometidos.

Adicionalmente, se considera el grado de reducción ( $n$ ), que se define como la relación entre el tamaño inicial del material y el mayor tamaño final del material triturado o molido, es decir:

$$n = \frac{\text{Tamaño inicial del producto}}{\text{Tamaño final del producto}} \quad (\text{Ec. 3. 1})$$

En la tabla 3.1 se presentan los principales tipos de trituradoras y su rango de trituración.

**Tabla 3. 1** Reducción del tamaño de partículas <sup>21</sup>

TIPOS DE TRITURADORAS		RELACIÓN DE REDUCCIÓN (n)
<b>MANDÍBULAS</b>		4:1 - 9:1
<b>GIRATORIAS</b>	Ciclo completo cono	3:1 - 10:1
	Estándar	4:1 - 6:1
	Cabeza corta	2:1 - 5:1
<b>RODILLO</b>		3:1 - 7:1
<b>IMPACTO</b>	Rotor simple	15:1
	Rotor doble	15:1
	Molinos de martillo	20:1

Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)  
Elaboración: Propia

<sup>21</sup> Anónimo (2010,1). Trituradoras de impacto; Producción de Agregados; Recuperado 06,2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

Según la relación de reducción ( $n$ ), al ser las hojas secas de guayusa de un material de baja resistencia a la ruptura, se puede considerar para el proceso de selección de alternativas las trituradoras giratorias, impacto y rodillos.

Del estudio realizado y sustentándose en la sección 2.3.2 de este documento, en donde se destaca el tamaño de desintegración al que puede ser sometido un sólido, se concluye que las hojas secas de guayusa pueden tener un grado de trituración fino, comprendido en el rango de 5 a 30 milímetros.

### **3.2.5 ERGONOMÍA**

El diseño del prototipo debe cumplir con las características técnicas, requerimientos y aspecto visual solicitados por la empresa.

La máquina debe garantizar el máximo aprovechamiento de las hojas para no generar desperdicios, es decir, debe ser eficiente en el proceso de trituración, adaptable al espacio físico de trabajo y garantizar seguridad al operario durante y después de su puesta en marcha.

### **3.2.6 CAPACIDAD DE LA TOLVA**

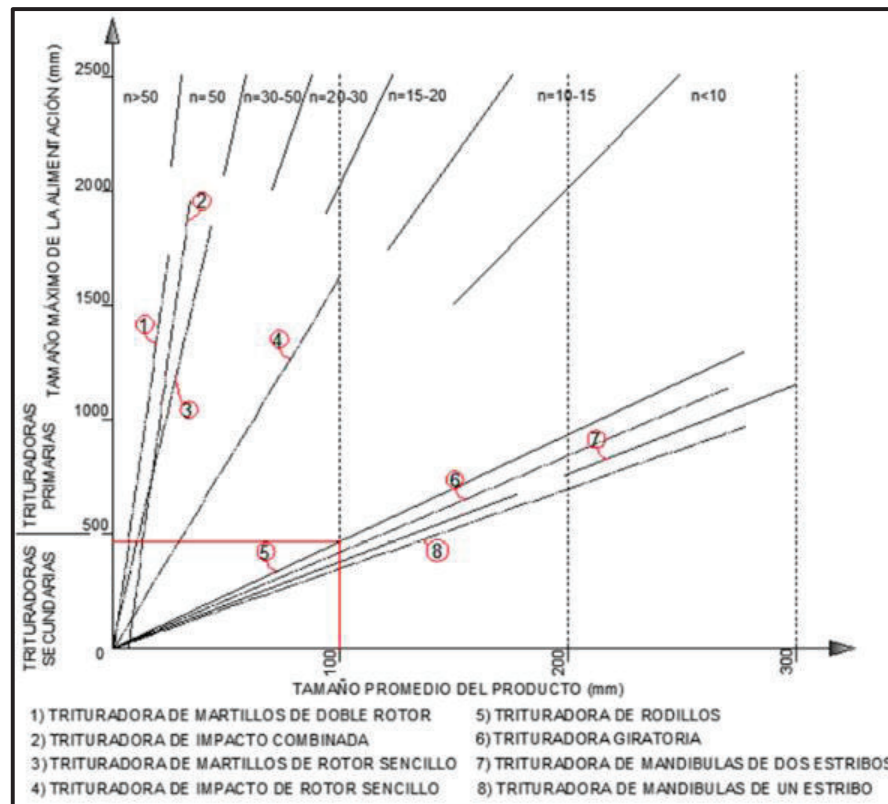
La capacidad de la tolva desempeña uno de los papeles más importantes en el diseño y construcción de la máquina ya que de esta depende cuanta materia prima puede ser receptada, almacenada y descargada antes de ser sometida al proceso de trituración.

Para el diseño de la tolva se considera el requerimiento de producción de la empresa que establece procesar 6,5 quintales por hora.

#### **3.2.6.1 Tamaño de alimentación**

Se define como la máxima cantidad de material que puede ingresar en la tolva en un instante determinado, esto depende generalmente de la geometría de la compuerta de entrada.

La figura 3.3 presenta una gráfica que relaciona el tamaño máximo de alimentación en función del tamaño promedio del producto para diferentes tipos de trituradoras.



**Figura 3. 3** Tamaño máximo de la alimentación vs tamaño del producto

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS>.

Elaboración: Anónimo

De acuerdo al grado de reducción necesario ( $n < 10$ ) y al tamaño promedio del producto (100 mm), las trituradoras más adecuadas para la selección de alternativas son: tipo rodillos, giratoria y de mandíbula.

### 3.2.7 PESO DEL PROTOTIPO

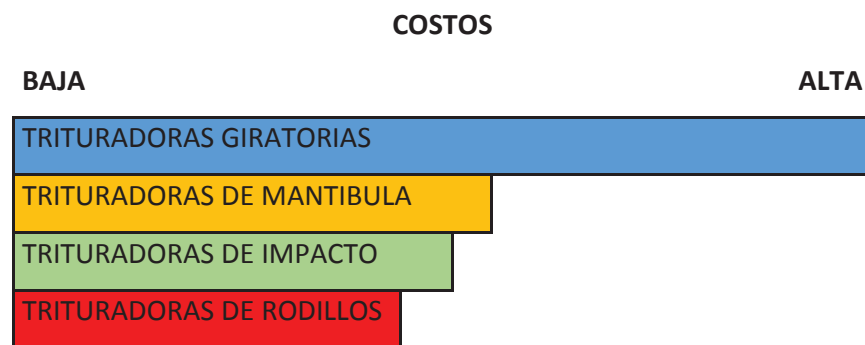
En cuanto al peso del prototipo, no se pueden conseguir parámetros fijos, ya que no es una característica que influya drásticamente en el diseño. Este depende de la selección de los materiales utilizados para la construcción de la máquina.

El peso puede estar comprendido entre 80 o 90 [kg] para su fácil movilización.

### 3.2.8 INVERSIÓN PRINCIPAL

No se cuenta con un costo estimado de una trituradora de hojas secas de guayusa, pero la empresa Tierra Verde Company Guay S.A. estable un costo máximo de 6 000 dólares, en el cual se incluyen costos de ingeniería y costos de construcción del prototipo.

En la figura 3.4 se muestra una comparación de los diferentes tipos de trituradoras con respecto a la inversión inicial.



**Figura 3. 4** Tipos de trituradoras en función de la inversión inicial

Fuente: Anónimo ; Lección 12 ; Cementos ; trituración de las materias primas

Elaboración: Propia

### 3.2.9 COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para el establecer estos costos se consideran:

- Consumo de energía eléctrica
- Tipo de jornadas de trabajo (continua o mixta)
- Costos de mantenimiento
- Costos de operación
- Costos de mano de obra especializada para el mantenimiento



### **3.3 TRABAJO DE CAMPO**

En esta fase del proyecto se realiza visitas a fincas dedicadas al cultivo de las hojas de guayusa en la provincia de Napo y Pastaza, definiendo así los requerimientos y parámetros para el diseño de la máquina.

En el Anexo 3 se muestran fotografías de la visita de campo así como las técnicas de sembrío utilizadas.

### **3.4 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

Al no contar con la forma de la estructura y un sistema de trituración establecido, se debe realizar un estudio de alternativas de diseño tomando en consideración la funcionalidad del sistema.

Se evalúan tres posibles alternativas:

- a) Alternativa 1: Trituradora giratoria
- b) Alternativa 2: Trituradora de rodillos
- c) Alternativa 3: Trituradora de impacto o martillos

A continuación se detallan cada una de estas alternativas:

#### **3.4.1 ALTERNATIVA 1: TRITURADORA GIRATORIA**

Este tipo de máquina realiza el proceso de trituración por medio de un esfuerzo de compresión entre dos paredes troncocónicas, una de las cuales es fija y la otra es un tronco de cono que posee un movimiento excéntrico.

Este tipo de trituradora posee la capacidad de obtener un grado de trituración grueso, fino y grueso.

En la figura 3.5 se muestra un esquema de la trituradora mencionada.



**Figura 3. 5** Trituradora giratoria

Fuente: <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/1464.html>

Elaboración: Propia

#### **3.4.1.1 Ventajas de la alternativa 1**

- Posee un sistema de compensación hidráulica
- Posee un sistema denominado reglaje que permite obtener a la salida una trituración fina, media o gruesa
- Posee ajuste hidráulico
- Su diseño permite realizar trabajos pesados
- Alta eficiencia productiva
- Accionamiento por medio de un motor
- Se estima que la vida útil de equipo es de alrededor de 20 años
- Piezas de repuesto estándar
- Rentable

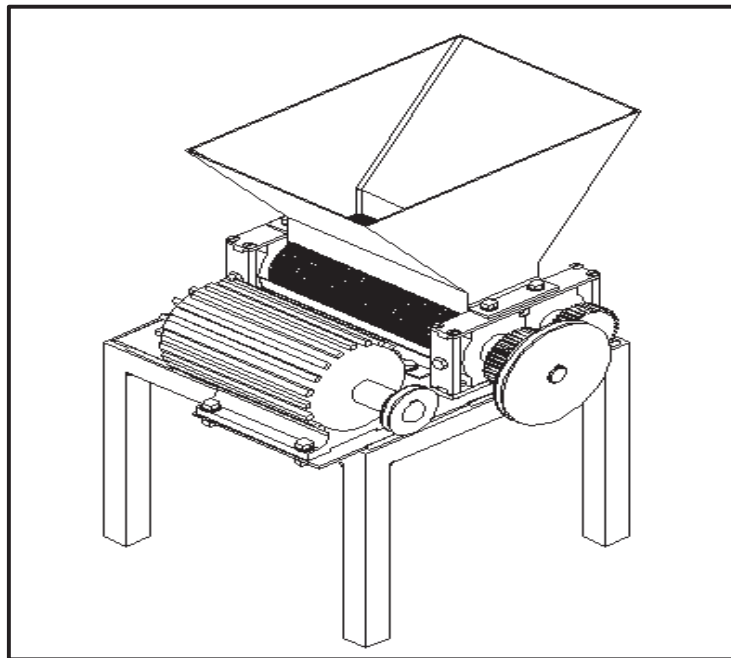
#### **3.4.1.2 Desventajas de la alternativa 1**

- Capacidad media
- Velocidad media

### 3.4.2 ALTERNATIVA 2: TRITURADORA DE RODILLOS DENTADOS

Este tipo de trituradora consiste en dos cilindros dentados de ejes paralelos que giran en sentido inverso y a similar velocidad de rotación, generando grados de titulación medio y fino. Ideal para materiales de dureza media.

En la figura 3.6 se presenta un esquema de una trituradora de rodillos.



**Figura 3. 6** Trituradora de rodillos dentados

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

#### 3.4.2.1 Ventajas de la alternativa 2

- La distancia entre rodillos puede ser regulada por soportes o tornillos
- Máquina robusta, sencilla y de fácil mantenimiento
- Adecuada para el tratamiento de materiales húmedos y pegadizos
- Dispositivos de seguridad eficaz
- Altura de la máquina limitada
- Granulometría de salida muy regular, exenta de grandes trozos y de finos

- Altos ingresos en la captación de materia prima
- Ideal para materiales de dureza media
- Elevadas fuerzas de trituración
- Alta capacidad de producción
- Facilidad de instalación
- Rodillos con elementos de trituración
- Rentable
- Bajo costo

#### **3.4.2.2 Desventajas de la alternativa 2**

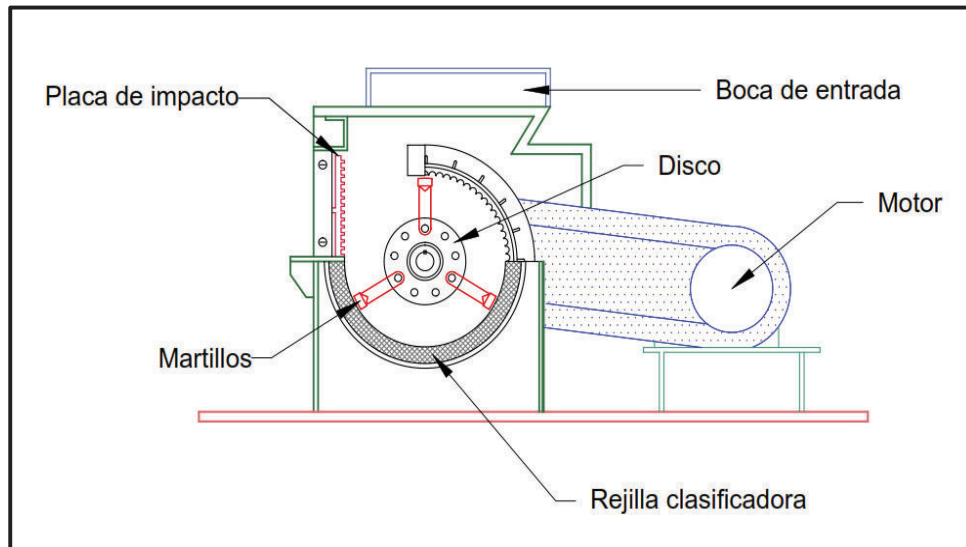
- Desgaste de los rodillos
- No son adecuados para materiales duros o abrasivos
- Relación de reducción limitada
- Necesita una alimentación uniforme a lo largo de la generatriz del cilindro

#### **3.4.3 TRITURADORA DE IMPACTO O MARTILLOS**

La trituradora por impacto, martillo o percusión funciona generando impactos sucesivos sobre el material, haciendo que este se desintegre en partículas de grado fino y medio.

Las cuchillas al ser sometidas a giros sucesivos, se generan entre ellas la compresión del material, mientras más rápida sea la fuerza aplicada se produce más rápido la fractura.

En la figura 3.7 se muestra un esquema de la trituradora de martillos.



**Figura 3. 7** Trituradora de martillos de eje horizontal

Fuente: <http://www.trituracionymolienda.com/Molinos.html>

Elaboración: Propia

#### 3.4.3.1 Ventajas de la alternativa 3

- Produce un extenso rango en el tamaño de partículas
- Útil con cualquier clase material o fibra
- Elevada tasa de reducción
- Posee la capacidad de obtener partículas trituradas de forma cúbica
- La caída del material a triturar es por gravedad
- Posee un rotor de gran inercia y gran velocidad 15 a 20 m/s
- Máquinas de concepción sencilla
- Bajo costo de adquisición de piezas

#### 3.4.3.2 Desventajas de la alternativa 3

- No son adecuadas para materiales duros
- Comparada con el molino de rodillos su eficiencia de energía es baja
- Puede generar calor, ruido y emisiones de polvo
- Su interior debe ser recubierto por placas de desgaste
- Desgaste elevado en ciertas piezas

- Se necesita regular la altura y de alimentación.
- Distribuir la alimentación a lo largo del rotor
- Altos costo de mantenimiento o cambio de placas y martillos
- Disminución en la productividad como consecuencia del mantenimiento.
- Mientras más pequeño es el tamaño a triturar mayor debe ser la velocidad del rotor
- No hay uniformidad en el tamaño de las partículas

### **3.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA A CONSTRUIRSE**

Para realizar la selección de la alternativa apropiada, se eligen las características más relevantes que debe poseer la máquina, para que en base a éstas, se efectúe su evaluación mediante los criterios de ponderación.

Entre los factores de ponderación se tiene:

- Grado de trituración
- Tamaño y peso
- Facilidad de construcción
- Capacidad productiva
- Mantenimiento
- Seguridad
- Resistencia a la corrosión
- Nivel de ruido
- Disponibilidad de materiales
- Costos de construcción y diseño

En la tabla 3.2 se muestra la evaluación de cada uno de los factores considerados, de acuerdo a la importancia de estos en el diseño y construcción de la máquina trituradora.

Tabla 3. 2 Selección de alternativas

FACTORES Y VALORES DE APROBACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS*							
N°	CRITERIOS DE PONDERACIÓN	FACTOR DE IMPORTANCIA	ALTERNATIVAS				
			IDEAL	PONDERADA	T. GIRATORIA	T. DE RODILLOS	T. DE MARTILLOS
1	Grado de trituración	1	10	10	6	9	7
2	Tamaño y peso	0,6	10	6	4	6	5
3	Facilidad de construcción	0,5	10	5	3	4	3
4	Capacidad productiva	0,8	10	8	6	7	6
5	Mantenimiento	0,6	10	6	4	6	5
6	Seguridad	0,7	10	7	5	6	3
7	Resistencia a la corrosión	0,9	10	9	4	8	7
8	Nivel de ruido	0,6	10	6	4	6	3
9	Disponibilidad de materiales	0,5	10	5	3	4	4
10	Costos de diseño y construcción	0,7	10	7	2	6	4
<b>TOTAL</b>			<b>100</b>	<b>69</b>	<b>41</b>	<b>62</b>	<b>47</b>

\* Escala de calificación 0-10 (mínimo – máximo respectivamente)

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Del análisis de las alternativas propuestas, se obtiene como resultado que la alternativa 2 es la más factible para la construcción y diseño, es decir, una trituradora de rodillos.

### **3.6 PROTOCOLO DE PRUEBAS**

El Protocolo de Pruebas es un documento en el cual se verifica el correcto funcionamiento de la máquina, después de haber concluido el diseño y la construcción, mediante la verificación de los parámetros establecidos en el diseño y su óptimo funcionamiento.

El Protocolo de Pruebas se encuentra conformado por los siguientes documentos:

- Datos de la empresa y personal encargado de realizar la inspección de la máquina.
- Verificación de la geometría del prototipo.
- Verificación de los componentes principales.
- Verificación de los elementos soldados.
- Pruebas en los sistemas
- Resultados finales.

Los documentos del Protocolo de Pruebas se encuentran detallados en el Anexo 4.



## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DE LOS ELEMENTOS A CONSTRUIRSE Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS**

En este capítulo se especifican y detallan cada uno de los elementos mecánicos que deben ser diseñados y seleccionados, los mismos que deben estar acordes a normas y especificaciones técnicas y que en conjunto cumplan la funcionalidad de una máquina trituradora, con un adecuado grado de trituración y con un mínimo desperdicio de materia prima.

#### **4.1 TRITURADORA DE RODILLOS**

El proceso que realiza la máquina es atrapar y arrastrar las hojas hacia los rodillos, estos, por una fuerza de compresión las trituran. En algunas trituradoras los rodillos pueden girar a diferente velocidad angular produciendo una fuerza de cizallamiento que favorece la trituración.

Para el diseño de la máquina se debe considerar la potencia requerida para triturar las hojas de guayusa, para obtener este dato se considera el siguiente orden:

- Diseño de los rodillos
- Carga de los rodillos
- Característica de materiales
- Cálculo del sistema de transmisión de movimiento
- Selección de lengüetas

#### **4.2 DISEÑO DE LOS RODILLOS**

Los rodillos a emplearse tienen fresado de forma o dentado elaborado en acero inoxidable, el giro de los mismos es en sentido opuesto, la velocidad angular de los rodillos puede ser igual o distinta. El objetivo de realizar un fresado de forma o un dentado en los rodillos, es conseguir mejor grado de trituración de las hojas secas de guayusa.

### 4.2.1 NÚMERO DE RODILLOS

El número de rodillos se establece según las necesidades de diseño. En este caso se van a emplear dos rodillos colocados paralelamente, los mismos tienen un fresado de forma que permite reducir la hoja de guayusa de 65 mm de diámetro a un promedio de 2 mm de diámetro.

### 4.2.2 DIÁMETRO DE LOS RODILLOS

Los rodillos deben tener un diámetro mínimo requerido para poder atrapar, arrastrar y triturar las hojas de guayusa, por lo que, para establecer su dimensión es necesario determinar el ángulo de separación entre estos.

#### 4.2.2.1 Ángulo de separación entre rodillos

Es el ángulo formado por las tangentes a las caras de los rodillos en el punto de contacto entre estos y el producto. En el caso de que las partículas sean atraídas por fricción hacia los rodillos se emplea la (Ec. 4.1).

$$\text{tang } \theta = \mu \quad (\text{Ec. 4. 1})$$

Dónde:

$\theta$ : ángulo de separación entre rodillos

$\mu$ : coeficiente de fricción

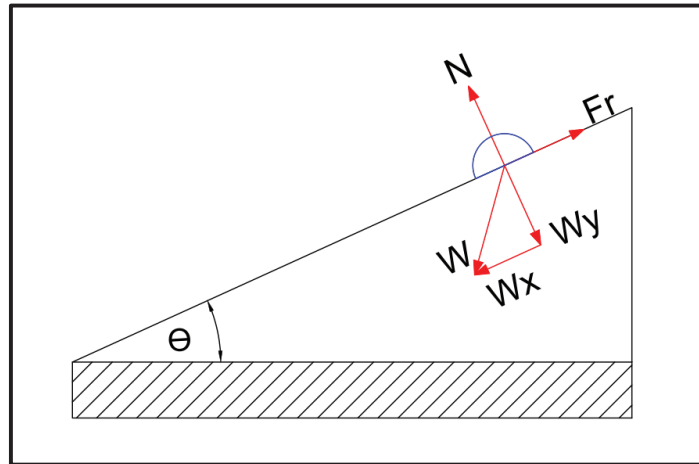
#### 4.2.2.2 Determinación del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción se mide experimentalmente, ubicando una hoja de guayusa encima de un plano inclinado. Al momento en que la masa inicia su deslizamiento se establece que la tangente del ángulo crítico es igual al coeficiente de fricción.<sup>22</sup>

En la figura 4.1 se muestra un esquema de cómo realizar el experimento.

---

<sup>22</sup> <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/dinamico/dinamico.htm>



**Figura 4. 1** Determinación del coeficiente de fricción

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Acorde a la teoría investigada, se determina de forma práctica el coeficiente de fricción entre las hojas de guayusa y el acero inoxidable AISI 304. Se ubican las hojas en la plancha de acero, a esta plancha se le proporciona cierta inclinación hasta que las hojas deslicen, obteniéndose así el ángulo necesario para determinar el coeficiente de fricción.



**Figura 4. 2** Determinación experimental del coeficiente de fricción

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

En la tabla 4.1 se detallan los valores del experimento.

**Tabla 4. 1** Determinación del coeficiente de fricción

N°	Ángulo $\theta$	Coeficiente de fricción $\mu = \text{tang} (\theta)$
1	40	0,839
2	39	0,809
3	42	0,900
4	41	0,869

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Al realizar un promedio a los valores del coeficiente de fricción de la tabla 4.1 y se obtiene:

$$\mu = 0,854$$

#### 4.2.2.3 Cálculo del diámetro de los rodillos

La fórmula para relacionar el diámetro del rodillo con el ángulo de separación entre estos es: <sup>23</sup>

$$\text{Cos} (\theta) = \frac{D_r + D_f}{D_r + D_t} \quad (\text{Ec. 4. 2})$$

Dónde:

$\theta$ : ángulo de separación entre rodillos

$D_r$ : diámetro de los rodillos [mm]

$D_f$ : diámetro medio de las partículas finales [mm]

$D_t$ : diámetro medio de las partículas añadidas [mm]

<sup>23</sup> BALCAZAR M. & GUAMBA J.; Diseño de una trituradora de cacao; E.P.N; Quito; 2009

Entonces:

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

El ángulo de separación es  $\theta$ :

$$\theta = \tan^{-1}(\mu)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0,854)$$

$$\theta = 40,505^\circ$$

El diámetro promedio de las partículas  $D_t$  es:

$$D_t = 50 \text{ [mm]}$$

El diámetro medio de las partículas finales que se desea obtener es:

$$D_f = 3 \text{ [mm]}$$

Reemplazando:

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

$$D_r = \frac{50 \text{ [mm]} \cdot \cos(40,505) - 3 \text{ [mm]}}{1 - \cos 40,505}$$

$$D_r = 146,114 \text{ [mm]}$$

Por facilidad de construcción se considera un diámetro de 100 [mm] ya que este guarda relación con la longitud.

#### 4.2.3 LONGITUD DE LOS RODILLOS

La longitud de los rodillos por motivos de diseño y optimización de tamaño de la máquina se considera de:

$$l = 300 \text{ [mm]}$$

#### 4.2.4 REVOLUCIONES POR MINUTO DE LOS RODILLOS

La velocidad angular del rodillo motriz se determina mediante la ecuación. <sup>24</sup>

$$Q = 60 \cdot \pi \cdot N \cdot D_r \cdot D_f \cdot l \quad (\text{Ec. 4. 3})$$

Dónde:

$Q$ : capacidad de trituración de los rodillos [ $\frac{m^3}{hora}$ ]

$N$ : revoluciones por minuto de los rodillos [rpm]

$D_r$ : diámetro de los rodillos [mm]

$D_f$ : diámetro medio de las partículas finales [mm]

$l$ : longitud del rodillo [mm]

#### 4.2.5 CAPACIDAD DE TRITURACIÓN DE LOS RODILLOS

La capacidad de trituración está determinada por la empresa, que establece que sea de:

$$6,5 \left[ \frac{\text{Quintales}}{\text{hora}} \right] = 6\,500 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{hora}} \right] = 2948,35 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{hora}} \right]$$

Es necesario obtener la densidad de la hoja de guayusa a cierta humedad para poder determinar su flujo volumétrico.

##### 4.2.5.1 Densidad de la hoja de guayusa

La densidad de la hoja de guayusa se mide mediante ensayos efectuados en el DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB) - laboratorio de BROMATOLOGÍA, de la Escuela Politécnica Nacional, acorde al siguiente procedimiento:

---

<sup>24</sup> BALCAZAR M. & GUAMBA J.; Diseño de una trituradora de cacao; E.P.N; Quito; 2009

Se parte de la fórmula: <sup>25</sup>

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec. 4. 4})$$

Dónde:

$\rho$ : densidad [g/cm<sup>3</sup>]

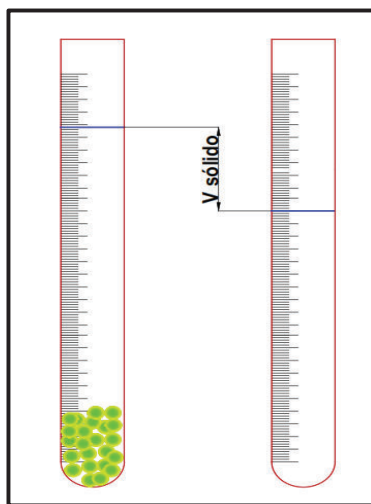
$m$ : masa [kg]

$V$ : volumen [cm<sup>3</sup>]

El volumen de las hojas de guayusa se obtiene vertiendo 50 cm<sup>3</sup> de agua en una probeta, luego se pesa 2 gramos de hojas.

Para el primer caso la hoja es totalmente molida y se coloca dentro de la probeta que contiene agua y se mide en la probeta el volumen obtenido, siendo la diferencia el volumen final.

En la figura 4.3 se muestra el método para obtener el volumen de las hojas de guayusa introducidas en el tubo de ensayo.



**Figura 4. 3** Diferencia de volúmenes

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

<sup>25</sup> <http://www.fullquimica.com/2011/04/densidad.html>

La ecuación 4.5 resume el proceso.

$$V = V_f - V_i \quad (\text{Ec. 4. 5})$$

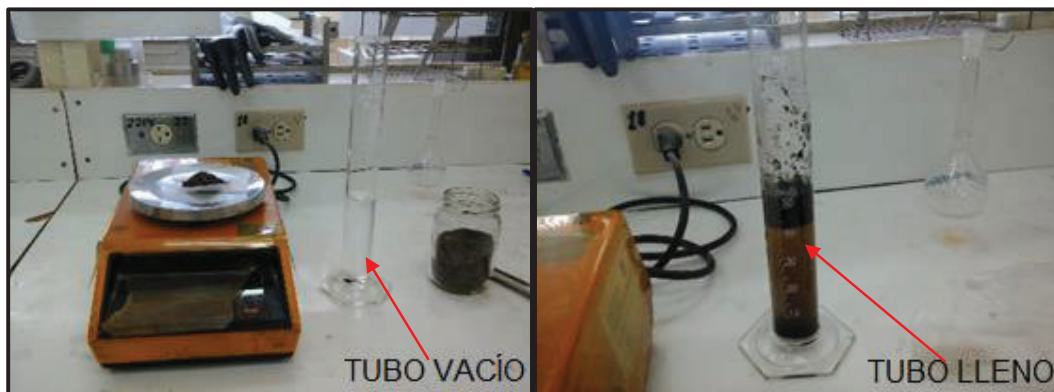
Dónde:

$V$ : volumen de las hojas introducidas en la probeta [cm<sup>3</sup>]

$V_f$ : volumen final [cm<sup>3</sup>]

$V_i$ : volumen inicial [cm<sup>3</sup>]

En la figura 4.4 se muestra el método utilizado para determinar el volumen de las hojas molidas de guayusa.



**Figura 4. 4** Volumen de hojas molidas de guayusa

Fuente: Propia

Elaboración: propia

Resultado de la densidad de las hojas molidas se detallan en la tabla 4.2.

**Tabla 4. 2** Cálculo de la densidad de hojas molidas

N°	V inicial [ $V_i$ ]	V final [ $V_f$ ]	$V = V_f - V_i$	Masa [g]	Densidad $\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$
1	50	53	3	2	0,6667
2	50	53	3	2	0,6667
3	50	53	3	2	0,6667

Fuente: Propia

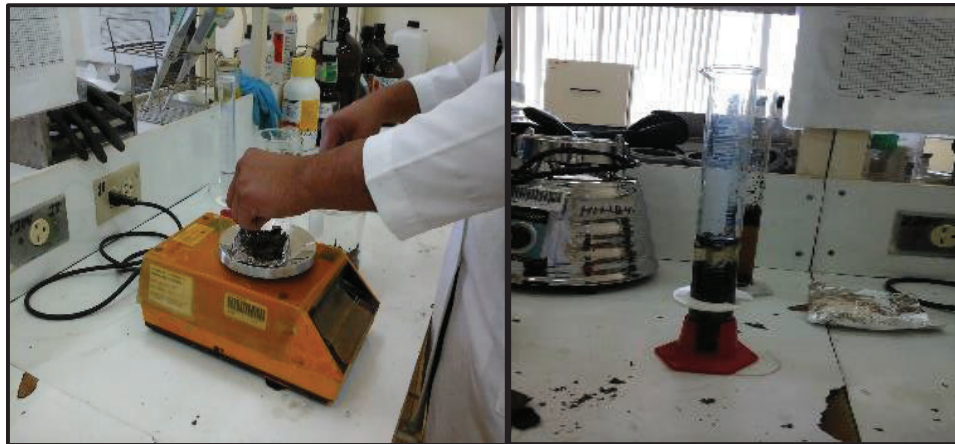
Elaboración: Propia



El promedio total de la densidad es:

$$\rho = 0,6667 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

En la figura 4.5 se muestra el método utilizado para determinar el volumen de las hojas cortadas de guayusa.



**Figura 4. 5** Volumen de hojas cortadas de guayusa

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

En la tabla 4.3 se detallan los resultados obtenidos de la densidad de las hojas cortadas de guayusa.

**Tabla 4. 3** Cálculo de la densidad de hojas cortadas

N°	V inicial [ $V_i$ ]	V final [ $V_f$ ]	$V = V_f - V_i$	Masa [ $m$ ]	Densidad $\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$
1	50	53	4,1	2,5	0,6097
2	50	53,9	3,9	2,5	0,6410
3	50	54	4	2,5	0,625

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

El promedio total de la densidad es:

$$\rho = 0,6250 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

#### 4.2.5.2 Humedad de la hoja de guayusa

Del mismo modo la humedad de la hoja de guayusa se obtiene en el DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB), en el laboratorio de BROMATOLOGÍA, mediante el procedimiento de PEARSON.

La base del cálculo es la ecuación 4.6:<sup>26</sup>

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \left[ \frac{g}{100 g} \right] \quad (\text{Ec. 4. 6})$$

Dónde:

$P_1$ : peso caja vacía [g]

$P_2$ : peso caja + muestra húmeda [g]

$P_3$ : peso caja + muestra seca [g]

El procedimiento es el siguiente: medir el peso de la caja Petri vacía, inmediatamente colocar las hojas de guayusa húmedas en el caja para obtener el peso total, luego, colocar la caja en una estufa durante 5 horas a 100 °C, finalmente, volver a pesar la caja con las hojas de guayusa secas.

En la figura 4.6 se muestra el método utilizado para determinar la humedad de la hoja de guayusa.

---

<sup>26</sup> DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB), Laboratorio de BROMATOLOGÍA



**Figura 4. 6** Humedad de la hoja de guayusa

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

En la tabla 4.4 se detallan los datos obtenidos en el laboratorio.

**Tabla 4. 4** Cálculo de la Humedad de la hoja de guayusa

N°	Peso caja vacía $P_1$	Peso caja + muestra húmeda $P_2$	Peso caja + muestra seca $P_3$	% humedad
1	91,5018	94,9052	94,6120	8,61
2	85,9911	90,6665	90,2657	8,57

Fuente: Propia

Elaboración: propia

El promedio total de la humedad es:

$$\% \text{ humedad} = 8,59 \left[ \frac{g}{100 g} \right]$$

En conclusión la densidad que se utiliza es  $0,6250 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$  de la hoja de guayusa cortada a una humedad de  $8,59 \left[ \frac{g}{100 g} \right]$ .

### 4.2.5.3 Capacidad

La capacidad de trituración es  $6,5 \left[ \frac{\text{Quintales}}{\text{hora}} \right] = 6\,500 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{hora}} \right] = 2\,948,35 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{hora}} \right]$

La densidad  $0,6250 \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right] = 6,25 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]$  con una humedad de  $8,59 \left[ \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} \right]$

Con estos datos se procede a cambiar la capacidad de peso a volumen.

$$\frac{2948,35 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{hora}} \right]}{6,25 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]} \cdot \frac{1 \left[ \text{cm}^3 \right]}{1\,000\,000 \left[ \text{cm}^3 \right]} = 4,7173 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right]$$

A este resultado se le incrementa el 20% para evitar desbordamiento de materia prima, considerando también, un posible incremento en la producción de la empresa.

$$Q = 5,6608 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right]$$

Al reemplazar en la ecuación 4.3 se obtiene:

$$N = \frac{Q}{60 \cdot \pi \cdot D_r \cdot D_f \cdot l}$$

$$N = \frac{5,6608 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{60 \cdot \pi \cdot 0,1 \left[ \text{m} \right] \cdot 0,003 \left[ \text{m} \right] \cdot 0,3 \left[ \text{m} \right]}$$

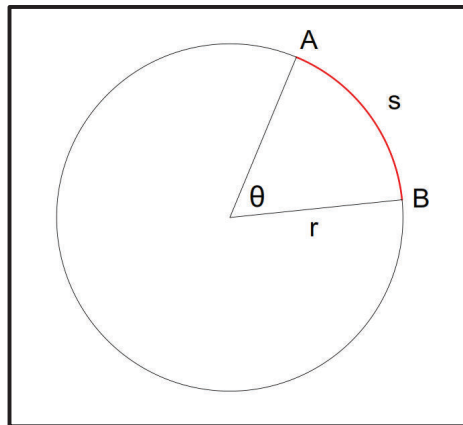
$$N = 333,683 \left[ \text{rpm} \right]$$

Considerando que la empresa puede incrementar su capacidad productiva, se utilizan 350 rpm.

#### 4.2.6 SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE LAS HOJAS DE GUAYUSA Y LOS RODILLOS

La superficie de contacto de los rodillos es el área donde actúan las fuerzas de compresión y corte.

En la figura 4.7 se esquematiza la superficie de contacto de los rodillos.



**Figura 4. 7** Superficie de contacto

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

Se parte de la fórmula:

$$S = r \cdot \theta \quad ; \quad S = \ell$$

$$\ell = r \cdot \theta$$

$$\ell = \frac{D_r}{2} \cdot \theta \quad (\text{Ec. 4. 7})$$

Dónde:

$\ell$ : longitud de arco de contacto [mm]

$D_r$ : diámetro de los rodillos [mm]

$\theta$ : ángulo de contacto en radianes

Para determinar el arco de contacto reemplazamos los siguientes datos en la ecuación 4.7.

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

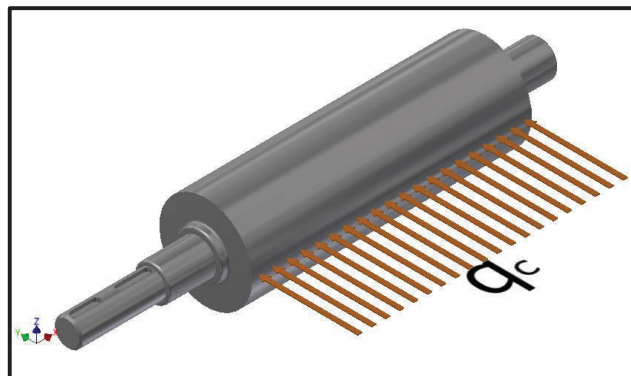
$$\theta = 40,505^\circ = 0,706 \text{ [rad]}$$

$$\ell = \frac{100}{2} \cdot 0,706 = 35,347 \text{ [mm]}$$

#### 4.2.7 CARGA EN LOS RODILLOS

La carga a la que están sometidos los rodillos depende directamente de la fuerza de compresión generada por las hojas de guayusa.

En la figura 4.8 se muestra la distribución de la carga de compresión, generada por las hojas de guayusa al momento de su trituración.



**Figura 4. 8** Distribución de la carga de compresión en el rodillo

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

De la sección 2.2.10 se obtiene el valor del esfuerzo de compresión:

$$\sigma_c = 1,45347 \times 10^{-5} \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right]$$

##### 4.2.7.1 Esfuerzo de compresión unitaria

El esfuerzo de compresión unitario es determinado por la ecuación 4.8.

$$q_c = \sigma_c \cdot l \quad (\text{Ec. 4. 8})$$

Dónde:

$q_c$ : esfuerzo de compresión unitario [kgf/mm]

$\sigma_c$ : esfuerzo de compresión [kgf/mm<sup>2</sup>]

$l$ : longitud de arco de contacto [mm]

$$q_c = 1,45347 \times 10^{-5} \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right] \cdot 35,347 \text{ [mm]}$$

$$q_c = 5,137 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} \right] = 5,038 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

#### 4.2.8 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LOS RODILLOS

Según la norma Europea EN 1672-2 que contiene los Criterios de Diseño para Equipos Higiénicos (Hygienic Equipment Design Criteria), el material que se debe utilizar para la construcción de los rodillos es el acero inoxidable AISI 304, el cual es versátil y unos de los más usados en la industria de procesamiento de alimentos. Los criterios de la norma se detallan en el Anexo 5.

El acero inoxidable AISI 304 posee excelente resistencia a la corrosión ya que posee una alta resistencia a una diversidad de ambientes corrosivos. Las propiedades físicas y químicas se detallan en el Anexo 6.

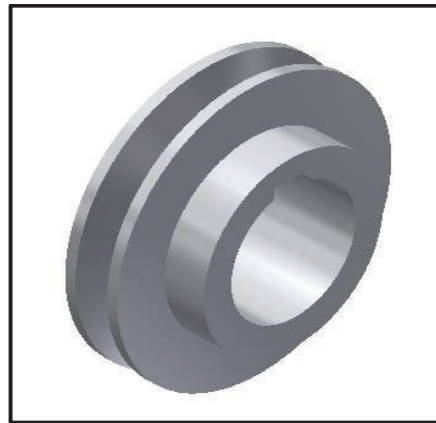
### 4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Al considerar un moto-reductor como elemento motriz se hace necesario transmitir el movimiento a los rodillos, para ello es indispensable el diseño de poleas y engranes.

### 4.3.1 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS POLEAS

Para el cálculo del diámetro de las poleas es necesario obtener la relación de transmisión, que es la razón del número de revoluciones de las poleas y es calculada mediante la ecuación 4.9.<sup>27</sup>

En la figura 4.9 se muestra un esquema de una polea.



**Figura 4. 9** Esquema de una polea

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

$$i = \frac{N_m}{N_c} \quad (\text{Ec. 4. 9})$$

Dónde:

$i$ : relación de trasmisión

$N_c$ : número de revoluciones de la polea conducida (350 [rpm])

$N_m$ : número de revoluciones de la polea motriz (750 [rpm])

Entonces:

---

<sup>27</sup> H. JÜTZ, E. SCHARKUS & R. LOBERT; Tablas para la industria metalúrgica ; 3ra Edición ; Alemania ; 1976



$$i = \frac{750 \text{ [rpm]}}{350 \text{ [rpm]}}$$

$$i = 2,143$$

Para determinar el diámetro de la polea conducida se asume el diámetro primitivo de la polea motriz de 80 mm, este valor es reemplazado en la ecuación 4.10.

$$i = \frac{D_c}{D_m} \quad (\text{Ec. 4. 10})$$

Dónde:

$i$ : relación de trasmisión

$D_c$ : diámetro primitivo de la polea conducida [mm]

$D_m$ : diámetro primitivo de la polea motriz (80 [mm])

Entonces se tiene:

$$D_c = i \cdot D_m$$

$$D_c = 2,143 (80 \text{ [mm]})$$

$$D_c = 171,428 \text{ [mm]}$$

Se selecciona una polea de 180 [mm] de diámetro primitivo.

Las dimensiones de las poleas trapeziales seleccionadas se encuentran especificadas en el Anexo 7.

### 4.3.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LAS POLEAS

El material seleccionado para la construcción de las poleas es el aluminio debido a que posee bajo peso, fácil de maquinar y costo relativamente bajo además de eso en el mercado nacional se comercializa poleas elaboradas en aluminio.

En la tabla 4.5 se detallan las propiedades físicas del material.

**Tabla 4. 5** Propiedades físicas del aluminio

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
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 vaporización	293,4 KJ/mol
Entalpía de fusión	10,79 KJ/mol
Presión de vapor	2,42x10 <sup>-6</sup> Pa a 577 K
Volumen molar	10x10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /mol

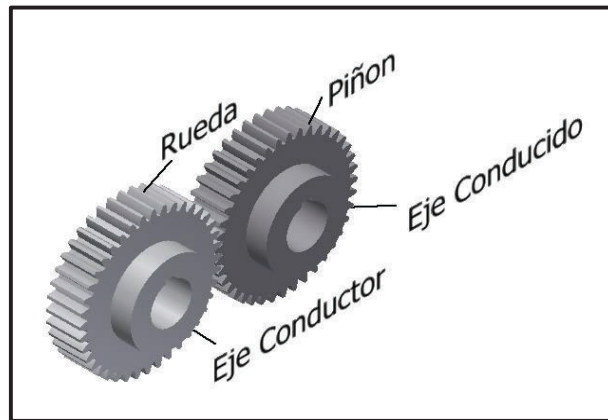
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>

Elaboración: Propia

### 4.3.3 CÁLCULO DE LOS ENGRANES

Elemento mecánico diseñado para la transmisión de potencia de un elemento motriz a un conducido. Es útil para transmitir el movimiento circular mediante el contacto de los dientes de la rueda dentada. La principal ventaja que tiene la transmisión por engranajes es que los mismos no patinan.

En la figura 4.10 se muestra un esquema de los engranajes



**Figura 4. 10** Esquema de engranes

Fuente: <http://concurso.cnice.mec.es/>

Elaboración: Propia

#### Cálculo del diámetro primitivo

Para el cálculo del diámetro primitivo de la rueda dentada se cuenta con el dato de la distancia entre centros de los rodillos, la misma es de 100 mm reemplazando este valor en la ecuación 4.11 se tiene:

$$c = \frac{(D_p + d_p)}{2} \quad (\text{Ec. 4. 11})$$

Dónde:

$c$ : distancia entre centros [mm]

$D_p$ : diámetro primitivo de la rueda dentada [mm]

$d_p$ : diámetro primitivo del piñón [mm]

$$100 = \frac{D_p + d_p}{2}$$

$$D_p + d_p = 200$$

$$D_p = d_p$$

$$2D_p = 200$$

$$D_p = d_p = 100 \text{ [mm]}$$

Cálculo del número de dientes

$$D_p = Z \cdot M \quad (\text{Ec. 4. 12})$$

Dónde:

$D_p$ : diámetro primitivo de la rueda dentada [mm]

Z: número de dientes

M: módulo

Para el cálculo se emplea un módulo de 2,5 de la fresa.

$$100 = Z \cdot 2,5$$

$$Z = 40$$

Cálculo del diámetro externo

$$D_e = (Z + 2) \cdot M \quad (\text{Ec. 4. 13})$$

Donde:

$D_e$ : diámetro externo de la rueda dentada [mm]

Z: número de dientes

M: módulo

$$D_e = (40 + 2) \cdot 2,5$$

$$D_e = 105 \text{ [mm]}$$

Cálculo del paso

$$P_c = \pi \cdot M \quad (\text{Ec. 4. 14})$$

Donde:

$P_c$ : paso de la rueda dentada [mm]

M: modulo

$$P_c = \pi \cdot 2,5$$

$$P_c = 7,853 \text{ [mm]}$$

### Altura del diente

$$h = 2,167 \cdot M \quad (\text{Ec. 4. 15})$$

Dónde:

h: altura del diente

M: módulo

$$h = 2,167 (2,5)$$

$$h = 5,417 \text{ [mm]}$$

### Cálculo del diámetro interno

$$D_i = D_e - 2 \cdot h \quad (\text{Ec. 4. 16})$$

Dónde:

$D_i$ : diámetro interno [mm]

$D_e$ : diámetro externo [mm]

h: altura de diente [mm]

$$D_i = 105 - 2(5,147)$$

$$D_i = 94,161 \text{ [mm]}$$

Cálculo del espesor del diente

$$e = s = \frac{P_c}{2} \quad (\text{Ec. 4. 17})$$

Dónde:

e: espesor del diente

s: espacio entre dientes

$$e = s = \frac{7,853}{2}$$

$$e = s = 3,926[mm]$$

Cálculo de la longitud del diente

$$B = 10 \cdot M \quad (\text{Ec. 4. 18})$$

$$B = 8 (2,5)$$

$$B = 25 [mm]$$

**4.3.4 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LOS ENGRANES**

El material del cual deben ser construidos los engranajes se escoge de acuerdo a las ventajas que presenta el material para desempeñar la función de transmitir el movimiento de un rodillo a otro y reducir los niveles de ruido de la máquina.

El material seleccionado es Cast Nylon-6 comercialmente denominado como Duralón, un termoplástico versátil que posee un excelente rendimiento mecánico (dureza, bajo coeficiente de fricción y excelente resistencia a la abrasión), otro factor es su bajo peso y costos en comparación con cualquier tipo de acero.

En el Anexo 8 se especifican las propiedades mecánicas del material. <sup>28</sup>

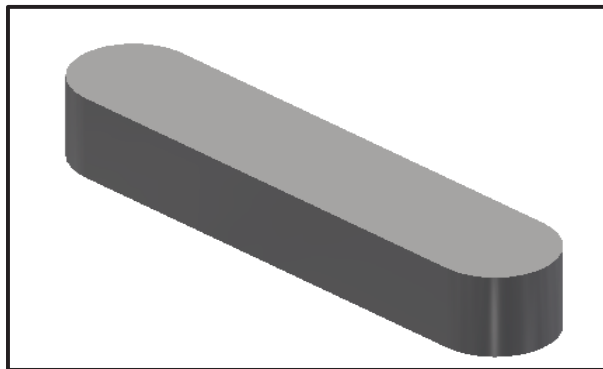
---

<sup>28</sup> <http://www.gplastics.com/pdf/cast-nylon-6.pdf>

### 4.3.5 SELECCIÓN DE LAS LENGÜETAS

La lengüeta es un elemento mecánico, normalmente construida de acero, que introducido en una cavidad practicada parte en un eje y parte en un cubo, permite la transmisión de un momento de torsión entre ambos, obteniendo al mismo tiempo, una unión desmontable. Las lengüetas suelen emplearse para la unión de ruedas dentadas, poleas y volantes con sus respectivos ejes.<sup>29</sup>

En la figura 4.11 se presenta un esquema de una lengüeta.



**Figura 4. 11** Lengüeta

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

#### 4.3.5.1 Dimensiones de lengüetas y lengüeteros

Del Anexo 9, se determinan las dimensiones de las lengüetas que acoplaran a los ejes, engranajes y poleas.

#### POLEAS

Entonces:

- En el eje motriz de diámetro 38,1 mm o 1 ½ pulg:
  - La lengüeta del eje motriz y polea es: R 12x8x28 DIN 6886
  - La profundidad del lengüetero del eje es: 5+0,2
  - La profundidad del cubo es: 2,4+0.2

<sup>29</sup> <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/chaveta-definicion-significado/>

- En el eje conducido de diámetro 30 mm:
  - La lengüeta del eje conducido y polea es: R 8x7x30 DIN 6886
  - La profundidad del lengüetero del eje es: 4+0,2
  - La profundidad del cubo es: 2,4 +0.2.

### ENGRANES

Entonces:

- En el eje motriz de diámetro 30 mm:
  - La lengüeta del eje motriz y rueda dentada es: R8x7x38 DIN 6886
  - La profundidad del lengüetero del eje es: 4+0,2
  - La profundidad del cubo es: 2,4+0.2
  
- En el eje conducido de diámetro 30 mm:
  - La lengüeta del eje conducido y piñón: R 8x7x38 DIN 6886
  - La profundidad del lengüetero del eje es: 4+0,2
  - La profundidad del cubo es: 2,4 +0.2.

#### **4.3.5.2 Selección del material de las lengüetas**

Según la norma DIN 6880 selecciona como material para la construcción de lengüetas lisas y engastadas al acero para chavetas St-60 o St-80.

Para nuestro caso se considera para la construcción de las diferentes lengüetas un acero St-60 (acero de 60 [kg/mm<sup>2</sup>] de resistencia a la tracción en pieza terminada).

En la tabla 4.6 se detallan las propiedades mecánicas del acero St-60.



**Tabla 4. 6** Propiedades mecánica aceros St 60

PROPIEDADES		T[°C]
Densidad (x 1000 kg/m <sup>3</sup> )	7,7 – 8,03	25
Coeficiente de Poisson	0,27 – 0,30	25
Módulo de Elasticidad (GPa)	190-210	25
Resistencia a la tracción (MPa)	1158	
Límite Elástico (MPa)	1034	25
Elongación (%)	15	
Reducción del área (%)	53	
Dureza (HB)	335	25

Fuente: <http://www.steelss.com/Carbon-steel/st60-2.html>

Elaboración: Propia

## 4.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LOS ELEMENTOS

Para el cálculo de la potencia requerida se toman en cuenta los elementos que están en contacto como son: los rodillos, los engranajes y las poleas.

### 4.4.1 POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO PRINCIPAL

Para determinar la potencia requerida por el rodillo principal se hace necesario determinar:

- La inercia
- La aceleración angular
- Torque

#### 4.4.1.1 Momento de inercia del rodillo principal

Utilizando la ecuación 4.19 se determina el momento de inercia de la masa total del rodillo principal o secundario.

$$I_{Rodillo} = \frac{\pi \cdot D_r^4 \cdot \rho \cdot l}{32} \quad (\text{Ec. 4. 19})$$

Dónde:

$I_{Rodillo}$  : inercia de la masa total [kg·m<sup>2</sup>]

$D_r$  : diámetro del rodillo [m]

$\rho$  : densidad del acero inoxidable (AISI 304, 7 800 kg/m<sup>3</sup>)

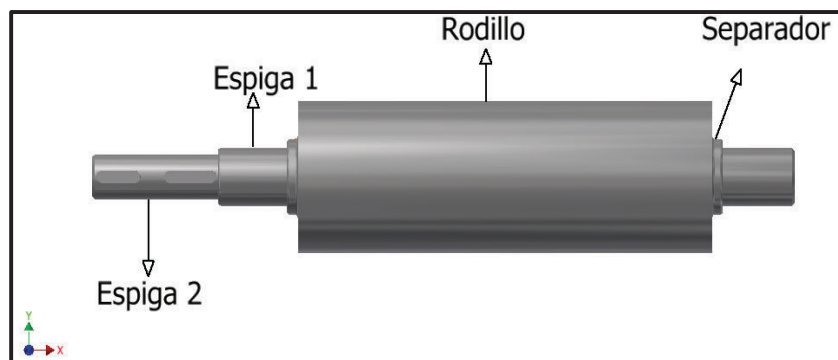
$l$  : longitud del rodillo [m]

Para el cálculo de los dos rodillos se considera:

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

$$l = 300 \text{ [mm]}$$

En la figura 4.12 se muestra un esquema del rodillo principal en donde se detallan los nombres de las principales partes que posteriormente van hacer útiles para realizar los cálculos pertinentes.



**Figura 4. 12** Secciones del rodillo principal

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

$$I_{Rodillo} = \frac{\pi \cdot (0,1 \text{ [m]})^4 \cdot 7\,800 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,3 \text{ [m]}}{32}$$

$$I_{Rodillo} = 0,0229 \text{ [Kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

$$I_{\text{Separador}} = \frac{\pi \cdot (0,05[m])^4 \cdot 7\,800 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,016[m]}{32}$$

$$I_{\text{Separador}} = 7,657 \times 10^{-5} [kg \cdot m^2]$$

$$I_{\text{Espiga 1}} = \frac{\pi \cdot (0,0381[m])^4 \cdot 7\,800 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,102[m]}{32}$$

$$I_{\text{Espiga 1}} = 1,645 \times 10^{-4} [kg \cdot m^2]$$

$$I_{\text{Espiga 2}} = \frac{\pi \cdot (0,03[m])^4 \cdot 7\,800 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,091[m]}{32}$$

$$I_{\text{Espiga 2}} = 5,644 \times 10^{-5} [kg \cdot m^2]$$

$$I_{\text{RODILLO PRINCIPAL}} = I_{\text{Rodillo}} + I_{\text{Separador}} + I_{\text{Espiga 1}} + I_{\text{Espiga 2}} \quad (\text{Ec. 4. 20})$$

$$I_{\text{RODILLO PRINCIPAL}} = 0,02319 [kg \cdot m^2]$$

#### 4.4.1.2 Cálculo de la aceleración angular

Utilizando la ecuación 4.21 y realizando consideraciones establecidas a continuación se obtiene la aceleración angular.

$$w = w_o + \alpha \cdot t \quad (\text{Ec. 4. 21})$$

Dónde:

w = Velocidad angular final [rad/s]

w<sub>o</sub>: Velocidad angular inicial [rad/]

α: aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

t: tiempo [s]

El tiempo para que la máquina estabilice su funcionamiento es de alrededor del 0,2 segundos.

Como el funcionamiento de la máquina parte del reposo la velocidad angular inicial es igual a cero.

Entonces:

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

En la sección 4.2.5.3 se toma la velocidad angular final.

$$w = 350 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi rad}{1 rev} \cdot \frac{1 min}{60 s} = 36,652 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$\alpha = \frac{36,652 \left[ \frac{rad}{s} \right]}{0,2 [s]}$$

$$\alpha = 183,259 \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$$

#### 4.4.1.3 Torque del rodillo principal

Empleando la ecuación 4.22 y reemplazando los valores obtenidos anteriormente se determina el torque que se generan en el rodillo principal.

$$T = I \cdot \alpha \quad (\text{Ec. 4. 22})$$

Dónde:

T: torque [N·m]

I: inercia [kg·m<sup>2</sup>]

$\alpha$ : aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

$$T = 0,02319 [kg \cdot m^2] \cdot 183,259 \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$$

$$T = 4,251 [N \cdot m]$$

#### 4.4.1.4 Potencia requerida en el rodillo principal

Remplazando los valores de torque y velocidad angular en la ecuación 4.23 se obtiene la potencia requerida en el rodillo principal.

$$P = T \cdot \omega \quad (\text{Ec. 4. 23})$$

Dónde:

P: potencia [watt]

T: torque [N·m]

$\omega$ : velocidad angular final [rad/s]

$$P = 4,251 [N \cdot m] \cdot 36,652 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

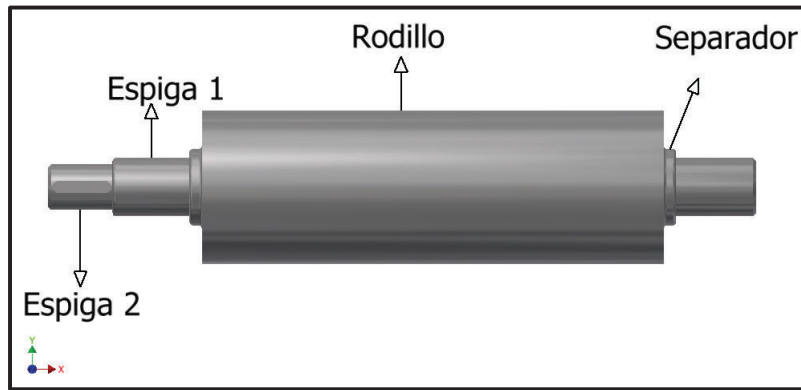
$$P = 155,813 [watt]$$

#### 4.4.2 POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO SECUNDARIO

El rodillo principal transmite el movimiento al rodillo secundario mediante la utilización de engranes, por lo tanto se hace necesario el cálculo de la potencia requerida para generar el movimiento del mismo.

##### 4.4.2.1 Momento de inercia del rodillo secundario

En la figura 4.13 se muestra un esquema del rodillo secundario en donde se detallan los nombres de las principales partes que posteriormente van hacer útiles para realizar los cálculos pertinentes.



**Figura 4. 13** Secciones del rodillo secundario

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

$$I_{Rodillo} = \frac{\pi \cdot (0,1 [m])^4 \cdot 7\,800 \left[\frac{kg}{m^3}\right] \cdot 0,3[m]}{32}$$

$$I_{Rodillo} = 0,0229 [Kg \cdot m^2]$$

$$I_{Separador} = \frac{\pi \cdot (0,05[m])^4 \cdot 7\,800 \left[\frac{kg}{m^3}\right] \cdot 0,016[m]}{32}$$

$$I_{Separador} = 7,657 \times 10^{-5} [kg \cdot m^2]$$

$$I_{Espiga\ 1} = \frac{\pi \cdot (0,0381[m])^4 \cdot 7\,800 \left[\frac{kg}{m^3}\right] \cdot 0,102[m]}{32}$$

$$I_{Espiga\ 1} = 1,646 \times 10^{-4} [kg \cdot m^2]$$

$$I_{Espiga\ 2} = \frac{\pi \cdot (0,03[m])^4 \cdot 7\,800 \left[\frac{kg}{m^3}\right] \cdot 0,04[m]}{32}$$

$$I_{Espiga\ 2} = 2,481 \times 10^{-5} [kg \cdot m^2]$$

$$I_{RODILLO\ SECUNDARIO} = I_{Rodillo} + I_{Separador} + I_{Espiga\ 1} + I_{Espiga\ 2}$$

$$I_{RODILLO\ SECUNDARIO} = 0,02316 [kg \cdot m^2]$$

#### 4.4.2.2 Torque del rodillo secundario

$$T = I \cdot \alpha$$

$$T = 0,02316 [kg \cdot m^2] \cdot 183,259 \left[\frac{rad}{s^2}\right]$$

$$T = 4,245 [N \cdot m]$$

#### 4.4.2.3 Potencia requerida en el rodillo secundario

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 4,245 [N \cdot m] \cdot 36,652 \left[\frac{rad}{s}\right]$$

$$P = 155,601 [watt]$$

### 4.4.3 POTENCIA REQUERIDA EN LAS POLEAS

Es necesario calcular la potencia requerida para generar el movimiento de las poleas, para obtener este valor se deben realizar los siguientes cálculos.

#### 4.4.3.1 Cálculo del volumen de la polea motriz

$$v_{polea} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot l \quad (\text{Ec. 4. 24})$$

Dónde:

V: volumen de la polea [m<sup>3</sup>]

$D_{ext}$ : diámetro exterior de la polea [mm].

$D_{int}$ : diámetro interior de la polea [mm].

l: longitud de la polea [mm]

$$v_{polea\ motriz} = \frac{\pi}{4} (80^2 - 38,1^2) \cdot 28$$

$$v_{polea\ motriz} = 0,108 \times 10^6 [mm^3] = 1,088 \times 10^{-4} [m^3]$$

#### 4.4.3.2 Cálculo de la masa de la polea motriz

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

Dónde:

$\rho$ : densidad del material 2698.4 [kg/m<sup>3</sup>]

m: masa de la polea [Kg]

v: volumen [m<sup>3</sup>]

$$m = 2\,698,4 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 1,088 \times 10^{-4} [m^3]$$

$$m = 0,293 [Kg]$$

#### 4.4.3.3 Cálculo de la inercia de la polea motriz

$$I_{polea} = \frac{m}{8} (D_{ext}^2 + D_{int}^2)$$

Dónde:

I: inercia de la polea [kg·m<sup>2</sup>]

m: masa de la polea [kg]

$D_{ext}$ : diámetro exterior de la polea [mm]

$D_{int}$ : diámetro interior de la polea [mm]

$$I_{polea\ motriz} = \frac{0,293 [Kg]}{8} ((0,08[m])^2 + (0,0381[m])^2)$$

$$I_{polea\ motriz} = 2,881 \times 10^{-4} [kg \cdot m^2]$$



#### 4.4.3.4 Cálculo del volumen de la polea conducida

$$v_{polea\ conducida} = \frac{\pi}{4} (180^2 - 30^2) \cdot 32$$

$$v_{polea\ conducida} = 0,791 \times 10^6 [mm^3] = 7,917 \times 10^{-4} [m^3]$$

#### 4.4.3.5 Masa polea conducida

$$m = 2698,4 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 7,917 \times 10^{-4} [m^3]$$

$$m = 2,136 [kg]$$

#### 4.4.3.6 Inercia polea conducida

$$I_{polea\ conducida} = \frac{2,136 [kg]}{8} ((0,18[m])^2 + (0,03[m])^2)$$

$$I_{polea\ conducida} = 8,892 \times 10^{-3} [kg \cdot m^2]$$

Realizando una suma de la inercia de la polea motriz y la inercia de la polea conducida se obtiene la inercia total del sistema de poleas.

$$I_{poleas} = I_{polea\ motriz} + I_{polea\ conducida}$$

$$I_{poleas} = 9,18 \times 10^{-3} [kg \cdot m^2]$$

El torque del sistema de poleas es:

$$T = I \cdot \alpha$$

$$T = 9,18 \times 10^{-3} [kg \cdot m^2] \cdot 183,259 \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$$

$$T = 1,682 [N \cdot m]$$

La potencia total requerida del sistema de poleas es:

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 1,682 [N \cdot m] \cdot 36,652 \left[\frac{rad}{s}\right]$$

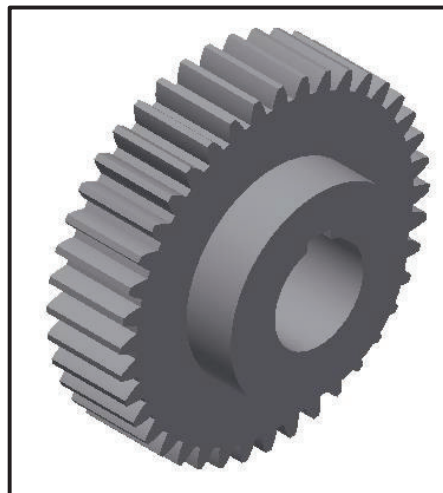
$$P = 61,66 [watt]$$

#### 4.4.4 POTENCIA REQUERIDA PARA LOS ENGRANAJES

Al ser similar el piñón y la rueda dentada solo se realizan los cálculos para uno de ellos.

##### Cálculos del volumen de la rueda dentada

La figura 4.14 muestra un esquema de un engranaje.



**Figura 4. 14** Engranaje

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$v_{\text{engranaje}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2) \cdot l$$

$$v_{\text{sección 1}} = \frac{\pi}{4} (105^2 - 30^2)(25) = 198\,803,91 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$v_{\text{sección 2}} = \frac{\pi}{4} (60^2 - 30^2)(15) = 31\,808,625 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$v_{\text{engranaje}} = 230\,612,535 \text{ [mm}^3\text{]} = 2,306 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

### Cálculo de la masa de la rueda dentada

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

$$m = 1\,150 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 2,306 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m = 0,265 \text{ [Kg]}$$

### Cálculo de la inercia de la rueda dentada

$$I_{\text{engranaje}} = \frac{m}{8} (D_{\text{ext}}^2 + D_{\text{int}}^2)$$

$$I_{\text{Engranaje}} = \frac{0,265}{8} (105^2 + 30^2)$$

$$I_{\text{Engranaje}} = 395,320 \text{ [kg} \cdot \text{mm}^2\text{]} = 3,953 \times 10^{-4} \text{ [Kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

Al existir dos engranajes en el diseño se tiene:

$$I_{\text{Engranajes}} = 2 \cdot I_{\text{Engranaje}}$$

$$I_{\text{Engranajes}} = 7,906 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

Cálculo del torque

$$T = I \cdot \alpha$$

$$T = 7,906 \times 10^{-4} [kg \cdot m^2] \cdot 183,259 \left[\frac{rad}{s^2}\right]$$

$$T = 0,145 [N \cdot m]$$

Cálculo de la potencia requerida

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 0,145 [N \cdot m] \cdot 36,652 \left[\frac{rad}{s}\right]$$

$$P = 5,31 [watt]$$

#### 4.5 POTENCIA REQUERIDA PARA TRITURAR LAS HOJAS DE GUAYUSA

Para determinar la potencia necesaria para triturar las hojas se debe considerar el cálculo del torque mediante la utilización de la ecuación 4.25.<sup>30</sup>

$$T = \mu \cdot q_c \cdot l \cdot r \quad (\text{Ec. 4. 25})$$

Dónde:

T: torque [N·m]

$\mu$ : coeficiente de rozamiento (adimensional)

$q_c$ : carga unitaria [kg/mm]

l: longitud de contacto [mm]

r: radio del rodillo

---

<sup>30</sup> SALAS C.; Diseño de un molino de rodillo para molienda de granos destinado al área de alimentos del CESTTA-ESPOCH; ESPOCH; Riobamba; 2012

$$T = 0,854 \cdot 5,038 \times 10^{-3} \left[ \frac{N}{mm} \right] \cdot 35,347 [mm] \cdot 50 [mm]$$

$$T = 7,604 [N \cdot mm] = 7,604 \times 10^{-3} [N \cdot m]$$

### Potencia

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 7,604 \times 10^{-3} [N \cdot m] \cdot 36,652 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 0,279 [watt]$$

$$P_{Elementos} = P_{Rodillo\ principal} + P_{Rodillo\ secundario} + P_{Poleas} + P_{Engranajes}$$

$$P_{Elementos} = 155,813 [watt] + 155,601[watt] + 61,66[watt] + 5,31[watt]$$

$$P_{Elementos} = 378,384 [watt]$$

$$P_{Requerida} = P_{Elementos} + P_{Trituración} \quad (\text{Ec. 4. 26})$$

$$P_{Requerida} = 378,384 [watt] + 0,279 [watt]$$

$$P_{Requerida} = 378,663 [watt] = 0,507 [hp]$$

## 4.6 SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

Para la selección del motorreductor se requiere considerar un factor de servicio  $f_s = 1,05$  por lo tanto la potencia requerida queda determinada por la ecuación 4.27.

$$P_{TOTAL} = P_{Requerida} \cdot f_s \quad (\text{Ec. 4. 27})$$

$$P_{TOTAL} = 0,507[hp] \cdot 1,05$$

$$P_{TOTAL} = 0,532 [hp]$$

Se cuenta con un moto reductor de 1 [hp] previo a la realización del presente proyecto, el mismo que será empleado para disminuir costos de fabricación.

En el Anexo 10 se muestra las especificaciones técnicas del motorreductor.

## **4.7 BANDAS**

Las bandas son un elemento flexible que permite transmitir potencia entre dos ejes paralelos.

Se utiliza la transmisión por bandas porque representa un costo menor a otro tipo de transmisión como el caso de engranes o cadenas.

### **4.7.1 SELECCIÓN DE BANDAS**

Las bandas que se utilizan son de sección transversal en forma trapecio. Esta forma permite aumentar las fuerzas de fricción entre la correa y las poleas con que interactúan.

### **4.7.2 PARÁMETROS DE SELECCIÓN**

Para la transmisión de la potencia de un eje motriz a un eje conducido se utilizara poleas ya que este método es más económico y para mejorar la eficiencia de transmisión se utiliza bandas trapeciales.

La selección de la banda trapecial se realizara mediante los siguientes datos:

- Potencia requerida en el elemento conducido (HP)
- Velocidad del elemento motriz (rpm)
- Velocidad del elemento conducido (rpm)
- Distancia aproximada entre ejes

Entonces para simplificar el procedimiento, se especifica los pasos a seguir para escoger el tipo de bandas (perfil o sección).<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> <http://es.scribd.com/doc/11863511/Diseno-y-Seleccion-Del-Mando-a-Correas-en-V>

### 4.7.3 ESTIMAR EL FACTOR DE SERVICIO

En la tabla 4.7 se identifica en qué condiciones las bandas operan.

**Tabla 4. 7** Factor de servicio

Máquina Movid	Máquina Motriz					
	Motor eléctrico sincrónico Motor de combustión interna multicilindro Turbina			Motor eléctrico de alto par Motor de combustión interna monocilindro		
	8 h/día	16 h/día	24 h/día	8 h/día	16 h/día	24 h/día
<b>Carga Ligera</b> Agitadores de líquido Bombas y compresores centrífugos Transportadores de bandas Ventiladores Máquinas herramientas de corte continuo	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<b>Carga normal</b> Bombas y compresores de 3 y más cilindros Transportadores de cadena Fresadoras	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<b>Carga pesada</b> Bombas y compresores de uno y dos cilindros Elevadores de cangilones Cepilladoras y mortajadoras	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<b>Carga muy pesada</b> Mecanismos de elevación de grúas Prensas Cizallas	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/5699593/CALCULO-DE-CORREAS-2>  
Elaboración: Propia

El factor de servicio que se utiliza en este caso es para una máquina de carga normal y de un motor eléctrico que trabaja 8 horas diarias.

$$f_{serv} = 1,1$$

#### 4.7.4 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA TEÓRICA

Es la potencia requerida en HP, en este caso se estima la siguiente potencia:

$$P = 1[hp] \quad (\text{Ec. 4. 28})$$

#### 4.7.5 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE DISEÑO

Es la potencia que se utiliza para la selección de la banda.

$$P_d = P \cdot f_{serv} \quad (\text{Ec. 4. 29})$$

$$P_d = 1 [hp] \cdot 1,1$$

$$P_d = 1,1 [hp]$$

#### 4.7.6 DETERMINAR LA SECCIÓN DE LAS CORREAS

Los perfiles y las dimensiones se detallan a continuación en la tabla 4.8.

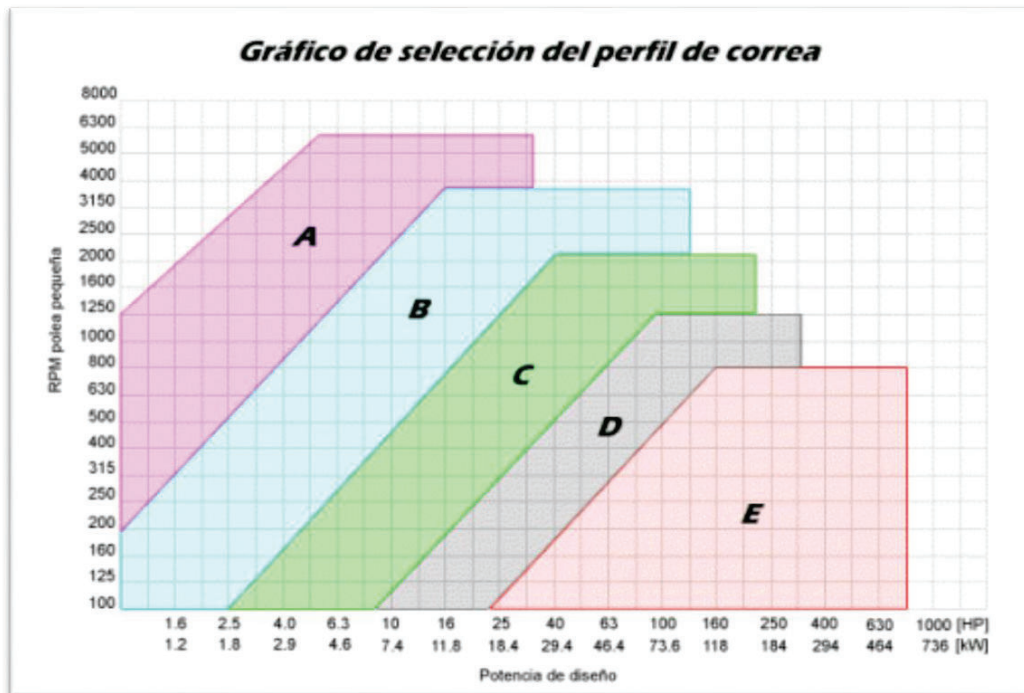
**Tabla 4. 8** Perfil y dimensiones de las bandas

Sección	Ancho Superior [mm]	Altura [mm]	Ángulo (grados)
O	10	7	40
A	13	8	40
B	17	10	40
C	22	14	40
D	32	18	40
E	38	25	40

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/11863511/Diseno-y-Seleccion-Del-Mando-a-Correas-en-V>

Elaboración: Propia





**Figura 4. 15** Grafica de la selección del perfil de correa <sup>32</sup>

Fuente: <http://www.jocartransmisiones.com/PDF>  
 Elaboración: Anónima

Para seleccionar el perfil, en la figura 4.15 se ubican sobre el eje de abscisas el valor de potencia de diseño en HP, y sobre el eje de ordenadas las el número de revoluciones de la polea más rápida. Generando rectas perpendiculares a ambos ejes, la intersección de ambas nos determina la sección más conveniente a utilizar.

- Potencia de diseño

$$P_d = 1,1 [HP]$$

- Número de revoluciones

$$750 [rpm]$$

En conclusión el perfil de la correa es de **SECCIÓN A**

<sup>32</sup> Catalogo Roflex

#### 4.7.7 ELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS POLEAS

Se toma en cuenta que para cada perfil de la banda es necesario un diámetro mínimo de las poleas.

**Tabla 4. 9** Diámetro mínimo de las 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: <http://es.scribd.com/doc/11863511/Diseno-y-Seleccion-Del-Mando-a-Correas-en-V>  
Elaboración: Propia

Diámetro de las poleas

- Diámetro de la polea conducida ( $D_c = 180 [mm]$ )
- Diámetro de la polea motriz ( $D_m = 80 [mm]$ )

Los diámetros de las poleas están en el rango permitido por el perfil de la correa de SECCIÓN A.

#### 4.7.8 DISTANCIA ENTRE CENTROS

Para calcular la distancia entre ejes se utiliza la ecuación 4.30.<sup>33</sup>

$$0.7(D_c + D_m) \leq C \leq 2(D_c + D_m) \quad (\text{Ec. 4. 30})$$

Dónde:

$C$ : distancia entre centros [mm]

$D_m$ : diámetro de la polea motriz [mm]

$D_c$ : diámetro de la polea conducida [mm]

<sup>33</sup> <http://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn>

Reemplazando:

$$0.7(160 + 80) \leq C \leq 2(160 + 80)$$

$$168 \leq C \leq 480$$

La distancia entre centros que se utiliza es de 250 [mm]

#### 4.7.9 ÁNGULO DE CONTACTO

El ángulo de contacto está integrado por el arco efectivo, el cual transmite la potencia y el arco inactivo el que no produce cambio de velocidad y fuerza.<sup>34</sup>

$$\theta_s = \pi - 2\text{sen}^{-1} \frac{D_c - D_m}{2C} \quad (\text{Ec. 4. 31})$$

$$\theta_L = \pi + 2\text{sen}^{-1} \frac{D_c - D_m}{2C} \quad (\text{Ec. 4. 32})$$

Dónde:

$\theta_s$  = Ángulo de contacto de la polea motriz

$\theta_L$  = Ángulo de contacto de la polea conducida

Reemplazando:

$$\theta_s = 180 - 2\text{sen}^{-1} \frac{180[\text{mm}] - 80[\text{mm}]}{2(250)}$$

$$\theta_s = 156,92^\circ$$

$$\theta_s = 2,73 [\text{rad}]$$

---

<sup>34</sup> SHIGLEY J. & MITCHELL L.; Manual De Diseño Mecánico; 5ta Edición; Editorial McGraw Hill México; 1995

$$\theta_L = 180 + 2\text{sen}^{-1} \frac{180[\text{mm}] - 80[\text{mm}]}{2(250)}$$

$$\theta_L = 203,07^\circ$$

$$\theta_L = 3,54 [\text{rad}]$$

#### 4.7.10 LONGITUD DE LA BANDA <sup>35</sup>

Para determinar la longitud se utiliza la ecuación 4.33.

$$L = \sqrt{4C^2 - (D_c - D_m)^2} + \frac{1}{2}(D_c\theta_L + D_m\theta_s) \quad (\text{Ec. 4. 33})$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$L = \sqrt{4(250)^2 - (180 - 80)^2} + \frac{1}{2}(180(3,54) + 80(2,73))$$

$$L = 917,698 [\text{mm}]$$

La longitud calculada es 917,698 mm, entonces del Anexo 11 se selecciona una banda trapecial Good Year AX 35.

## 4.8 DISEÑO DE LOS RODILLOS

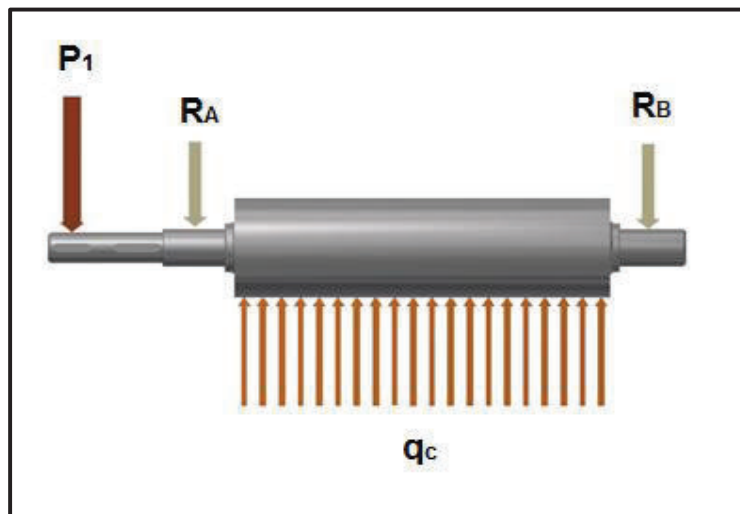
Para el diseño del rodillo principal es necesario establecer las cargas que actúan sobre éste, para posteriormente determinar el momento máximo, en base al cual se selecciona las dimensiones más convenientes de acuerdo a su funcionalidad.

### 4.8.1 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL RODILLO PRINCIPAL

En la figura 4.16 se muestra las fuerzas principales que actúan sobre el rodillo principal.

---

<sup>35</sup> SHIGLEY J. & MITCHELL L.; Manual De Diseño Mecánico; 4ta Edición; Editorial McGraw Hill; México; 1995



**Figura 4. 16** Diagrama de cuerpo libre del rodillo principal

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

#### 4.8.2 CÁLCULO DEL MOMENTO FLECTOR Y FUERZA CORTANTE

Para determinar la fuerza  $P_1$  representada en el diagrama de cuerpo libre del rodillo principal mostrado en la figura 4.16, es necesario partir de la potencia total requerida para la trituración de las hojas de guayusa y para generar movimiento al sistema.

$$P = T \cdot \omega$$

Donde:

P: potencia requerida para triturar las hojas de guayusa [ $N \cdot mm / s$ ]

T: torque [ $N \cdot mm$ ]

w: velocidad angular [ $rad/s$ ]

$$T = \frac{1\,491,399 \left[ \frac{N \cdot m}{s} \right]}{36,652 \left[ \frac{rad}{s} \right]}$$

$$T = 40,691 [N \cdot m] = 40\,690,815 [N \cdot mm]$$

Para determinar la fuerza  $P_1$  se parte del torque generado en el proceso de trituración.

$$T = F \cdot r$$

Donde:

T: torque

F: fuerza

r: distancia

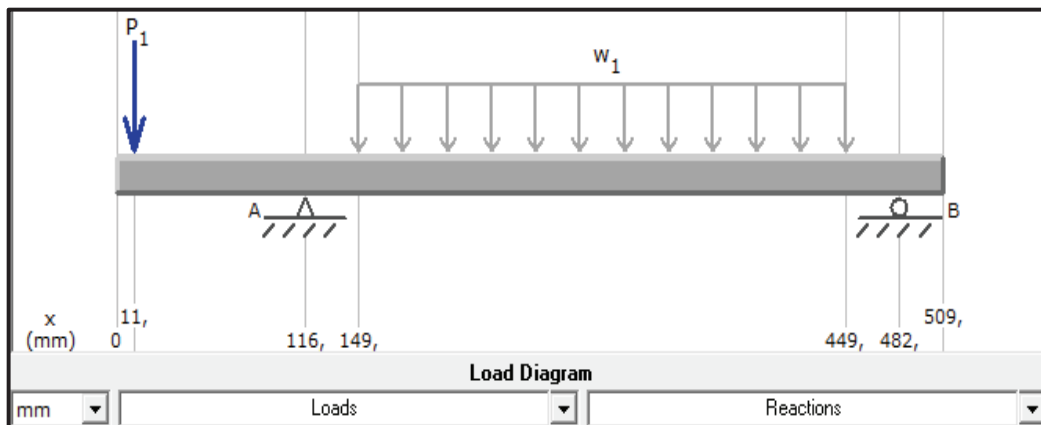
$$F = P_1$$

$$P_1 = \frac{40\,690,815 \text{ [N} \cdot \text{mm]}}{90 \text{ [mm]}}$$

$$P_1 = 452,120 \text{ [N]}$$

El valor del esfuerzo de compresión generado en el rodillo se obtiene de la sección 4.2.7.1.

$$w_1 = 5,038 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$



**Figura 4. 17** Diagrama de cuerpo libre

Fuente: MDSolids 3.5

Elaboración: Propia

Posterior a la realización del diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 4.17, aplicando las condiciones de equilibrio en el plano X-Y y utilizando el software MDSolids 3.5 se obtiene los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector mostrados en la figura 4.18 y figura 4.19 respectivamente.

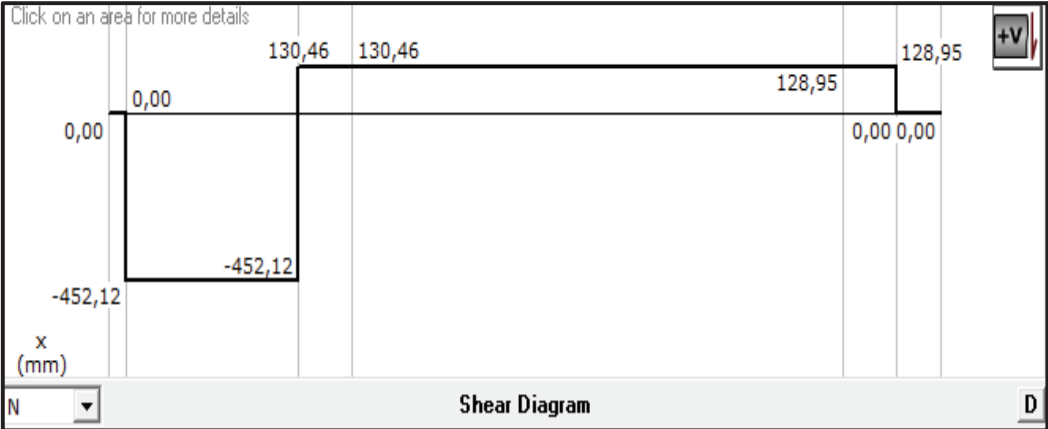


Figura 4. 18 Diagrama de esfuerzo cortante

Fuente: MDSolids 3.5  
Elaboración: Propia

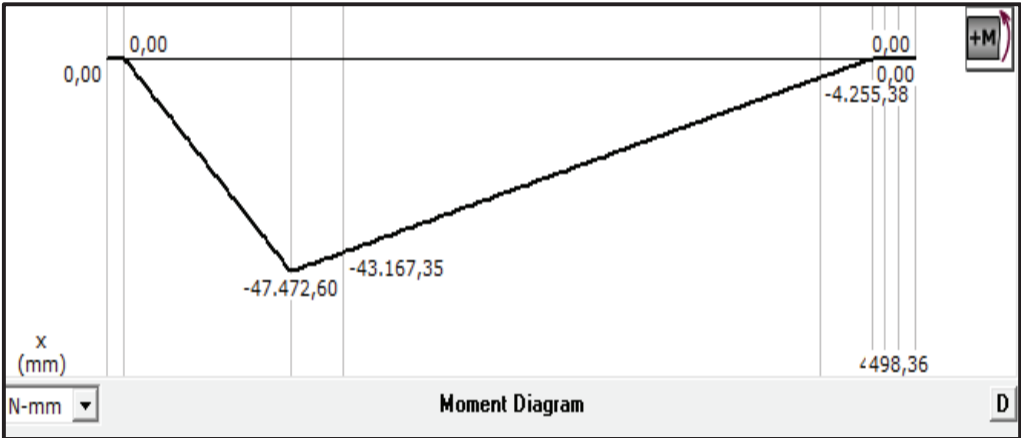


Figura 4. 19 Diagrama de momento flector

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

El punto crítico presente en el rodillo principal está el apoyo A donde se encuentra el primer rodamiento. Esta sección del rodillo tiene un diámetro de 38,1 mm.

Las reacciones obtenidas son:

$$R_{Ay} = 582,58 [N]$$

$$R_{By} = 128,95[N]$$

### 4.8.3 DISEÑO ESTÁTICO DE LOS RODILLOS

El análisis del diseño estático es útil para obtener una primera estimación de las dimensiones del rodillo.

Para el cálculo se considera los esfuerzos en un punto de la superficie del rodillo de diámetro d, que está sometido a cargas estáticas de compresión y fuerzas.

#### Esfuerzo normal máximo

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot D^3} \quad (\text{Ec. 4. 34})$$

$$\sigma_x = \frac{32 (47\,472,60 [N \cdot mm])}{\pi(38,1 \text{ mm})^3}$$

$$\sigma_x = 8,743 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

#### Esfuerzo de torsión

$$\tau_{xy} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D^3} \quad (\text{Ec. 4. 35})$$



$$\tau_{xy} = \frac{16 (40\,690,815 [N \cdot mm])}{\pi (38,1 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_{xy} = 3,747 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

### Teoría de la energía de distorsión

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad (\text{Ec. 4. 36})$$

$$\sigma' = \sqrt{(8,743 \left[ \frac{N}{mm^2} \right])^2 + 3(3,747 \left[ \frac{N}{mm^2} \right])^2}$$

$$\sigma' = 10,888 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

### Factor de seguridad

$$n \cdot \sigma' = S_y \quad (\text{Ec. 4. 37})$$

$$n = \frac{310 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{10,888 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$n = 28,470$$

### Cálculo del diámetro asumiendo el factor de seguridad

Para máquinas de uso agrícola el factor de seguridad se considera mayor a 2.

$$d = \left[ \frac{32 \cdot n}{\pi \cdot S_y} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4} \cdot T^2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ \frac{32(5)}{\pi(310 \left[ \frac{N}{mm^2} \right])} \sqrt{(47\,472,60 [N \cdot mm])^2 + \frac{3}{4} (40\,690,815 [N \cdot mm])^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 21,33 [mm]$$

El cálculo del factor de seguridad alto se debe a que el diámetro establecido para el diseño del rodillo principal es mayor al calculado, este no fue modificado debido a costos de maquinado y a la facilidad de adquirir la chumacera del diámetro establecido en el mercado nacional.

#### 4.8.4 DISEÑO DINÁMICO DE LOS RODILLOS <sup>36</sup>

El cálculo dinámico describe el modo en que fallan los elementos en condiciones no estáticas y se diseñan los elementos para que resistan con seguridad tales efectos.

Con el cálculo dinámico par ejes macizos de diámetro (d), se pretende la optimización del diseño del mismo y asegurarse de que este no falle.

#### LÍMITE DE RESISTENCIA

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e \quad (\text{Ec. 4. 38})$$

Donde:

$S_e$  = Limite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

$S'_e$  = Limite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

$k_a$  = 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

Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304

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

---

<sup>36</sup> SHIGLEY J. & MITCHELL L. ; Manual de Diseño Mecánico ; McGraw-Hill ; 4ta Edición ; Tomo I ; México ; 1989

Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria  $S'_e$ 

$$S'_e = 0,5 S_{ut}$$

$$S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)}$$

$$S'_e = 100 \text{ kpsi (700 MPa)}$$

$$S_{ut} > 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)}$$

Por tanto:

$$S'_e = 0,5 (620 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 310 \text{ [MPa]}$$

Acabado superficial  $k_a$ 

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 4. 39})$$

**Tabla 4. 10** Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin

ACABADO SUPERFICIAL	FACTOR a		EXPONENTE b
	[kpsi]	MPa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272	-0,995

Fuente: SHIGLEY J. & MITCHELL L. ; Diseño en Ingeniería Mecánica ; McGraw-Hill ; 5ta Edición ; México ; 1995

Elaboración: Propia

Se considera que el eje es un material maquinado, entonces se reemplaza los valores obtenidos en la tabla 4.10 en la ecuación 4.39 y se tiene:

$$K_a = 4,51 \text{ [MPa]} \cdot (620 \text{ [MPa]})^{-0,265}$$

$$K_a = 0,821$$

Efecto de tamaño  $k_b$ 

El efecto del tamaño  $k_b$  se define por:

$$\left\{ \begin{array}{ll} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2\text{pulg} \\ 0,91d^{-0,157} & 2 < d \leq 10\text{ pulg} \\ (d/762)^{-0,107} = 1,24 d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51\text{ mm} \\ 1,51 d^{-0,157} & 51 < d \leq 254\text{ mm} \end{array} \right.$$

$$k_b = 1,24 (d)^{-0,107} \quad (\text{Ec. 4. 40})$$

$$k_b = 1,24 (38,1)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,839$$

Factor de confiabilidad  $k_c$ 

**Tabla 4. 11** Factor de confiabilidad correspondiente a una desviación 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	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

Fuente: SHIGLEY J. & MITCHELL L.; Diseño en Ingeniería Mecánica ;  
McGraw-Hill ; 8va Edición ; México ; 1995

Elaboración: Propia

En la tabla 4.11 con una confiabilidad de 99% se obtiene un factor de confiabilidad de:

$$k_c = 0,814$$

Efectos de temperatura  $k_d$

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

La temperatura a la cual se desarrolla el funcionamiento de la máquina y el proceso de trituración es menor a  $450^\circ\text{C}$  entonces:

$$k_d = 1$$

Efectos de concentración de esfuerzos

Para determinar el factor de concentración de esfuerzos se utiliza la figura 4.20 y mediante la utilización de los siguientes valores:

$$\frac{D}{d} = \frac{100}{50} = 2 \quad ; \quad \frac{r}{d} = \frac{1,5}{50} = 0,03$$

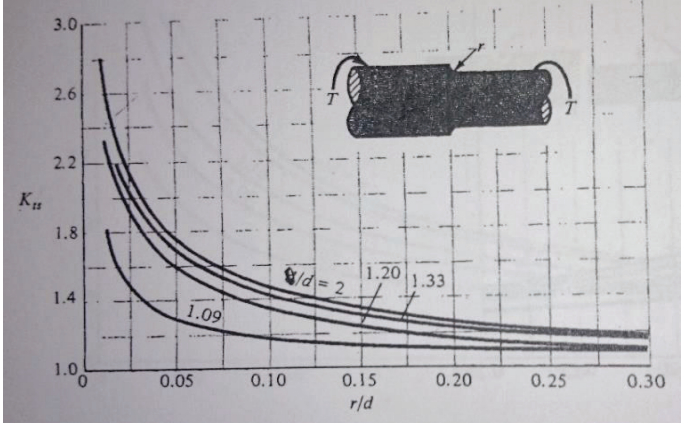


Figura 4. 20 Barra circular con entalle circunferencial sometido a torsión

Fuente: SHIGLEY J. & MITCHELL L. ; Diseño en Ingeniería Mecánica ; McGraw-Hill ; 5ta Edición ; México ; 1995  
Elaboración: Propia

Se obtiene:

$$k_t = 1,9$$

La sensibilidad a la muesca (q) se obtiene con los valores de  $r = 1,5 \text{ mm}$  y un  $S_{ut} = 0,62 \text{ GPa}$ .

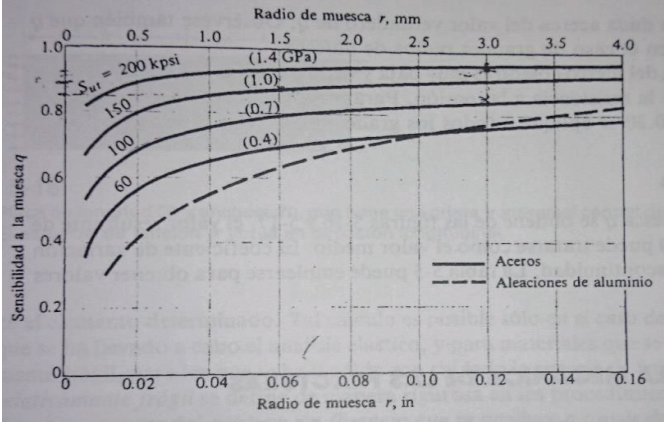


Figura 4. 21 Diagrama de sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio

Fuente: SHIGLEY J. & MITCHELL L. ; Diseño en Ingeniería Mecánica; McGraw-Hill ; 5ta Edición ; México ; 1995  
Elaboración: Propia

De la figura 4.21 se obtiene:

$$q = 0,75$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.41 se obtiene:

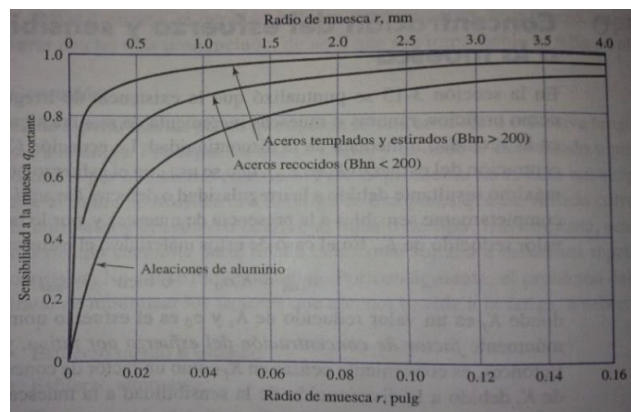
$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (\text{Ec. 4. 41})$$

$$k_f = 1 + 0,75(1,9 - 1)$$

$$k_f = 1,675$$

De la figura 4.22 se obtiene la sensibilidad a la muesca

$$q_{cortante} = 0,9$$



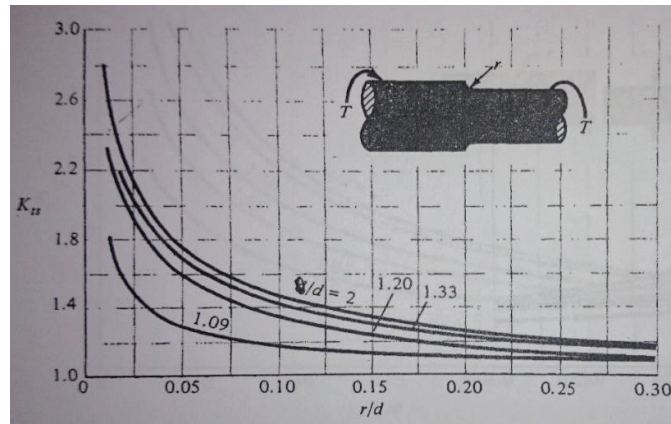
**Figura 4. 22** Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa

Fuente: SHIGLEY J. & MITCHELL L ; Diseño en ingeniería mecánica ; McGraw-Hill ; 5ta Edición ; 1995

Elaboración: Propia

De la figura 4.23 se obtiene el valor de:

$$k_{ts} = 2$$



**Figura 4. 23** Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión

Fuente: SHIGLEY J. MITCHELL L. ; Diseño en Ingeniería Mecánica ; McGraw-Hill ; 5ta Edición ; México ; 1995

Elaboración: Propia

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 4.42 se tiene:

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) \quad (\text{Ec. 4. 42})$$

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

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

Factor de modificación por concentración de esfuerzos

$$k_e = \frac{1}{k_f} \quad (\text{Ec. 4. 43})$$

$$k_e = 0,597$$

Reemplazando todos los valores obtenidos anteriormente en la ecuación 4.38

$$S_e = (0,821)(0,839)(0,814)(1)(0,597)(1,675)(310 \text{ MPa})$$

$$S_e = 173,812 \text{ [MPa]}$$



Utilizando el criterio de falla a la fatiga de Goodman

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (\text{Ec. 4. 44})$$

Esfuerzo de amplitud

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3 \cdot \tau_{xya}^2} \quad (\text{Ec. 4. 45})$$

Al ser  $\sigma_m$  y  $\sigma_a$  menor que  $S_y$  se utiliza  $k_f$  y  $k_{fs}$

$$\sigma_{xa} = k_f \frac{32 \cdot M_a}{\pi \cdot d^3} \quad (\text{Ec. 4. 46})$$

$$\sigma_{xa} = 1,675 \frac{32(47\,472,60 [N \cdot mm])}{\pi(38,1mm)^3}$$

$$\sigma_{xa} = 14,645 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\tau_{xya} = k_{fs} \frac{16 \cdot T_a}{\pi \cdot d^3} \quad (\text{Ec. 4. 47})$$

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

Por lo tanto:

$$\sigma_a = \sigma_{xa} = 14,645 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Esfuerzo medio

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3 \cdot \tau_{xym}^2} \quad (\text{Ec. 4. 48})$$

$$\sigma_{xm} = k_f \frac{32 \cdot M_m}{\pi \cdot d^3} \quad (\text{Ec. 4. 49})$$

$M_m = 0$  ; Debido a que no existen cargas axiales

$$\sigma_{xm} = 0$$

Entonces:

$$\sigma_m = \sqrt{3 \cdot \tau_{xym}^2}$$

$$\tau_{xym} = k_{fs} \frac{16 \cdot T_m}{\pi \cdot d^3} \quad (\text{Ec. 4. 50})$$

$$\tau_{xym} = 1,9 * \frac{16(40\,690,815 [N \cdot mm])}{\pi(38,1 \text{ mm})^3} = 7,119 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_m = \sqrt{3(7,119 \left[ \frac{N}{mm^2} \right])^2}$$

$$\sigma_m = 12,331 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Reemplazando los valores calculados en la ecuación 4.44 se obtiene:

$$\frac{14,645 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{173,812 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} + \frac{12,331 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{620 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} = \frac{1}{n}$$

$$n = 9,602$$

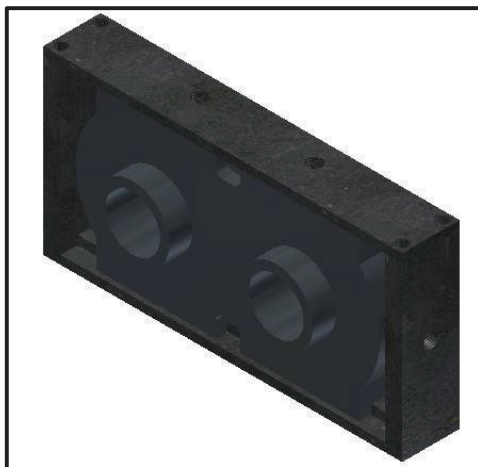
Al obtenerse un valor del factor de seguridad igual a nueve se puede concluir que las dimensiones de diseño que se consideraron para el rodillo de trituración son correctas y garantizarán el óptimo funcionamiento durante su operación.

## 4.9 SELECCIÓN DE LA CHUMACERA

Para la selección de la chumacera se tiene a consideración el diámetro del eje en el cual va estar montada, cuyo valor de 38,1 mm. Acorde al catálogo presentado en el Anexo 12 se selecciona una chumacera tensora de hierro fundido 208-24.

### 4.9.1 DISEÑO DE LA GUIA PARA LAS CHUMACERAS

Las guías permiten el desplazamiento de las chumaceras tensoras para obtener diferentes grados de trituración de las hojas secas de guayusa y proporciona facilidad para el desmontaje de los rodillos para su mantenimiento.



**Figura 4. 24** Diseño guía chumacera

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

#### 4.9.1.1 Selección de material

Se selecciona una platina de acero ASTM A-36 por la facilidad de maquinado y por bajos costos de adquisición en el mercado nacional.

Las características del elemento se especifican en el Anexo 13.

#### 4.10 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA TOLVA

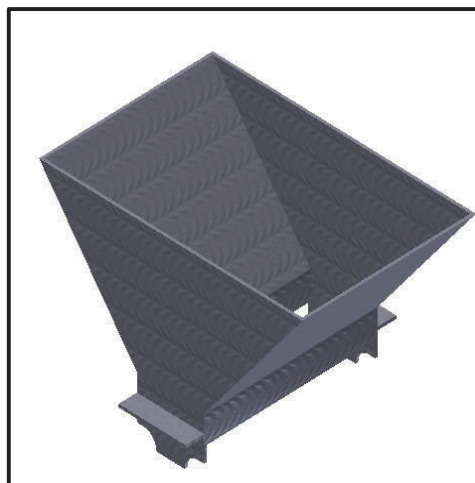
La tolva es el elemento en el cual se ubica la materia prima a triturar, su diseño depende de la capacidad de producción que representa un valor de 6,5 quintales por hora.

En base a la densidad de las hojas se establece la siguiente relación:

$$v_{Tolva} = \frac{45,36(6,5) \left[ \frac{kg}{hora} \right]}{625 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$v_{Tolva} = 0,472 \text{ [m}^3\text{/hora]}$$

El volumen de producción calculado permite determinar las dimensiones óptimas, que se obtienen mediante el programa de diseño Autodesk INVENTOR. La forma seleccionada para este elemento es una pirámide truncada de 0,023m<sup>3</sup> de capacidad que es llenada constantemente durante el transcurso de una hora, alcanzando la capacidad de producción requerida. El esquema de la tolva se observa en la figura 4.25.



**Figura 4. 25** Diseño de la tolva

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

#### **4.10.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL**

El material seleccionado para la construcción de la tolva es una plancha de 3 mm de espesor, en acero inoxidable AISI 304, recomendado por la norma Europea EN 1672-2, que contiene los Criterios de Diseño para Equipos Higiénicos (Hygienic Equipment Design Criteria).

Las propiedades y características del material se encuentran detalladas en el Anexo 14.

#### **4.10.2 DISEÑO DE LA SOLDADURA**

El Anexo 15. WPS soldadura de la tolva, presenta los parámetros de diseño de la soldadura a emplearse. El proceso se efectúa mediante soldadura SMAW, garantizando así un buen acabado en el cordón. El electrodo seleccionado es de la marca Lincoln 308L, el cual es utilizado para soldar materiales inoxidables, sus características se detallan en el Anexo 16.

### **4.11 CÁLCULO DE LA ARMADURA SOPORTE**

La armadura soporte consiste en un pórtico de un agua que sostiene la plancha de acero sobre la cual se fijan cada uno de los elementos seleccionados. Esta resiste el peso del sistema motor – eje - polea, conjunto de engranajes y el peso de la tolva; adicionado a este la carga de hojas a triturar.

La masa de cada componente se obtiene de acuerdo a los datos proporcionados por el software de diseño AUTODESK INVENTOR, siendo en su conjunto una carga final de 149,5 kg.

En las bases de las columnas se ubican placas circulares que evitan la concentración de esfuerzos en la parte inferior del perfil y que facilitan su anclaje.

#### **4.11.1 DISEÑO DE LA PLANCHA BASE**

Para este cálculo se tienen como datos los siguientes parámetros:

- Dimensiones: 430 x 430 mm
- Factor de seguridad: 2
- Fuerza aplicada a cualquier punto que debe soportar la misma

Restricciones:

$$\text{Área} \geq 0,185 \text{ m}^2$$

Fuerza: 149,5 kg

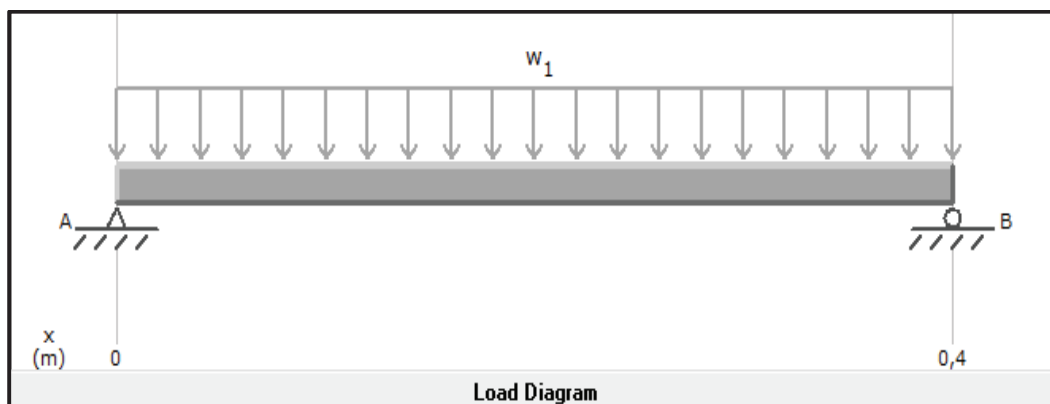
El área se obtiene de acuerdo a las dimensiones de los elementos a ubicarse sobre la plancha y debe ser mayor a 0,185 m<sup>2</sup>.

Se considera un factor de seguridad de dos, ya que no se involucra vidas humanas durante la operación de la máquina.

#### 4.11.1.1 Cálculo de la plancha base

Para este cálculo, se considera una carga distribuida sobre uno de los lados de la plancha.

La figura 4.26 se muestra el sistema en mención, donde  $w_1$  corresponde al valor de la carga actuante de 3 410,4 N/m en una longitud de 0,43 m.

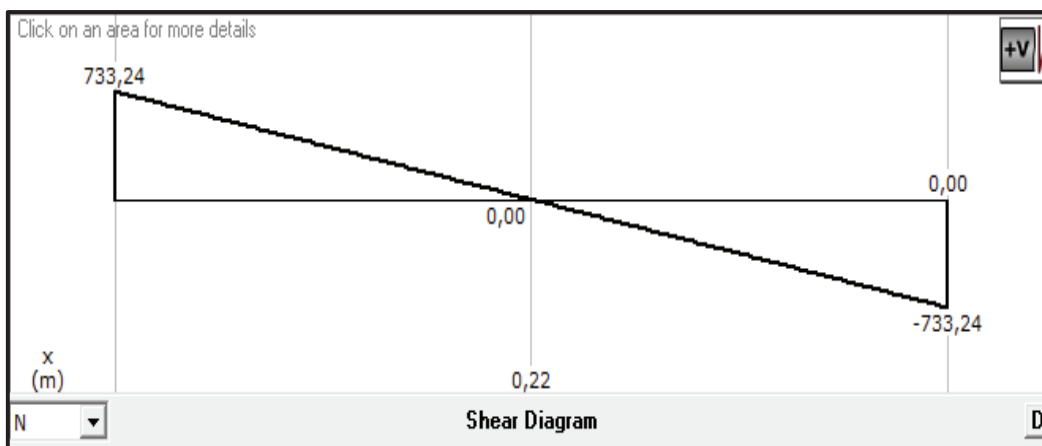


**Figura 4. 26** Plancha base

Fuente: MDSolids 3.5

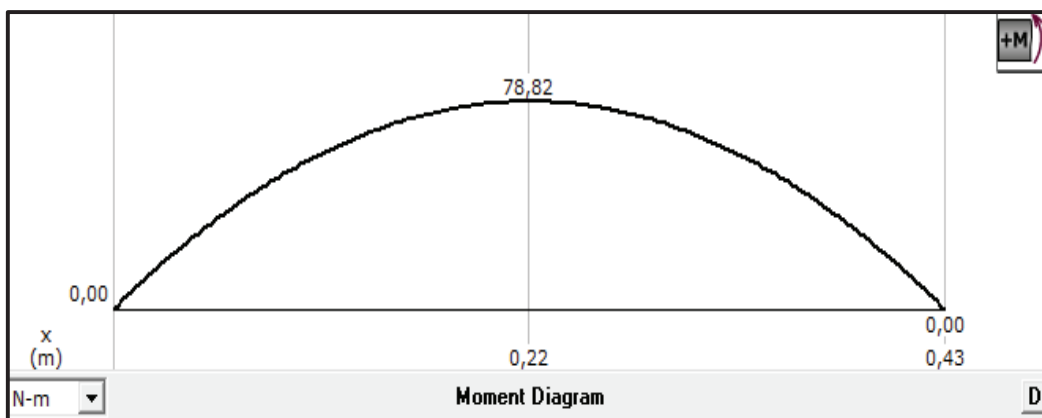
Elaboración: Propia

A continuación se realizan los diagramas cortante y momento flector, utilizando para ello el software MDSolids 3.5 que se detallan en la figura 4.27 y 4.28 respectivamente.



**Figura 4. 27** Diagrama de cortante – placa soporte

Fuente: MDSolids 3.5  
Elaboración: Propia



**Figura 4. 28** Diagrama de momento – Placa soporte

Fuente: MDSolids 3.5  
Elaboración: Propia

#### 4.11.1.2 Selección de la placa base

A partir del momento máximo originado en la aplicación de una fuerza distribuida se selecciona la placa base soportante, utilizando un factor de seguridad mayor o igual a 2.

Se considera acero ASTM A-36 (límite de fluencia = 2 531,05 kg/cm<sup>2</sup>) para su selección:

$$\sigma_p = \frac{M \cdot c}{I_x} = \frac{M}{S_x} \leq \sigma_{max} = \frac{S_y}{F.S.} \quad (\text{Ec. 4. 51})$$

Dónde:

$\sigma_p$ : esfuerzo permisible [kg/cm<sup>2</sup>]

M: momento máximo [kg/cm]

I<sub>x</sub>: inercia respecto del eje x

c: distancia al eje x

S<sub>y</sub>: límite de fluencia [kg/cm<sup>2</sup>]

F.S: factor de seguridad

$$\sigma_p = \sigma_{max} = \frac{S_y}{F.S.} = \frac{2\,531,05 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]}{2} = 1265,5 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot F.S.}{S_x}$$

Remplazando valores en la Ec. (4.51):

$$1\,265,5 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = \frac{802 \left[ kg \cdot cm \right] (2)}{S_x}$$

De donde:

$$S_x = 1,27 \text{ cm}^3$$



Reemplazando en:

$$Sx = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Dónde:

b: distancia sobre la cual se aplica la fuerza distribuida de 438 [kg/m]

h: espesor de la plancha de acero ASTM A-36

$$1,27 = \frac{43 \cdot h^2}{6}$$

$$h = 0,42 \text{ [cm]}$$

Considerando un espesor de 5 mm:

$$1265,5 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = \frac{802 (F.S.)}{\frac{43 \text{ [cm]} \cdot (0,5)^2}{6}}$$

$$F.S. = 3,2 > 2$$

Acorde al catálogo IPAC (Ver Anexo 17. Placa base) para planchas de acero ASTM A-36, se selecciona una lámina de 5 mm de espesor.

A continuación se determina la deflexión de la plancha mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{5 q \cdot l^4}{384 E \cdot I} \quad (\text{Ec. 4. 52})$$

Dónde:

$\delta$ : deflexión máxima [m]

E: módulo de Young (200 GPa)

I: inercia de la plancha [m<sup>4</sup>]

l: longitud del rodillo [m]

q: carga en el rodillo [N/m]

La carga es de 348 kg/m o 3 410,4 N/m en una distancia de 0,43 m; por su parte, la inercia se determina a partir de la ecuación 4.53:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (\text{Ec. 4. 53})$$

$$I = \frac{0,43(0,005^3)}{12} = 4,48 \times 10^{-9} [m^4]$$

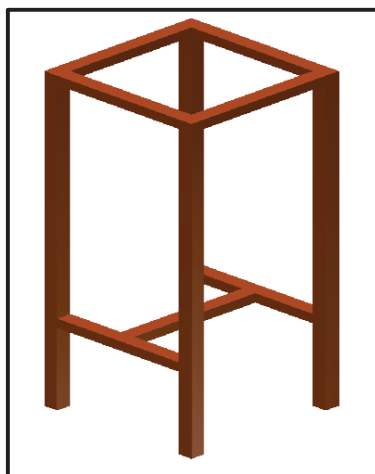
Reemplazando los datos en la ecuación 4.52, se obtiene:

$$\delta = \frac{5 (3\,410,4)(0,43^4)}{384 (200 \times 10^{-9})(4,48 \times 10^{-9})} = 0,001 [m]$$

De esta manera se verifica que la selección de dos soportes longitudinales en 430 mm de longitud provoca una deflexión de 1 mm; valor no significativo en el diseño de la estructura soporte.

#### 4.11.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La estructura está compuesta de dos tipos de perfiles, orientados horizontal y verticalmente. A continuación se presentan los cálculos pertinentes para su adecuado diseño y un esquema en la figura 4.29.



**Figura 4. 29** Estructura soporte

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

#### 4.11.2.1 Cálculo del perfil horizontal

Para este cálculo se tienen como datos los siguientes parámetros:

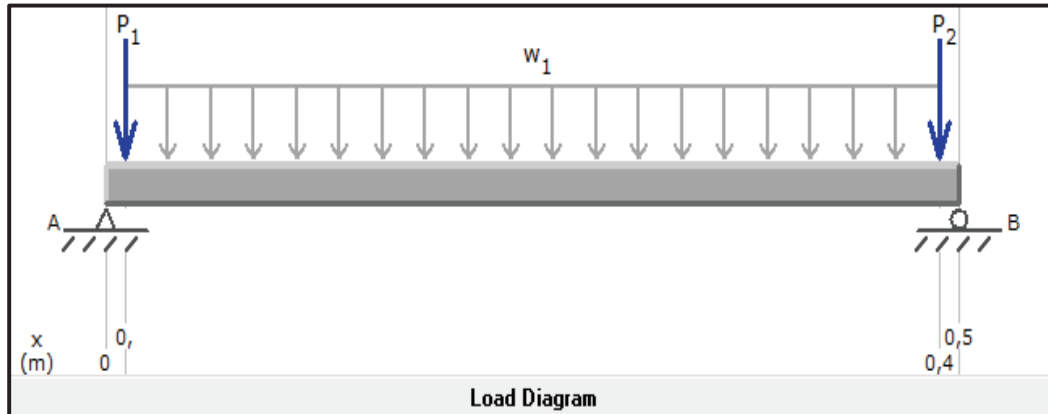
- Longitud total: 450 mm
- Longitud de aplicación de cargas actuantes: 430 mm
- Peso de la plancha: 7,93 kg = 77,71 N
- Factor de seguridad: 5

El factor de seguridad se incrementó debido a que pueden existir sobrecargas en la máquina, que afecten su estabilidad.

Cargas actuantes:

- Esfuerzo cortante,  $P_1 = P_2 = 733,24 \text{ N}$
- Peso de la plancha distribuido sobre el perfil,  $w_1 = 180,73 \text{ N/m}$

En base a estas consideraciones, se presenta el diagrama del cuerpo libre en la figura 4.30.

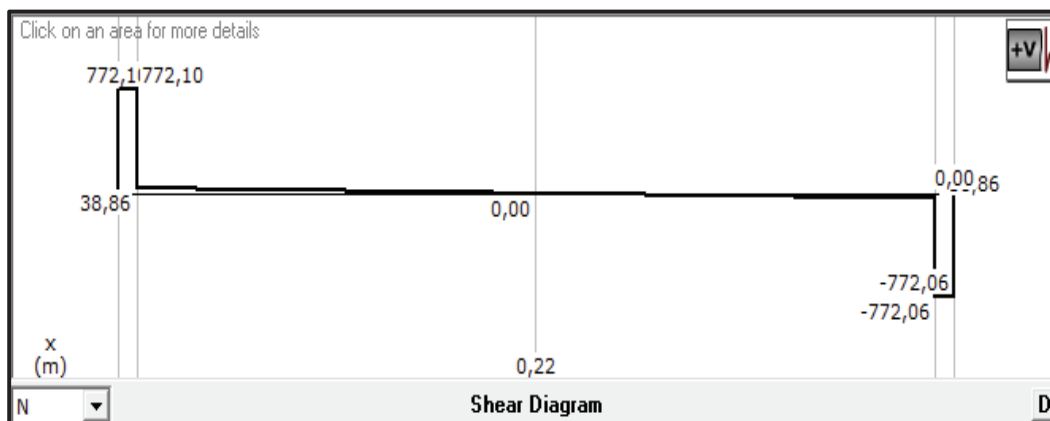


**Figura 4. 30** Placa base

Fuente: MDSolids 3.5

Elaboración: Propia

Los diagramas del esfuerzo cortante y del momento flector se determinan mediante el software MDSolids 3.5 y son representados en las figuras 4.31 y 4.32 respectivamente.

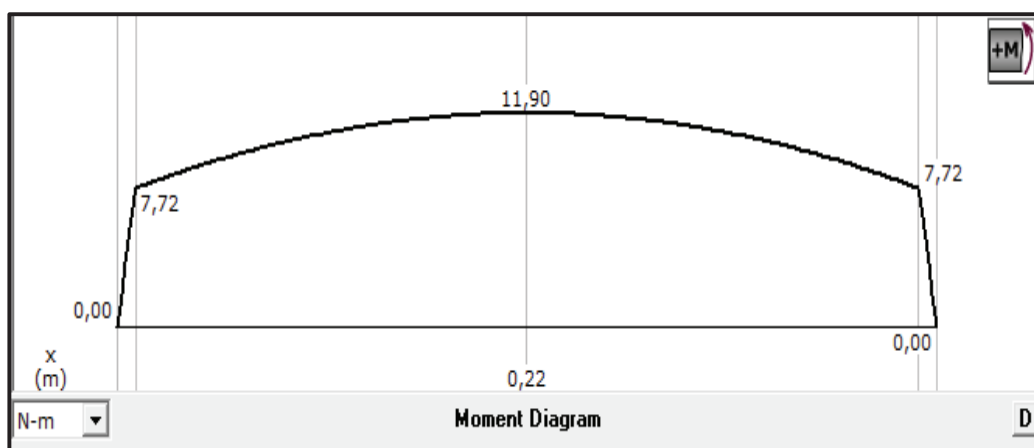


**Figura 4. 31** Diagrama cortante – Perfil horizontal

Fuente: MDSolids 3.5

Elaboración: Propia

El esfuerzo cortante máximo es de 772,1 N o 78,78 Kg.



**Figura 4. 32** Diagrama momento flector– Perfil horizontal

Fuente: MDSolids 3.5

Elaboración: Propia

El momento máximo es de 11,90 N-m o 1,21 kg-m. En base a este resultado se procede a seleccionar el perfil correspondiente.

#### 4.11.2.1.1 Selección del perfil horizontal

A partir del momento máximo originado en la aplicación de las cargas mencionadas se selecciona el perfil, utilizando un factor de seguridad mayor o igual a 5.

Se selecciona acero ASTM A - 500 (límite de fluencia = 2 531,05 kg/cm<sup>2</sup>) que posee propiedades similares al acero ASTM A –36

$$\sigma_p = \frac{Mc}{I_x} = \frac{M}{S_x} \leq \sigma_{max} = \frac{S_y}{F.S.} \quad (\text{Ec. 4. 54})$$

Dónde:

$\sigma_p$ : esfuerzo permisible

M: momento máximo

I<sub>x</sub>: inercia respecto del eje x

c: distancia al eje x

S<sub>y</sub>: límite de fluencia

F.S: factor de seguridad

$$\sigma_p = \sigma_{max} = \frac{S_y}{F.S.} = \frac{2\,531,05 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]}{5} = 506,21 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot F.S.}{S_x}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.54 se tiene:

$$506,21 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] = \frac{124 \left[kg\,cm\right] \cdot (5)}{S_x}$$

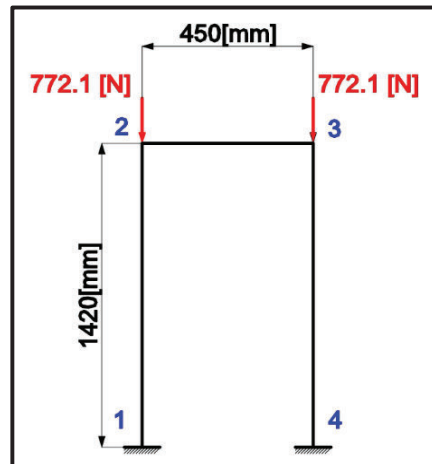
$$S_x = 1,225 \, cm^3$$

Acorde al catálogo IPAC (Ver Anexo 18. Perfil cuadrado), se selecciona un perfil cuadrado de  $S_x = 2,34 \, cm^3$ , de 3 mm de espesor y 30 mm de lado; diseñado en acero ASTM A 500.

#### 4.11.2.2 Diseño de columnas de la armadura soporte

Para el cálculo y selección de este elemento, se consideran columnas sometidas a flexo-compresión, con un esfuerzo actuante de 78,79 kg o 772,1 N, valor perteneciente al cortante máximo en el soporte horizontal.

En la figura 4.33 se esquematiza la armadura soporte con las principales cargas.

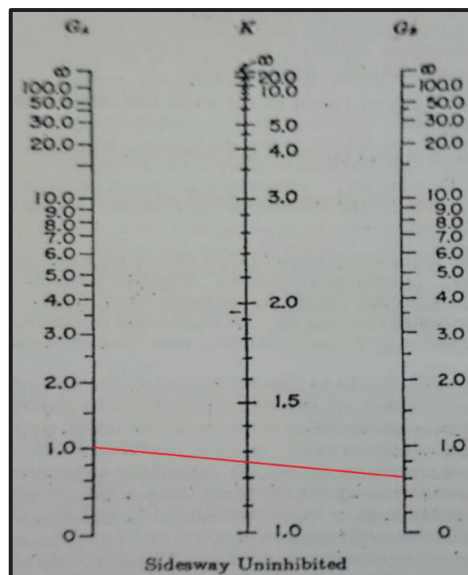


**Figura 4. 33** Esquema del pórtico de un agua

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Del Gráfico de alineación para Longitud efectiva de Columnas en Marcos Continuos, se pueden determinar las constantes  $G_1$  y  $G_2$ , para posteriormente determinar el factor de elongación del elemento prismático ( $k$ ).



**Figura 4. 34** Gráfica de alineación para longitud efectiva de columnas en marcos continuos

Fuente: AISC 1997, Fig C1.8.2

Elaboración: Propia

El valor para la constante  $G_1$  será igual a uno, debido a que el elemento está empotrado.

$$G_2 = \frac{\frac{I_{12}}{L_{12}}}{\frac{I_{23}}{L_{23}}} \quad (\text{Ec. 4. 55})$$

Los valores de las inercias se eliminan ya que poseen la misma rigidez, concluyendo con esto, que tanto las columnas como los soportes horizontales deben poseer las mismas dimensiones.

Por lo tanto:

$$G_2 = \frac{L_{23}}{L_{12}} = \frac{0,45}{1,42} = 0,32$$

De la figura 4.34 se obtiene valores para los cuales, K corresponde a un valor de 1,2.

De igual manera, estos elementos se construyen en acero ASTM A-500, cuyo límite de fluencia es aproximadamente 36 ksi.

La relación de separación entre pandeo elástico e inelástico se determina acorde al valor establecido en el manual de la AISC, para materiales cuyo límite de fluencia es aproximadamente 36 ksi, siendo de 126,1.

Se procede a calcular el radio de giro a partir de la ecuación 4.56

$$r_{min} = r_{yy} \geq \frac{K \cdot L}{C_c} \quad (\text{Ec. 4. 56})$$

Dónde:

$r_{min}$ : radio mínimo de giro para el perfil "L"

L: longitud de diseño de la columna

Cc: relación de separación entre pandeo elástico e inelástico

$$r_{min} = \frac{1,2 (55,9)}{126,1} = 0,53 [pulg]$$

$$r_{min} = 1,35 [cm]$$

Una vez establecido este valor, se procede a seleccionar un perfil del catálogo IPAC (Anexo 18. Perfil cuadrado), que para el caso es de 40 mm de lado y 3 mm de espesor ( $r_y = 1,48$  cm o 0,582 pulg).

A continuación se determina la esbeltez de la columna:

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r_{min}} \quad (\text{Ec. 4. 57})$$

Dónde:

$\lambda$ : esbeltez

$$\lambda = \frac{1,2 (55,9)}{0,582} = 115,12$$

Este valor es menor a 200, determinando así que no hay necesidad de efectuar arriestramiento en la estructura, pero por garantizar su estabilidad se implementa un soporte tipo I en la parte inferior.

A partir de la tabla AISC – Table 3-36 Allowable Stress for Compression Members of 36 ksi Specified Yield Stress Steel, presentada en el Anexo 19 del presente documento, se determina el valor para el factor  $F_a$  que para el caso es de 10,99 ksi.

El factor  $f_a$ , se obtiene de la relación entre la fuerza de compresión y el área del elemento a diseñar:

$$f_a = \frac{P}{A} \quad (\text{Ec. 4. 58})$$

La fuerza de compresión es de 772,1 N o de 173,34 lb que actúa en un área de 4,21 cm<sup>2</sup> o 0,65 pulg<sup>2</sup>, por lo que:



$$f_a = \frac{173,34}{0,65} = 266,68 \text{ [psi]}$$

$$f_a = 0,267 \text{ [ksi]}$$

Relacionando estos dos factores se verifica que la selección de la columna es correcta:

$$I_a = \frac{f_a}{F_a} \quad (\text{Ec. 4. 59})$$

$$I_a = \frac{0,267}{10,99} = 0,024$$

$$I_a < 1$$

El valor de esta relación permite concluir que el elemento no fallará.

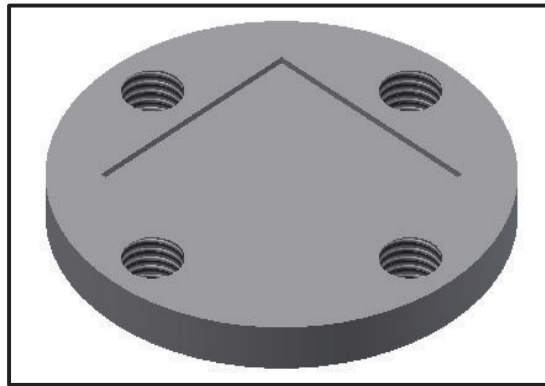
La construcción de la armadura soporte, es decir, columnas y perfiles horizontales, debe ser efectuada con perfil cuadrado de 40 x 40 x 3 mm, en acero ASTM A – 500, esto debido a que los elementos debe ser de iguales dimensiones para su acoplamiento.

#### 4.11.3 DISEÑO DE LA SOLDADURA

En el Anexo 20 (WPS soldadura de la estructura), se presenta los parámetros de diseño de la soldadura a emplearse. El proceso se efectúa mediante soldadura SMAW. El electrodo seleccionado es de la marca Lincoln E6011, el cual es ideal para soldar perfil estructural ASTM A-500, sus características se detallan en el Anexo 21.

#### 4.11.4 DISEÑO DE LA PLACA BASE

Para que la estructura de la máquina quede fija y no se generen vibraciones, es necesario que sea empotrada en el piso. Para ello, se diseña una placa base que distribuya el peso de la máquina uniformemente. El esquema se detalla en la figura 4.35.



**Figura 4. 35** Diseño de la placa base

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

En el reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-02) publicado por el American Concrete Institute (ACI), se define como  $\phi_c$  al factor de reducción al aplastamiento,  $\phi_c = 0,65$  este valor es tomado cuando la placa cubre el área total del concreto.

La ecuación 4.60 permite determinar la fuerza soporte.

$$P_p = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_1 \quad (\text{Ec. 4. 60})$$

Dónde:

$f'_c$ : resistencia a la compresión del concreto a los 28 días (3 [ksi])

$A_1$ : Área de la placa

La presión ejercida por la fuerza nominal es determinada con la ecuación 4.61.

$$f_{p \max} = 0,85 \cdot f'_c \quad (\text{Ec. 4. 61})$$

La presión última es determinada por la ecuación 4.62.

$$f_{p u \max} = \phi_c \cdot f_{p \max} \quad (\text{Ec. 4. 62})$$

La presión ejercida sobre el concreto no debe ser mayor que  $f_{p\ max}$  es decir:

$$\frac{P_u}{A_1} \leq f_{p\ u\ max} \quad (\text{Ec. 4. 63})$$

Dónde:

$P_u$ : carga axial que actúa sobre una de las columnas en la estructura

Por lo tanto se obtiene:

$$A_1 = \frac{P_u}{f_{p\ u\ max}} \quad (\text{Ec. 4. 64})$$

Considerando para el diseño que no existe confinamiento de concreto, el área mínima requerida para la placa base se calcula de la siguiente manera:

$$A_1 = \frac{P_u}{0,85 \cdot \phi_c \cdot f'_c} \quad (\text{Ec. 4. 65})$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.65 se obtiene:

$$P_u = \frac{78,79 \text{ [Kg]}}{4} = 19,696 \text{ [kg]} = 43,332 \text{ [lb]}$$

$$A_1 = \frac{43,332 \text{ [lb]}}{0,85(0,65) (3 \text{ ksi})} = 26,143 \text{ [pulg}^2\text{]}$$

Entonces:

$$A_1 = \pi \cdot r^2$$

$$26,143 \text{ [pulg}^2\text{]} = \pi \cdot r^2$$

$$r = 2,884 \text{ [pulg]} = 73,271 \text{ [mm]}$$

Por lo tanto se puede considerar para el diseño un radio de 74 mm de la placa soporte.

Para determinar el espesor de la placa base se considera la ecuación 4.66.

$$t_{min} = l \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_u}{\phi_f \cdot F_y \cdot A}} \quad (\text{Ec. 4. 66})$$

Dónde:

$t_{min}$ : espesor mínimo de la placa base [mm]

$l$ : longitud crítica [mm]

$P_u$ : carga axial que actúa sobre la columna [lb]

$\phi_f$ : factor de reducción de resistencia a la flexión, igual a 0,90

$F_y$ : límite de fluencia del acero ASTM A-36 (36000 psi)

$A$ : área de contacto [pulg<sup>2</sup>]

$$t_{min} = 148 [mm] \cdot \sqrt{\frac{2 (43,332 [lb])}{0,90(36\,000 \text{ lb/pulg}^2)(26,143 [\text{pulg}^2])}}$$

$$t_{min} = 1,49 [mm]$$

Para el diseño se considerara un espesor de 7 mm considerando un factor de seguridad de 5 al igual que en los demás elementos de la estructura soporte.

#### 4.11.5 SELECCIÓN DE LOS PERNOS DE ANCLAJE

Del Anexo 22, se selecciona un perno de anclaje FAZ II 10/10 C, de rosca M10 x 24 ya que sus dimensiones son acordes al espacio disponible en la placa base y posee excelentes propiedades anticorrosivas. Se instalan cuatro elementos para garantizar la estabilidad de la máquina.

Una vez concluido el diseño óptimo de los elementos que constituyen la trituradora de hojas secas de guayusa, en el Anexo 25 se presentan los planos de taller y montaje, que contiene toda la Ingeniería de Detalle la cual permite construir y montar los diferentes elementos que conforman dicha máquina, garantizando su funcionalidad.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO DEL PROTOTIPO**

Este capítulo tiene por objetivo abordar el proceso de construcción y montaje del prototipo. Se detallan cada una de las máquinas y herramientas necesarias para la construcción. De igual forma se indica los resultados de las pruebas de campo realizadas.

#### **5.1 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO**

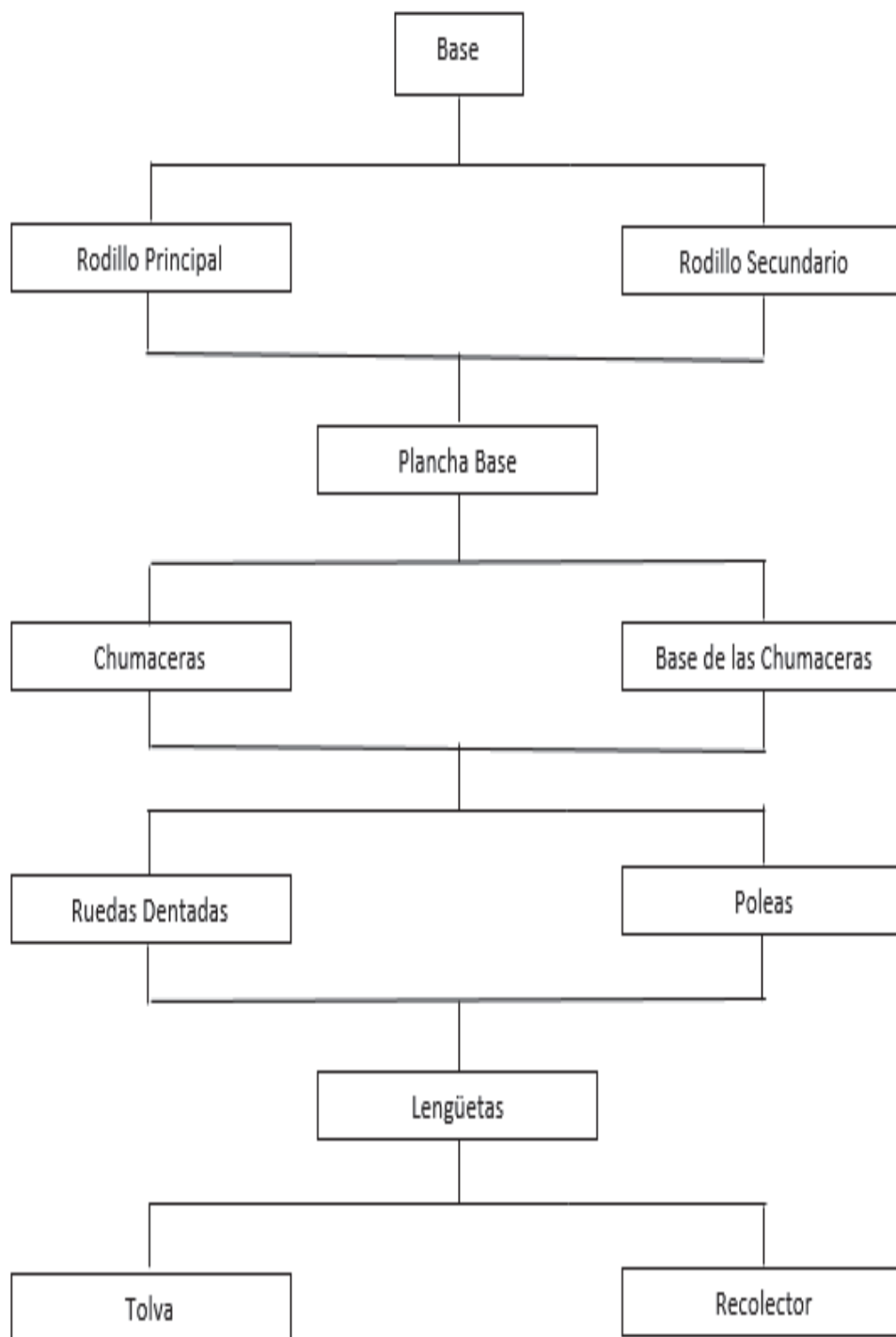
La construcción de cada elemento del prototipo se realiza siguiendo los detalles de cada plano mostrados en el Anexo 25. Conociendo que para construir cada elemento que conforman el prototipo se debe seguir un proceso adecuado que satisfaga las necesidades de tiempo y costo.

En el Anexo 23 se detallan las hojas de proceso de construcción de cada elemento que conforman la máquina trituradora.

En la figura 5.1 se establece el proceso secuencial que se utiliza para construir los elementos del prototipo.

#### **5.2 MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y HERRAMIENTAS**

La construcción del prototipo de la trituradora de hojas secas de guayusa, se realiza en un Taller Industrial que posee máquinas, herramientas e instrumentos de medida necesarios para poder realizar los diferentes procesos mecánicos.



**Figura 5. 1** Fases de construcción del prototipo

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### **5.2.1 MÁQUINAS HERRAMIENTAS**

Las máquinas-herramientas utilizadas son:

- Fresadora universal
- Torno paralelo
- Máquina soldadora SMAW
- Cizalla
- Taladro de banco
- Taladro de mano
- Amoladora
- Esmeril
- Compresor

### **5.2.2 HERRAMIENTAS**

Las herramientas que se emplean para la construcción se clasificaran de la siguiente manera:

Herramientas de medición

- Calibrador pie de rey
- Micrómetro
- Reloj comparador
- Flexómetro
- Graduador
- Nivel de burbuja de aire

Herramientas de trazado

- Rayador
- Compás
- Lápiz
- Granete
- Escuadra

### Herramientas de corte

- Brocas
- Brocas de centro
- Machuelos
- Cuchillas de acero rápido
- Fresas cilíndricas
- Hoja de sierra

### Herramientas de acabado

- Disco de corte
- Disco de desbaste
- Disco de pulidos
- Limas planas
- Lijas de grano grueso
- Lijas de grano fino

### Herramientas de Montaje

- Juego de llaves boca y corona
- Martillo de goma
- Desarmadores

### Materiales

- Pintura Electrostática
- Electrodo 308L
- Electrodo 6011



### 5.3 FOTOGRAFÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN

En las figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5 se muestra las principales operaciones necesarias para la construcción de los diferentes elementos que comprenden la máquina trituradora.



**Ilustración 5.1** Construcción del rodillo motriz



**Ilustración 5.2** Construcción de la plancha base



**Ilustración 5.3** Construcción de la estructura



**Ilustración 5.4** Construcción de la tolva



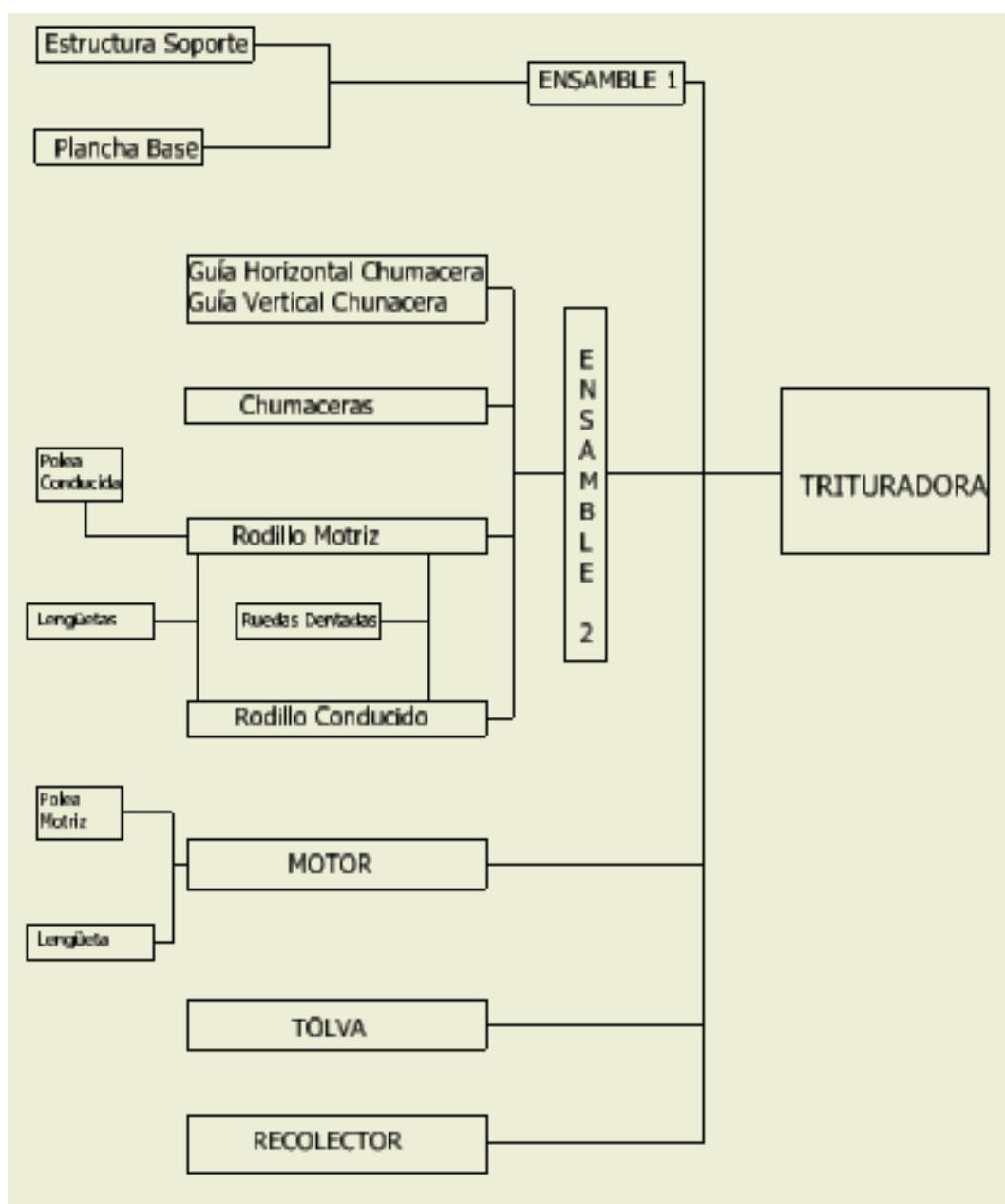
**Ilustración 5.5** Construcción de los lengüeteros

#### **5.4 MONTAJES DE LAS DIFERENTES PARTES Y ELEMENTOS DEL PROTOTIPO**

El proceso de montaje del prototipo de la Trituradora de Hoja de Guayusa se describe en el plano 1.3199.001.

En la figura 5.2 se describe detalladamente el proceso de montaje de la trituradora.

En el Anexo 24 se presenta un Manual de Operación que describe el uso y manejo adecuado de la trituradora de hoja de guayusa, el mismo permite alargar la vida útil del equipo y la operación correcta del operario.



**Figura 5. 2** Montaje de elementos

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

#### 5.4.1 FOTOGRAFÍA DE MONTAJE

En la figura 5.6 se muestra el montaje de la máquina trituradora de hojas secas de guayusa.



**Ilustración 5.6** Máquina trituradora de hojas de guayusa

#### 5.5 PRUEBAS DE CAMPO

Las pruebas de campo se realizan siguiendo el formato del protocolo de pruebas detallado en el Anexo 4 del presente Proyecto de Titulación.

## 5.6 FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS DE CAMPO E INSPECCIÓN

Las figuras 5.7 y 5.8 muestran las pruebas de campo así como el grado de molienda obtenido.



**Ilustración 5.7** El prototipo construido con los participantes del Proyecto, el director y la materia prima.



**Ilustración 5.8** Grado de trituración obtenido

## **CAPÍTULO 6**

### **ANÁLISIS DE COSTOS**

En el presente capítulo se detallan los costos de manufactura y los costos de cada uno de los elementos que constituyen el prototipo, ya sean éstos normalizados o construidos. Los diferentes costos son detallados en tablas.

Se debe considerar que los precios de la materia prima, como es el caso de los diferentes aceros utilizados en la construcción y demás, varían en el mercado nacional, es por ello que los costos de la máquina pueden variar.

#### **6.1 COSTOS DEL PROTOTIPO**

Una vez finalizado el diseño y construcción de la máquina trituradora de hojas secas de guayusa, es necesario realizar un análisis económico para estimar el costo total.

En el análisis económico se debe tener en cuenta:

- Costos de materiales (Elaborados y normalizados)
- Costos de uso de máquinas-herramientas
- Costo de mano de obra
- Costo de diseño
- Imprevistos

Los costos presentados en las tablas de a continuación se realizan en base a proformas obtenidas de los principales almacenes dedicados a la distribución de aceros y elementos normalizados de la ciudad de Quito, son precios referenciales desde Noviembre del 2014 hasta Enero 2015.

#### **6.2 COSTO DE MATERIALES**

En la tabla 6.1 se detallan los precios referenciales de diferentes materiales necesarios para la construcción del prototipo.

Tabla 6. 1 Lista de precios de los materiales

MATERIALES					
N°	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Perfil cuadrado	ASTM A-500: 40x40x3 mm	12 m	9,07	18,14
2	Placa base	ASTM A-36 : Ø=74 mm, e=7mm	4	12,45	49,80
3	Platina	ASTM A-36, B=40 mm, e=12 mm	2 m	6,52	13,04
4	Rodillo motriz	AISI 304: Ø100 mm, l=509 mm	1	82,45	82,45
5	Rodillo conducido	AISI 304: Ø100 mm, l= 460 mm	1	72,31	72,31
6	Plancha de acero inoxidable	AISI 304: 1 ¿0120x2 440x3 mm	1	132,90	132,90
7	Plancha base	ASTM A-36 : 510x430x5 mm	1	21,60	21,60
8	Rueda dentada 1	Duralón : Ø= 105 mm, b= 40 mm	1	19,55	19,55
9	Rueda dentada 2	Duralón : Ø= 105 mm, b= 40 mm	1	19,55	19,55
10	Lengüeta polea motriz	St-60 : R12x8x28 DIN 6886	1	0,41	0,41
11	Lengüeta polea conducida	St-60 : R8x7x30 DIN 6886	1	0,26	0,26
12	Lengüeta rueda dentada	St-60 : R8x7x38 DIN 6886	1	0,33	0,33
13	Lengüeta piñon	St-60 : R8x7x38 DIN 6886	1	0,33	0,33
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$</b>	<b>430,67</b>

Fuente: Propia

Elaboración: Propia



La tabla 6.2 detalla los costos de los elementos normalizados en el mercado nacional.

**Tabla 6. 2** Lista de precios de los materiales normalizados

<b>ELEMENTOS NORMALIZADOS</b>					
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Motorreductor	Motox Siemens Z.18-LA71M4	1	562,30	562,30
2	Chumacera tensora de hierro fundido	UCT 208-24, Ø=38.1 [mm]	2	20,21	40,42
3	Polea trapecial motriz	Aluminio: dw=80[mm], 1 canal	1	12,20	12,20
4	Polea trapecial conducida	Aluminio: dw=180[mm], 1 canal	1	18,25	18,25
5	Banda trapecial	Good Year AX 35	1	7,80	7,80
6	Pernos de anclaje	FAC II 10/10C - M10x24	16	1,20	19,20
7	Electrodo 6011	Lincoln E6011	10	0,30	3,00
9	Electrodo para acero inoxidable AISI 304	Lincoln 308L	10	2,45	24,50
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$</b>	<b>687,67</b>

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

### 6.3 COSTOS DE MAQUINADO

Las horas de utilización de cada máquina herramienta son obtenidas del desarrollo de las hojas de procesos para la elaboración de cada una de las partes de la máquina.

En la tabla 6.3 se detalla cada uno de los costos de maquinado.

**Tabla 6. 3** Costos de maquinado

<b>COSTOS DE MAQUINADO</b>				
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO APROXIMADO [hora]</b>	<b>COSTOS [\$/hora]</b>	<b>VALOR TOTAL [\$/]</b>
1	Torno	25	8,00	200,00
2	Fresadora	43,75	9,00	393,75
3	Limado	4,8	6,20	29,76
4	Soldadora SMAW	9,33	9,40	87,70
5	Taladradora	2,5	1,60	4,00
6	Cizalla	1,58	2,10	3,32
7	Sierra mecánica	2	4,50	9,00
8	Amoladora	2,33	3,00	6,99
9	Herramientas manuales	12	2,50	30,00
10	Otros equipos	5	5,00	25,00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 789,52</b>

Fuente: Propia  
Elaboración; Propia

## 6.4 COSTO DE MANO DE OBRA

En la tabla 6.4 se detallan los costos correspondientes a la mano de obra empleada en la construcción del prototipo.

**Tabla 6. 4** Costos de mano de obra

<b>COSTOS DE MANO DE OBRA</b>				
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>HORA-HOMBRE</b>	<b>VALOR HORA [\$]</b>	<b>TOTAL [\$]</b>
1	Mecánico Industrial	75	6,31	473,25
2	Soldador eléctrico y/o acetileno	3	8,52	25,56
3	Técnico eléctrico	1,5	6,20	9,30
4	Ayudante mecánico	40	4,09	163,60
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 671,71</b>

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

## 6.5 COSTO DE DISEÑO

Se requiere un aproximado de 120 horas para desarrollar los cálculos y los planos de cada uno de los elementos mecánicos que son necesarios para el correcto diseño de la máquina.

El costo establecido por diseñadores en el mercado nacional es de 15 \$/hora por lo tanto el costo de diseño es de 1 800 dólares americanos.

## 6.6 IMPREVISTOS

Los imprevistos son equivalentes al 10 % del total, estos se considera por retrasos en la ejecución tanto del diseño como la construcción de la máquina, incremento en el costo de los materiales o de la mano de obra.

## 6.7 COSTO TOTAL

En la tabla 6.5 se detalla el costo total del diseño y construcción de la máquina trituradora de hojas secas de guayusa. Además de estos costos se considera una utilidad del 15% del subtotal.

**Tabla 6. 5** Costo total

<b>COSTO TOTAL</b>	
Costo materiales	\$ 430,67
Costo de elementos normalizados	\$ 687,67
Costo de maquinado	\$ 789,52
Costo mano de obra	\$ 671,71
Costo de diseño	\$ 1 800,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 4 379,57</b>
Imprevistos (10%)	\$ 437,96
Utilidad (15%)	\$ 656,94
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5 474,46</b>

Fuente: Propia  
Elaboración: Propia

El costo de la máquina es de cinco mil cuatrocientos setenta y cuatro dólares con cuarenta y seis centavos.

## CONCLUSIONES

- El presente Proyecto de Titulación cumple con el objetivo del diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora, destinada a la elaboración de infusiones aromáticas para la empresa Tierra Verde Company Guay S.A.
- El estudio de campo efectuado, permite establecer los requerimientos de diseño en base a la capacidad de producción previamente solicitada por la empresa Tierra Verde Company Guay S.A. Adicionalmente se consideran parámetros propios de la materia prima, garantizando la calidad y funcionalidad de cada uno de los elementos del prototipo.
- Con la culminación del diseño y construcción de la máquina trituradora de hojas secas de guayusa se consigue disminuir considerablemente tiempos en la elaboración de infusiones y obtener un producto con el adecuado grado de trituración.
- El presente documento muestra mediante los planos correspondientes, la adecuada instalación de la máquina trituradora. Además, se anexa el procedimiento apropiado para su correcto manejo, esto con el objetivo de garantizar la funcionalidad a partir del momento que inicia su operación.
- Al realizar las pruebas de campo correspondientes se obtienen los resultados esperados. Para finalizar el proceso de trituración con el adecuado grado de molienda, es necesario la instalación de una tamizadora, obteniendo así, homogeneidad en el producto final.
- El análisis de costos permite determinar el precio del prototipo en el mercado nacional. En base al diseño óptimo, cada uno de sus elementos han sido construidos y adquiridos considerando el aspecto mercantil de los mismos.
- Con la culminación del presente Proyecto de Titulación los autores pusieron en práctica la mayoría de conocimientos adquiridos durante su formación profesional y establecieron criterios de diseño para obtener una máquina versátil.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable la limpieza y desinfección de las partes que están en contacto con las hojas secas de guayusa, para evitar la contaminación de la materia prima, como se establece en el Código de Práctica para la Manipulación de Alimentos.
- Los rodillos de acero inoxidable después de la jornada de trabajo deben ser limpiados con agua caliente y un cepillo de cerdas suaves, esto para evitar que material se quede atrapado entre el fresado de forma que poseen y actúen como agentes oxidantes.
- Se recomienda lubricar periódicamente los elementos del sistema de transmisión de movimiento en los que se genera fricción.
- Para el óptimo funcionamiento de la máquina se recomienda seguir las instrucciones de construcción y montaje descrito en el capítulo 5, además de esto se debe asegurar la correcta elaboración de los elementos que conforman la máquina trituradora, para ello se detallan planos de taller.
- Se recomienda que la estructura soporte de la máquina trituradora sea pintada con anticorrosivos, para evitar su deterioro y que el producto triturado no sea expuesto a agentes químicos perjudiciales para la salud del consumidor.
- El personal destinado a la utilización de la máquina trituradora debe consultar el manual de operación de la misma, para evitar accidentes a consecuencia de una mala maniobra.
- Es recomendable utilizar hojas secas al sol de no ser así, la calidad de la infusión puede disminuir, y el grado de trituración puede verse afectado al no cumplir los requerimientos necesarios en cuanto a las características de la materia prima.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS CONSULTADOS

- SHIGLEY J & MITCHELL L.; Manual de Diseño Mecánico; 4ta Ed; Editorial Mc Graw-Hill; México,1989
- SHIGLEY J. & MITCHELL L.; Manual De Diseño Mecánico; 8va Edición; Editorial McGraw Hill México;1995
- GERE JAMES; Mecánica de Materiales; 6ta Edición; Editorial Thomson; México; 2006
- NORTON ROBERT, Diseño de Máquinas, Editorial McGraw-Hill, México, 1999
- POPE E: Soluciones Prácticas para El Ingeniero Mecánico; Ed. McGraw-Hill, 1era edición; México; 2000
- H. JÜTZ, E. SCHARKUS & R. LOBERT / Tablas para la industria Metalúrgica; 3ra Edición; Alemania; 1976
- VARGAS, J; Producción por Virutaje; E.P.N., Facultad de Ingeniería Mecánica; Quito-Ecuador; 2014.
- VARGAS, J; Guía de los fundamentos de Dibujo Industrial; E.P.N., Facultad de Ingeniería Mecánica; Quito – Ecuador; 2014
- EHEDG Guidelines; Hygienic Equipment Design Criteria; EN 1672-2; Doc 8; Second Edition; April 2004
- NTE INEN 2 392:2007; Hierbas Aromáticas Requisitos; Quito – Ecuador; 2007
- INEN; Código de Dibujo Técnico Mecánico; Quito – Ecuador; 1994

### TESIS CONSULTADAS

- SALAS C.; Diseño de un molino de rodillo para molienda de granos destinado al área de alimentos del CESTTA-ESPOCH; ESPOCH; Riobamba; 2012

- JAMI M. & PAUTA D.; Diseño y construcción de una máquina peladora de chochos con capacidad de 25 kg/h; Esc. Politécnica Salesiana; Quito; 2012
- PORTALANZA L. & RODRÍGUEZ I.; Diseño y construcción de una máquina trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificaciones en envases tetra pack y recipientes plásticos; Escuela Politécnica del Ejército; Sangolquí; 2013
- PACHA ANA; Comprobación del efecto adelgazante de la tritura de guayusa en ratones con sobrepeso inducido; ESPOCH; Riobamba; 2012

### **PÁGINAS WEB CONSULTADAS**

- Torres Gonzalo; El aprovechamiento de la guayusa; Fundación Chankuap; 2013
- [http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/1368381/01\\_caracterizacion\\_fitoquimica.pdf](http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/1368381/01_caracterizacion_fitoquimica.pdf)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Ilex\\_guayusa](http://es.wikipedia.org/wiki/Ilex_guayusa)
- «Lab Number:056939». Advanced Botanical Consulting & Testing, Inc.
- <http://manta.doplim.ec/te-energetico-guayusa-id-17976.html>
- [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf)
- <http://insutecmza.blogspot.com/2011/04/objetivo-reducir-el-tamano-de-los.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Trituradora>
- <http://es.scribd.com/doc/247078107/05-Apunte-Trituracion#scribd>
- <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>
- <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/dinamico/dinamico.htm>
- <http://www.fullquimica.com/2011/04/densidad.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>



- <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/chaveta-definicion-significado/gmx-niv15-con193510.htm>
- <http://www.steelss.com/Carbon-steel/st60-2.html>
- <http://es.scribd.com/doc/11863511/Diseno-y-Seleccion-Del-Mando-a-Correas-en-V>
- <http://es.scribd.com/doc/5699593/CALCULO-DE-CORREAS-2>
- <http://www.jocartransmisiones.com/PDF%27s/06-Correas%20trapeciales.pdf>
- <http://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn>
- <http://www.gplastics.com/pdf/cast-nylon-6.pdf>
- <http://www.steelss.com/Carbon-steel/st60-2.html>
- <http://es.scribd.com/doc/56836019/CALCULO-Y-DIBUJO-DE-ENGRANES>
- <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/122733.pdf>
- [http://centrodeartigos.com/articulos-noticias-consejos/article\\_146021.html](http://centrodeartigos.com/articulos-noticias-consejos/article_146021.html)
- <http://www.telsmith.com/files/SBSSpanishLR.pdf>
- <http://www.ecured.cu/index.php/Trituraci%C3%B3n>
- <http://insutecmza.blogspot.com/2011/04/objetivo-reducir-el-tamano-de-los.html>
- <http://www.funvesa.com.pe/esp/trituradora-de-rodillos>
- Formats Construction Machinery Co., Ltd.
- <http://www.ecured.cu/index.php/Trituraci%C3%B3n>
- <http://insutecmza.blogspot.com/2011/04/objetivo-reducir-el-tamano-de-los.html>
- <http://www.telsmith.com/files/SBSSpanishLR.pdf>