



Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PICADORA
DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**

**Guijarro Paguay Graciela Inés
Paguay Ocaña Héctor Xavier**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

Epoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Enero, 02 del 2011

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

GRACIELA INÉS GUIJARRO PAGUAY

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PICADORA DE BAGAZO
DE CAÑA DE AZÚCAR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) Ing. Carlos Santillán
DECANO ENCARGADO DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) Ing. Pablo Fierro
DIRECTOR DE TESIS

f) Ing. Washington Ruales
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GRACIELA INÉS GUIJARRO PAGUAY.

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PICADORA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”

Fecha de Examinación: Febrero, 02 del 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán (Presidente Tribunal Defensa)			
Ing. Pablo Fierro (Director De Tesis)			
Ing. Washington Ruales (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Enero, 02 del 2011

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

HÉCTOR XAVIER PAGUAY OCAÑA

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PICADORA DE BAGAZO
DE CAÑA DE AZÚCAR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) Ing. Carlos Santillán
DECANO ENCARGADO DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) Ing. Pablo Fierro
DIRECTOR DE TESIS

f) Ing. Washington Ruales
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: HÉCTOR XAVIER PAGUAY OCAÑA.

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PICADORA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”

Fecha de Examinación: Febrero, 02 del 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán (Presidente Tribunal Defensa)			
Ing. Pablo Fierro (Director De Tesis)			
Ing. Washington Ruales (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Graciela Inés Guijarro Paguay

f) Héctor Xavier Paguay Ocaña

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por guiarnos en cada paso dado durante nuestras vidas.

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional que nos han brindado en esta carrera y por el cariño que nos han brindado a lo largo de nuestras vidas.

Un especial agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Mecánica y a los grandes maestros que la conforman por la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y por el valioso conocimiento que han compartido con nosotros.

Agradecemos a nuestros amigos por el apoyo y fuerza que nos brindaron día a día.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios por darme vida y fuerza para alcanzar mis metas.

A mi padre y a mis hermanos que por su apoyo y cariño que me inspiran a crecer y ser una mejor persona día a día.

A mis maestros y amigos por compartir este sueño conmigo.

G.I.G.P.

Al sacrificio de mis padres, al amor incondicional de mi familia, a la estima de mis amigos y a la vida por permitirme cumplir mis metas y alcanzar mis objetivos.

H.X.P.O.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1.	GENERALIDADES, JUSTIFICACION Y OBJETIVOS	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
2.	MARCO TEÓRICO Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO	
2.1	Cultivo de la caña de azúcar.....	4
2.2	Bagazo de caña de azúcar.....	5
2.3	Usos y aplicaciones.....	5
2.3.1	Papel.....	5
2.3.2	Tablas de fibra prensada para paredes y tablas aislantes.....	6
2.3.3	Tableros aglomerados.....	7
2.3.4	Cobertura del suelo y cama para el ganado.....	7
2.3.5	Plásticos derivados del bagazo.....	7
2.3.6	Xilitol proveniente del bagazo.....	8
2.3.7	En el asfalto.....	8
2.3.8	En medicina.....	8
2.4	Propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar.....	9
2.5	Proceso de picado.....	10
2.6	Alternativas de máquinas picadoras.....	11
2.6.1	Máquinas picadoras sopladoras estacionarias.....	12
2.6.2	Máquinas picadoras sopladoras de campo.....	15
2.6.3	Máquinas picadoras sopladoras de acción simple.....	15
2.6.4	Máquinas picadoras sopladoras de doble acción.....	16
2.7	Partes constitutivas de la máquina.....	19
2.7.1	Chasis.....	19
2.7.2	Elementos de conexión.....	20
2.7.3	Mecanismos de transmisión.....	21
2.7.3.1	Transmisión por engranajes.....	22
2.7.3.2	Transmisión por cadenas.....	22
2.7.3.3	Transmisión por correas.....	23
2.7.3.4	Transmisión de manivelas, excéntricos y levas.....	23
2.7.4	Mecanismos operativos.....	24
2.7.4.1	Rotor picador.....	24
2.7.4.2	Expulsor del material picado.....	25
3.	PARAMETROS DE LA MÁQUINA	
3.1	Determinación de los parámetros de la máquina.....	27
3.2	Selección del tipo de máquina.....	27

3.3	Capacidad de la máquina.....	39
3.4	Determinación de la resistencia al corte del bagazo de caña.....	39
3.5	Velocidad y potencia de corte.....	40

4. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

4.1	Sistema de alimentación.....	45
4.2	Cortador.....	47
4.2.1	Rotor.....	47
4.2.2	Cuchillas.....	50
4.2.2.1	Espesor.....	51
4.3	Sistema de transmisión por correa abierta.....	53
4.3.1	Selección del motor.....	53
4.3.2	Selección de bandas.....	54
4.3.2.1	Relación de transmisión.....	54
4.3.2.2	Diámetros primitivos de la poleas.....	55
4.3.2.3	Distancia entre ejes.....	55
4.3.2.4	Longitud primitiva de la banda.....	56
4.3.2.5	Arco de contacto.....	56
4.3.2.6	Potencia transmisible por banda.....	57
4.3.2.7	Determinación del número de bandas.....	57
4.3.2.8	Velocidad de la banda.....	57
4.3.3	Selección de las poleas.....	58
4.3.4	Tensiones en las poleas.....	59
4.4	Eje del rotor.....	60
4.5	Selección de chumaceras.....	68
4.6	Calculo y selección de chavetas.....	69
4.7	Bastidor.....	71
4.8	Diseño de la estructura de soporte.....	72
4.9	Diseño de la protección del motor y control eléctrico de la máquina.....	74

5. CONSTRUCCIÓN Y COSTOS DE LA MÁQUINA

5.1	Descripción general del proceso de construcción.....	76
5.2	Cronograma de construcción de los elementos de la máquina.....	77
5.3	Cronograma de montaje de los elementos de la máquina.....	78
5.4	Costos del proyecto.....	79
5.4.1	Costos directos.....	79
5.4.1.1	Costos de materiales.....	79
5.4.1.2	Costos de maquinaria y equipos utilizados.....	79
5.4.1.3	Costos de mano de obra.....	82
5.4.1.4	Costos de transporte.....	82
5.4.2	Costos indirectos.....	82
5.4.3	Costos totales.....	82

6. VERIFICACIÓN, PRUEBAS Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

6.1	Diagrama de la máquina.....	83
6.2	Procedimiento experimental.....	84
6.3	Especificaciones.....	87

6.3.1	Dimensiones generales.....	87
6.3.2	Peso de la máquina.....	87
6.3.3	Fuente de potencia.....	88
6.3.4	Sistema de transmisión de potencia.....	88
6.3.5	Rotor picador soplador.....	88
6.3.6	Velocidad de entrada.....	88
6.3.7	Capacidad de la máquina.....	90
6.3.8	Longitud del bagazo picado.....	92
6.3.9	Elaboración de bloques alimenticios.....	93
6.3.10	Aspectos de seguridad.....	95
6.3.11	Resumen de los resultados de las pruebas.....	96
6.3.12	Reparaciones y ajustes durante las pruebas.....	97
6.4	Operación y mantenimiento de la máquina.....	97
6.4.1	Operación.....	97
6.4.2	Mantenimiento.....	98
6.4.2.1	Limpieza del rotor soplador y de bastidor.....	99
6.4.2.2	Alineación y afilado de cuchillas y contra cuchilla.....	99
6.4.2.3	Lubricación y cambio de chumaceras.....	99
6.4.2.4	Ajuste y cambio de bandas.....	99
6.4.2.5	Ajuste de pernos y tornillos.....	100
6.4.2.6	Protección eléctrica del motor.....	100
6.4.2.7	Plan de mantenimiento preventivo.....	101
6.5	Fotografías de la máquina.....	102

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones.....	103
7.2	Recomendaciones.....	104

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	COMPOSICIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	6
2.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TRANSMISION POR ENGRANAJES.....	22
2.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TRANSMISION POR CADENAS.....	22
2.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TRANSMISION POR CORREAS.....	23
2.5	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN ROTOR DE VOLANT...	25
2.6	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN ROTOR DE TAMBOR...	25
2.7	VELOCIDADES MINIMAS DEL AIRE PARA LA FLOTACIÓN	26
3.1	LISTA DE POSIBLES CARACTERISICAS Y EXIGENCIAS DE LA MÁQUINA.....	27
3.2	CAJA NEGRA.- ENTRADAS Y SALIDAS.....	29
3.3	MATRIZ MORFOLÓGICA DE LA MÁQUINA.....	32
3.4	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	36
3.5	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	36
4.1	VARIACIÓN DE LA ENERGÍA CINÉTICA	49
4.2	SELECCIÓN DEL CHAVETERO.....	71
5.1	CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA.....	
5.2	CRONOGRAMA DEL MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA.....	77 78
5.3	COSTOS DE MATERIALES.....	79
5.4	CARACTERISTICAS DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCION MONTAJE DE LA MÁQUINA.....	80
5.5	COSTOS DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS.....	81
5.6	COSTOS DE MANO DE OBRA.....	82
5.7	COSTOS DE TRANSPORTE.....	82
5.8	COSTOS INDIRECTOS.....	82
5.9	COSTO TOTAL.....	82
6.1	DIMENSIONES GENERALES.....	87
6.2	PESO DE LA MÁQUINA.....	87
6.3	VELOCIDAD DE ENTRADA DEL BAGAZO.....	89
6.4	CAPACIDAD DE LA MÁQUINA.....	91
6.5	LONGITUD DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PICAD....	93
6.6	CONTENIDO DE BLOQUES ALIMENTICIOS.....	93
6.7	RESUMEN DE PRUEBAS.....	96
6.8	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	101

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Cultivo de caña de azúcar.....	4
2.2	Factores del proceso de picado.....	11
2.3	Picadoras sopladoras estacionarias.....	13
2.4	Picadoras sopladoras estacionarias.....	14
2.5	Picadoras sopladoras de campo de acción simple.....	16
2.6	Picadoras sopladora de campo de acción doble.....	17
3.1	Caja negra.....	28
3.2	Propuestas de estructura de función.....	30
3.3	Opción 1 de máquina picadora.....	33
3.4	Opción 2 de máquina picado.....	34
3.5	Opción 3 de máquina picadora.....	34
3.6	Opción 4 de máquina picadora.....	35
3.7	Evaluación de propuestas.....	37
3.8	Elementos centrales de la máquina.....	38
3.9	Número de revoluciones vs. Números de cuchillas.....	42
3.10	Diámetro del volante.....	43
4.1	Inclinación de la bandeja de alimentación.....	45
4.2	Boca de alimentación.....	46
4.3	Bandeja de alimentación.....	47
4.4	Base del volante de inercia.....	49
4.5	Funcionamiento del cizallado.....	50
4.6	Angulo de corte de las cuchillas.....	51
4.7	Cuchilla y contra cuchilla.....	51
4.8	Dimensiones de la cuchilla.....	52
4.9	Sistema de transmisión.....	59
4.10	Diagrama de fuerzas en el plano XZ.....	61
4.11	Diagrama de fuerzas en el plano XY.....	61
4.12	Diagrama de fuerzas y momentos en el plano XZ.....	62
4.13	Diagrama de fuerzas y momentos en el plano XY.....	63
4.14	Diagrama de torque en el eje.....	63
4.15	Fluctuación de los esfuerzos.....	64
4.16	Fuerza en el eje.....	66
4.17	Forma del eje.....	67
4.18	Deformación del eje.....	67
4.19	Esfuerzos en el eje.....	68
4.20	Chumacera.....	69
4.21	Eje con chavetero.....	70
4.22	Representación de las medidas de una chaveta.....	71
4.23	Bastidor.....	72
4.24	Estructura en SAP 200.....	73
4.25	Estructura en SAP 2000.....	73
4.26	Estructura en SAP 2000.....	74
4.27	Circuito eléctrico del motor.....	75
6.1	Esquema general de la máquina.....	83

6.2	Volante y eje de la maquina.....	86
6.3	Montaje del eje del rotor.....	86
6.4	Bagazo de caña.....	88
6.5	Velocidad de entrada del bagazo.....	90
6.6	Bagazo de caña y bagazo de caña picado	90
6.7	Capacidad de picado del bagazo.....	92
6.8	Bagazo de caña picado.....	92
6.9	Alfalfa picada.....	94
6.10	Caña del maíz picado.....	94

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Ensayo de corte
- ANEXO 2:** Porcentaje de bagazo en la caña de azúcar
- ANEXO 3:** Ensayo de densidad
- ANEXO 4:** Tabla de valores del factor de corrección de potencia
- ANEXO 5:** Gráfico de selección del perfil de correa
- ANEXO 6:** Tabla para la selección del diámetro de un sistema de transmisión por bandas
- ANEXO 7:** Tabla de coeficientes de fluctuación para diseño de volantes
- ANEXO 8:** Factores de corrección para arcos de contacto
- ANEXO 9:** Factores de corrección en función del tipo de correa
Medidas para áreas de trabajo
- ANEXO 10:** Propiedades de materiales para bandas y coeficientes de fricción
- ANEXO 11:** Medidas del área transversal de las chavetas
- ANEXO 12:** Prestación de correas trapeciales

RESUMEN

El costo de insumos para la alimentación del ganado tiene valores exagerados, he ahí la necesidad de buscar alternativas para la alimentación sana y balanceada del ganado, aprovechando todos los recursos agrícolas de nuestro país.

En el mercado existe una gran variedad de máquinas picadoras de pasto, las cuales no están sustentadas con un diseño propio para el bagazo de caña de azúcar, que tiene muchas aplicaciones en otros países, entre las cuales se incluye la alimentación del ganado. Por ello se ha realizado el diseño y construcción de la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar. Además permite picar forrajes de igual o menor resistencia al corte.

Nuestra máquina es un prototipo elegido con bases tanto económicas como técnicas, bajo ciertos requerimientos. Pues la máquina deberá trabajar necesariamente con electricidad y ser manejada por un solo operario. Los parámetros de diseño son: Velocidad de entrada del bagazo, Capacidad de corte y Longitud del bagazo picado.

La máquina funciona con un motor eléctrico de 5HP a 1745RPM, el sistema de transmisión es de correa abierta, el rotor es un volante con tres cuchillas dispuestas en forma radial, además posee tres paletas sopladoras que se encargan de expulsar el bagazo picado por una abertura ubicada en la parte superior derecha del bastidor. Se ha previsto el ajuste de las correas cuando sea necesario, para ello se ha colocado el motor sobre una base corrediza. La contra cuchilla y la cuchilla funcionan como una cizalla. Las mismas tienen pernos como elementos de conexión pues se prevé el mantenimiento como afilado y limpieza. Se ha diseñado un plan de mantenimiento preventivo y un instructivo de operación para evitar cualquier daño humano y material.

El costo total de construcción del proyecto es inferior al costo de las máquinas que podemos encontrar en el mercado, lo que lo hace rentable.

CAPITULO I

GENERALIDADES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. ANTECEDENTES

En el sector ganadero de nuestro país, especialmente para los productores de leche, es importante mantener una alimentación balanceada en el ganado durante todo el año. Para ello no solo es necesario tener métodos y técnicas de alimentación, sino también contar con la maquinaria necesaria.

Con el avance de la tecnología se han implementado soluciones a necesidades específicas, en el sector ganadero, una de ellas es mejorar la calidad del alimento del ganado, para de esta forma obtener un mayor beneficio de los productos: cárnicos y lácteos; aprovechando todos los recursos agropecuarios que son abundantes en nuestro país. Muchos de estos recursos son mínimamente aprovechados para el consumo humano, otra parte sirve de alimento para el ganado y gran parte es desperdiciado.

Dado las nuevas técnicas de alimentación ganadera y el aporte tecnológico, en la actualidad, se han encontrado diversas maneras de aprovechar los recursos agropecuarios en su totalidad, es por esto nuestra investigación se concentra en desarrollar una máquina que ayude a aprovechar uno de estos recursos, que es el bagazo de caña.

La caña de azúcar ha sido utilizada durante mucho tiempo principalmente en la producción de azúcar, y demás derivados. A través de su historia se ha encontrado varios usos como abono y combustibles además de ser utilizado como alimento de ganado. El bagazo en su forma original, utilizado como alimento para ganado presenta dificultad en el proceso de corte y para masticar de los rumiantes; por esta razón nuestro proyecto se basa en el diseño y construcción de una picadora de bagazo de caña de azúcar, para que facilite el consumo del alimento para el ganado. La combinación del bagazo de caña picado con melaza presenta un alimento balanceado adecuado para el consumo del ganado.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto que se plantea está relacionado al aprovechamiento del bagazo de caña el cual se justifica desde los siguientes puntos de vista:

En Ecuador la producción de la caña de azúcar se da principalmente en provincias de clima cálido-húmedo por lo que el aprovechamiento de manera integra en sus derivados nos propone grandes oportunidades. Se aprovecharía el bagazo de caña, disminuyendo el desperdicio de recursos, siendo un aporte para el medio ambiente.

En el caso de no contar con una máquina picadora, el proceso tendría que hacerse manualmente; lo cual no solo significa gran esfuerzo humano sino también mayores gastos, pues en la actualidad la mano de obra para la actividad agropecuaria es muy escasa y costosa; por ello es necesario contar con la maquinaria necesaria para facilitar estos procesos. Este proyecto será un gran aporte a la agropecuaria de nuestro país.

De esta manera justificamos este proyecto como una forma de mejorar la alimentación del ganado, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera, disminuyendo costos y aprovechando recursos agrícolas de nuestro país.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

Diseñar y construir una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar.

1.3.2. ESPECIFICOS

- Determinar la capacidad de bagazo picado en kg/h.
- Definir el tamaño de bagazo en base a la regulación del mecanismo de picado de la máquina.
- Analizar alternativas de diseño para un equipo de picado de bagazo de caña de azúcar.
- Diseñar y construir la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar a un costo bajo.
- Verificar y probar la eficiencia de la máquina mediante un plan de experimentación.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO

2.1. CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

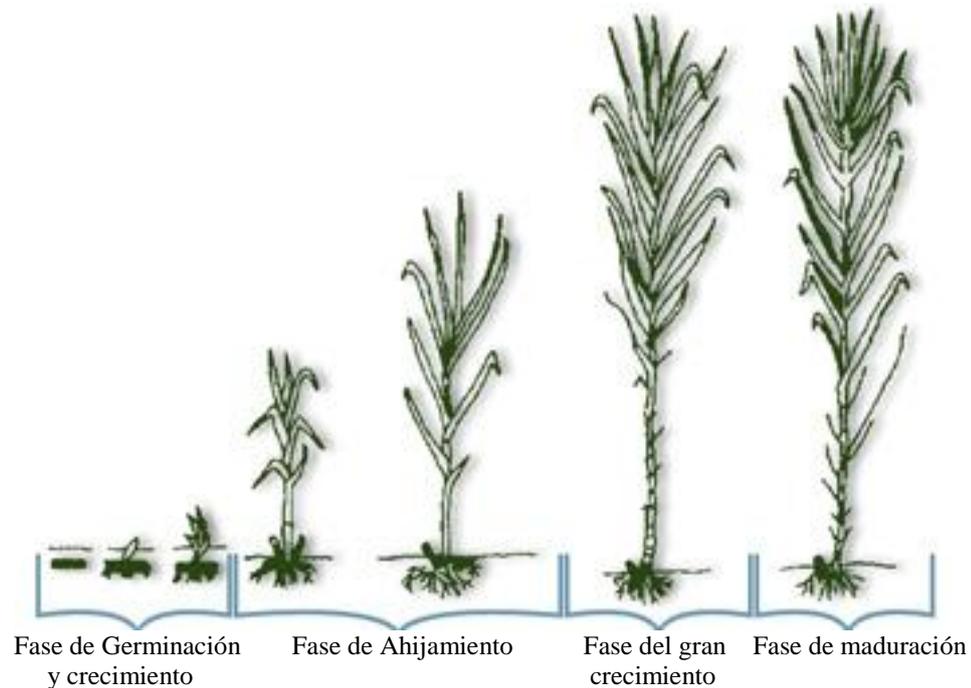


Figura 2.1: Cultivo de caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta gramínea originaria de Nueva Guinea, desde donde se fue extendiendo a Asia y otros países tropicales y subtropicales.

Esta planta consta de tres partes: una subterránea, carente de hojas y perenne, y otra aérea y anual, con hojas que llegan a alcanzar de dos a siete metros de longitud. El color de la planta depende de las variedades. En su parte superior encontramos la panocha, que mide unos treinta centímetros de largo. La floración se presenta durante el primer año de cultivo.

Los climas apropiados para su explotación son los tropicales y en ocasiones, los subtropicales; los suelos más indicados, los llanos, ricos en calcio y próximos al mar.

La siembra se realiza con estacas, que es el procedimiento usado más corrientemente. La germinación exige la presencia de humedad en el suelo; además, durante el cultivo, hay que suministrar sólo una cantidad prudencial de agua, porque el riego excesivo contribuiría al crecimiento de las malas hierbas.

La faena de la recolección se lleva a cabo entre los once y los dieciséis meses de la plantación, es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan y caen y la corteza de la capa se vuelve quebradiza.

2.2. EL BAGAZO DE CAÑA

El bagazo es el subproducto o residuo de la molienda o difusión de caña, la fibra leñosa de la caña, en el que permanecen el jugo residual y la humedad provenientes del proceso de extracción. Al decir fibra se hace referencia a todos los sólidos insolubles, fibrosos o no. En la práctica aproximadamente la mitad es fibra y la otra mitad es jugo residual, con variaciones que resultan de los procedimientos de la molienda y de la variedad y de la calidad de la caña.

La gran mayoría del bagazo producido, que equivale aproximadamente a una tercer parte de toda la caña molida del mundo, sirve como combustible para la generación de vapor en los ingenios productores de azúcar crudo. El manejo del bagazo como combustible para locomotoras, uso doméstico y otros similares se facilita comprimiéndolo para formar briquetas, algunas veces con melazas para facilitar la adhesión.

2.2.1. USOS Y APLICACIONES

La Fundación para la Investigación del Azúcar ha desarrollado información sobre el bagazo como materia prima para la fabricación de productos comerciales, tales como:

2.2.1.1. PAPEL

La fábrica de pulpa 100% de bagazo más grande del mundo produce 300 t de pulpa blanqueada por día. Los estudios sobre la fabricación de papel a partir del bagazo se remontan a 1834, pero no fue sino hasta los últimos 50 años que la compañía W.R. Grace obtuvo un éxito comercial completo en Perú. La pulpa del bagazo se utiliza hoy en día en casi todas las clases de papel, incluyendo bolsas, envolturas, para imprimir, de escritura, papel higiénico, pañuelos faciales, toallas, papel cristal, semicorrugado, cartón para forro y para papel periódico. En México existe una planta papelera considerada como la fábrica más grande del mundo productora de pañuelos faciales y papel a partir del bagazo. Con el proceso Cusi se puede fabricar papel periódico con 80% de pulpa de bagazo, 15% de pulpa de madera molida y solo 5% de pulpa de fibra larga.

Tabla 2.1: Composición del Bagazo de Caña de Azúcar.

<i>Porción</i>	<i>Celulosa</i>	<i>Alfa-Celulosa</i>	<i>Hemicelulosa</i>	<i>Lignina</i>	<i>Ceniza</i>
<i>Entera</i>	58.4	36.8	29.4	21.3	2.9
<i>Fibra</i>	61.4	38.7	30.0	20.7	2.0
<i>Médula</i>	54.6	32.2	29.9	21.3	4.6

2.2.1.2. TABLAS DE FIBRA PRENSADA PARA PAREDES Y TABLAS AISLANTES

El bagazo para la fabricación de tablas de construcción y aislantes, aplicación iniciada por la Celotex Company de Luisiana en 1922, ha reemplazado el uso de este material como combustible en casi la cuarta parte de los ingenios de este estado. El bagazo proveniente de los molinos se almacena en grandes pilas. El proceso incluye trituración y cocción a fin de eliminar resinas, ceras y pectocelulosa y hacer que las fibras adquieran resistencia y flexibilidad. De los cocedores y lavadores, el bagazo pasa a través de los refinadores del molino de papel para separar los haces de fibras, después de lo cual se añaden sustancias químicas impermeabilizantes y repelentes a las termitas. Los tableros se forman por medio del proceso conocido en la industria de la pulpa como afeltrado (proceso en el que se enmarañan las fibras), y la resistencia de la tabla se debe exclusivamente al grado de entretejido y enredado de las fibras. A medida que el tablero húmedo sale de la máquina conformadora es alimentado a un secador continuo de aire caliente, del que sale terminado en forma de lámina continua de doce pies de ancho que se corta con sierras según el tamaño deseado.

2.2.1.3. TABLEROS AGLOMERADOS

Los tableros aglomerados se fabrican a partir de pequeños fragmentos de material lignocelulósico mezclados con un agente orgánico aglutinante con aplicación de calor, presión u otras formas de tratamiento. Existen tres procesos principales: el proceso de prensas calientes de rodillos múltiples, el proceso de extrusión y el proceso de Bartreu (prensado continuo).

Para los tableros aglomerados de bagazo, se utiliza urea formaldehído en una proporción de 5.8% del peso de la fibra seca. Se añade asimismo parafina sólida como repelente al agua (en una cantidad no mayor al 5% del peso de la resina

sólida). En 1968 se estableció una nueva planta de tableros aglomerados en la isla de Reunión (40 T diarias).

2.2.1.4. COBERTURA DEL SUELO Y CAMA PARA EL GANADO

Otra operación que se lleva a cabo es la separación del bagazo en varias fracciones según el tamaño de las partículas. El bagazo procedente de los molinos pierde aproximadamente el 40% de humedad al pasar a través de secadores alimentados con gas, a una temperatura de 1 400°F (760°C). El bagazo deshidratado pasa por los tamices vibratorios en los que se divide en tres partes. La porción compuesta por partículas más gruesas se usa como cobertura orgánica del suelo en la horticultura; la fracción media (que es también fibrosa) se utiliza para cama de ganado y de pollos. La fracción más fina, constituida por la médula se divide todavía más mediante el separador por gravedad antes mencionado, y rinde dos fracciones: una fracción de alfa-celulosa de calidad bastante elevada útil en la fabricación de explosivos, y otra fracción de partículas más gruesas que se utiliza como forraje mezclándola con mieles.

2.2.1.5. PLÁSTICOS DERIVADOS DEL BAGAZO

La producción de diversos plásticos a partir de la lignina contenida en el bagazo constituye una exitosa utilización. Este proceso que se ensayó primeramente a nivel de planta piloto en laboratorios del gobierno estadounidense se perfeccionó desde el punto de vista comercial alrededor de 1941.

2.2.1.6. XILITOL PROVENIENTE DEL BAGAZO

El xilitol se conoce desde hace más de 90 años. Ha sido utilizado durante más de 15 años en diversos países de Europa y Asia para nutrición parental y como endulzador para diabéticos. El bagazo contiene aproximadamente un 30% de pentosanas. Mediante digestión ácida, aproximadamente el 13% de los sólidos secos originales pueden extraerse como xilosa (C₅ H₁₀O₅). La xilosa es una pentosa y se conoce también como "azúcar de madera". El xilitol tiene un poder edulcorante y un sabor casi iguales a los de la sacarosa, mientras que la

xilosa tiene un poder edulcorante de 0.7 comparada con la sacarosa, pero tiene un agradable efecto refrescante. Un gramo de xilitol corresponde a 4.06 kcal, similar a otros carbohidratos totalmente metabolizados.

2.2.2. PROPIEDADES DEL BAGAZO

2.2.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

El poder calorífico del bagazo seco muestra una sorprendente uniformidad en todo el mundo. Las numerosas pruebas caloríficas efectuadas dan valores (en BTU) entre 8 200 y 8 400 por libra (4 550 a 4660 cal). Las investigaciones que se han efectuado acerca del valor combustible de las variedades más modernas de cañas en varios países corroboran estas cifras. El promedio de 8 350 BTU por libra de *bagazo seco libre de ceniza* (4 640 cal/Kg) está dentro de los límites del error propio de la toma de muestras y del análisis, pero el análisis nunca está libre de ceniza.

El porcentaje de ceniza de la materia seca en la caña cortada a mano es de 2.2 a 3.4% y en la caña cortada mecánicamente de 5.82 a 28.48%.

El bagazo contiene un gran porcentaje de humedad que varía con la velocidad y la eficiencia de la molienda, se maneja una cifra promedio de 48 a 50%

La fibra del bagazo puro ha sido analizada por diversos investigadores y se han obtenido porcentajes promedios de carbono 47.0, hidrogeno, 6.5; oxigeno 44.0; ceniza y materiales indeterminados 2.5

El valor calorífico es la base para determinar el precio de compra del bagazo que ha sido aceptado mundialmente, y ha demostrado ser seguro, lógico y favorable para ambas partes. Como es probable que el valor básico del bagazo continúe basándose en su valor calorífico equivalente, el bagazo debe continuar en su posición competitiva excelente con respecto a la madera o cualquier fibra vegetal no leñosa como materia prima fibrosa para pulpa, papel, cartón o tableros compuestos.

2.3. PROCESO DE PICADO [1].

La operación del picado ha obtenido mucha popularidad en la cosecha de forrajes. Los factores a favor del picado son:

- El grado de digestión y el tiempo de paso del forraje en el animal, dependen del tamaño de las partículas del mismo. Cuanto más pequeñas sean las partículas, mayor será el grado de digestión y menor el tiempo de paso, lo que indirectamente afecta el consumo voluntario del animal.
- El animal gasta menos energía en desmenuzar el material.
- El material picado tiene mayor densidad. El tracto digestivo del animal tiene una determinada capacidad volumétrica, es decir, que con el material picado se llena el tracto digestivo con mayor cantidad de forraje.
- El material es fácilmente transportable por medio de conductores mecánicos y sopladoras.
- Facilita el proceso de ensilaje, por su estructura y mayor densidad.
- Hace posible el uso de instalaciones automáticas de alimentación del ganado.

No tiene objeto picar el material más corto de lo necesario. El ajuste de la longitud de picado depende de la velocidad de alimentación, de la velocidad de la picadora y del número de cuchillas sobre el volante.

- a) Con poca velocidad de alimentación, el material queda cortado en trozos chicos.
- b) Con una velocidad grande de la picadora, la longitud de los trozos resulta menor.
- c) Con un número mayor de cuchillas, el material queda cortado en trozos chicos.
- d) Con una velocidad grande de alimentación, la longitud de los trozos es mayor.
- e) Con una velocidad lenta de la picadora, se pica el material en trozos más largos.
- f) Con un número menor de cuchillas, se pica el material en trozos más largos.

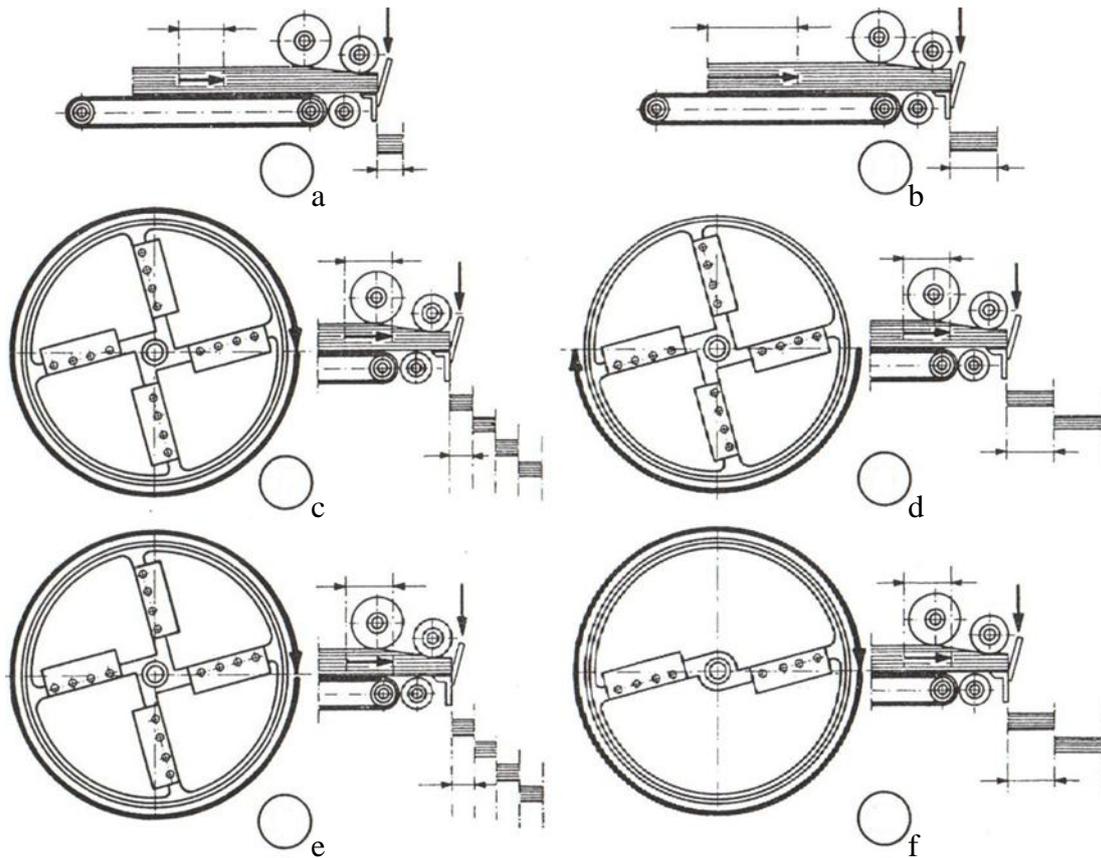


Figura 2.2: Factores del Proceso de Picado.

Para reducir la longitud de picado, se puede disminuir la velocidad de alimentación, aumentar las revoluciones por minuto de la picadora, y/o aumentar el número de cuchillas del rotor.

2.4. ALTERNATIVAS DE MÁQUINAS PICADORAS.

Las máquinas picadoras se usan para reducir material verde o seco a menores dimensiones. El picado se puede emplear sobre el material previamente cosechado, sea en forma verde o henificado, pero también se usa para efectuar la cosecha de forrajes trabajando directamente sobre el cultivo en pie.

Por esto, las máquinas picadoras se dividen en *estacionarias* y *de campo*. Las estacionarias se usan para picar el material cosechado, como heno, maíz y remolacha. Las máquinas de campo son cosechadoras que efectúan el corte del material verde, y luego lo pican.

2.4.1. MÁQUINAS PICADORAS-SOPLADORAS ESTACIONARIAS [2]

Estas máquinas se emplean para cosechar material verde o seco, cosechado previamente. El volante picador de estas máquinas está equipado con paletas, para soplar el material picado a través de un tubo de conducción hacia el depósito o hacia la instalación de alimentación del ganado.

La construcción de este tipo de máquina es como sigue:

- 1) Conductor o banda transportadora para conducir el material hacia la unidad de alimentación.
- 2) Unidad de alimentación forzada del material hacia la picadora.
- 3) Caja de la máquina, que sirve como caja de la sopladora. Es en realidad una bomba centrífuga para mover el material picado.
- 4) Volante picador-soplador.
- 5) El volante está equipado con tres cuchillas sopladoras.
- 6) El volante está también previsto con tres paletas para soplar el material picado.
- 7) Tubo de conducción del material picado.

La máquina se usa para el picado de material henificado y para el transporte del material picado hacia el depósito.

Pero también se emplea ésta para el picado de material verde y su posterior conducción al silo. En este caso, se puede tratar material verde cortado por medio de una segadora, o material ya parcialmente picado por medio de una picadora-sopladora de campo. En el último caso, se aplica entonces una doble acción de picado.

Para transportarse de un lugar a otro, la máquina puede ser equipada con ruedas.

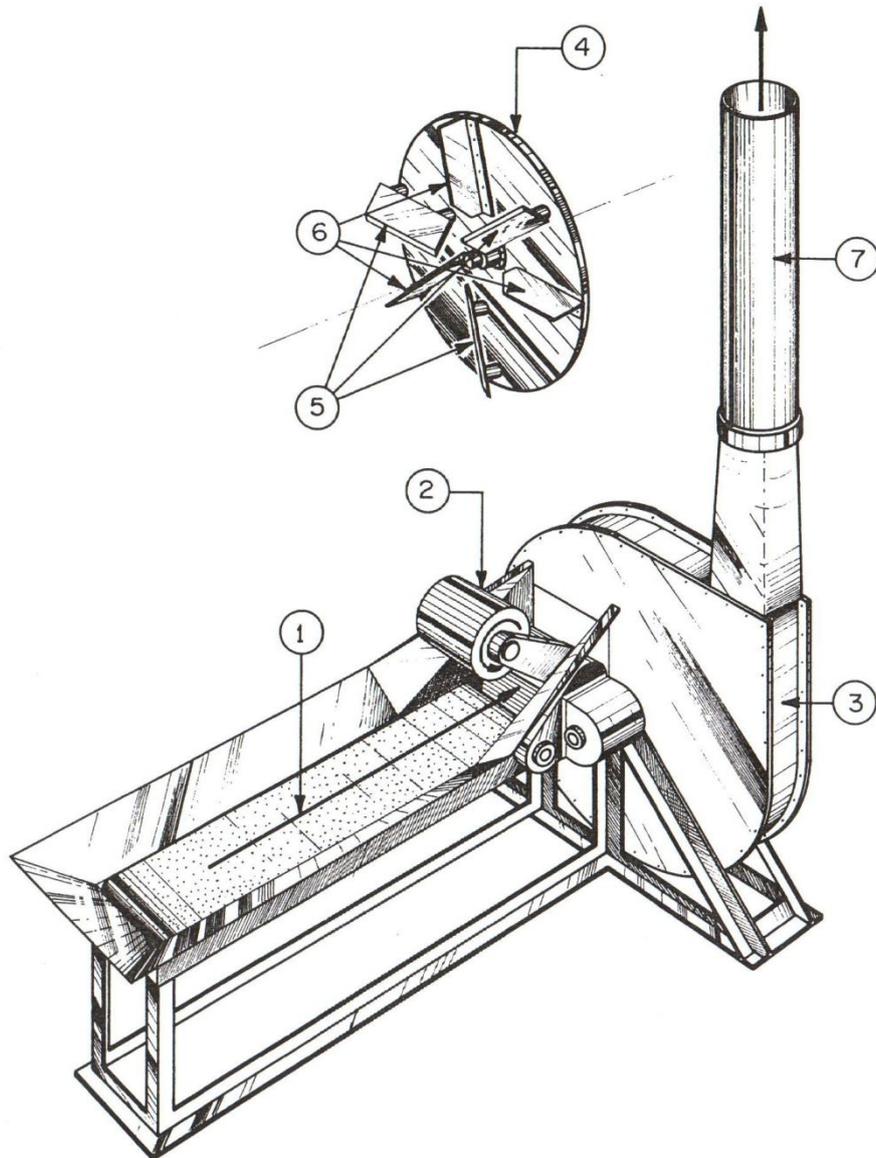


Figura 2.3: Picadoras Sopladoras Estacionarias

El conductor, el mecanismo de alimentación y la picadora sopladora tienen un mando por medio de un motor o mediante la toma de fuerza de un tractor.

- 1) Polea de mano. En el caso de un mando por la toma de fuerza, se conecta el eje de esta toma de fuerza en el mismo sitio. El mando del volante picador-soplador es entonces directo.
- 2) Dos engranajes para el mando del conductor y de la unidad de alimentación forzada.
- 3) Mando del conductor.
- 4) Mando de los rodillos de la unidad de alimentación forzada.
- 5) Ajuste de la presión del rodillo de alimentación forzada.

Las cuchillas de la picadora se montan en el volante bajo un ángulo. Este ángulo tiene importancia, pues permite que la alimentación del material no sea interrumpida por la hoja de la cuchilla. La alimentación puede así continuar luego del paso del borde cortante de la cuchilla, sin chocar contra la hoja.

- 6) Posición inclinada de la cuchilla.
- 7) Ajuste de la cuchilla.

El borde cortante de las cuchillas debe afilarse una vez que se haya desgastado. Al montar nuevamente las cuchillas, se ajusta su posición de tal manera que su borde cortante pase lo más cerca posible del contrafilo, sin tocarlo. Se afila la cuchilla sólo del lado inclinado del borde cortante.

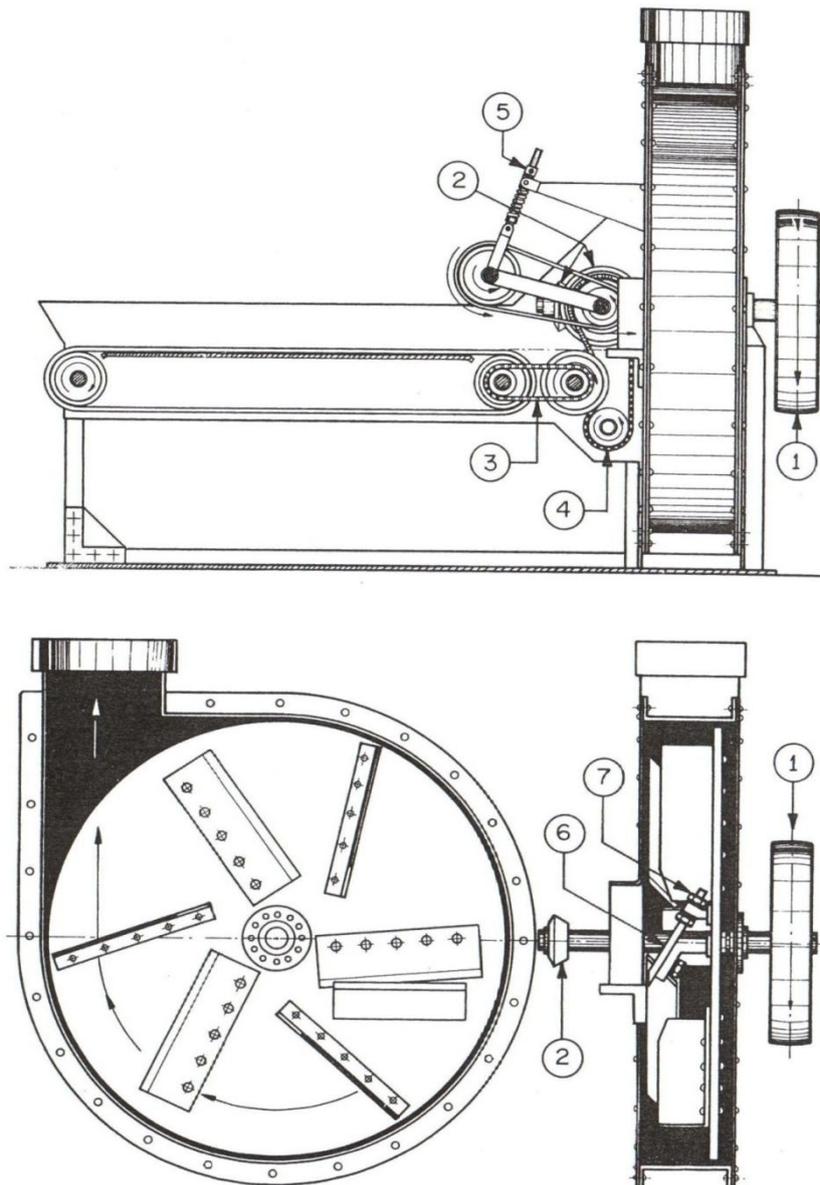


Figura 2.4: Picadoras Sopladoras Estacionarias

2.4.2 MÁQUINAS PICADORAS-SOPLADORAS DE CAMPO [3]

Estas máquinas se pueden dividir en máquinas de picado directo y máquinas de picado indirecto.

Las primeras cortan el pasto en pie, lo pican y lo soplan con un solo mecanismo.

Las últimas efectúan el corte y el picado con mecanismos separados. En las máquinas de picado indirecto, se puede cambiar el mecanismo de corte por un aditamento recogedor de cultivos previamente cortados e hilerados, o por un aditamento de corte de forraje verde.

La máquina de picado indirecto es por esto más versátil. Además, pica el material más intenso. Es una máquina de múltiple acción, mientras que la máquina de picado directo debe efectuar el corte, el picado y el soplado en una sola operación.

2.4.3 MÁQUINAS PICADORAS–SOPLADORAS DE ACCIÓN SIMPLE

La construcción de estas máquinas es como sigue:

- 1) Chasis con dos ruedas.
- 2) Mecanismo operativo. Consta de un rotor ubicado perpendicularmente al avance, provisto de un número de martillos.
- 3) Tubo de conducción del material cortado y picado hacia el remolque, enganchado detrás de la máquina.
- 4) Flujo del material.

Los martillos mismos producen la corriente de aire para el transporte del material cortado y picado.

Estas máquinas se emplean sólo para la cosecha de pastos. El material se usa para la alimentación directa del ganado, o para el ensilado. En el último caso, se descarga el material en una picadora-sopladora estacionaria que lo pica otra vez y luego lo sopla en el silo.

- 5) Enganche para el remolque.
- 6) Enganche al tractor.
- 7) Eje de la toma de fuerza.

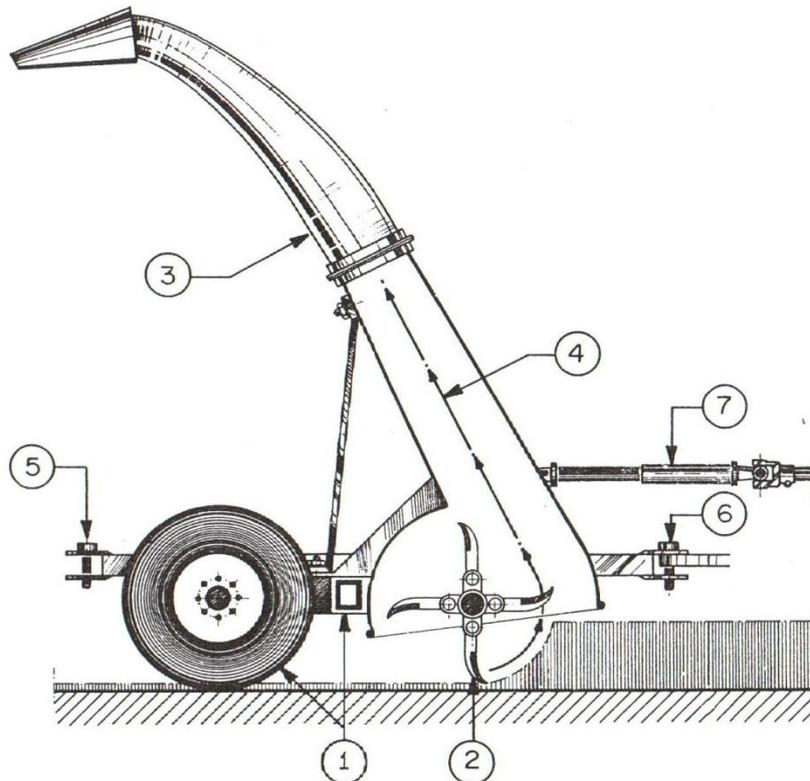


Figura 2.5: Picadoras Sopladoras de Campo de Acción Simple

2.4.4 MÁQUINAS PICADORAS-SOPLADORAS DE DOBLE ACCIÓN

Estas máquinas cortan el material y lo conducen mediante un conductor de gusano hacia la picadora-sopladora. La construcción es como sigue:

- 1) Rotor con martillos que cortan el material y lo descargan en el conductor.
- 2) Mando del rotor.
- 3) Conductor que lleva el material cortado hacia la picadora.
- 4) Mando del conductor.
- 5) Cabezal de la picadora-sopladora.
- 6) Mando del cabezal por la toma de fuerza.
- 7) Tubo de conducción del material picado hacia el remolque.
- 8) Giro del tubo de conducción para facilitar el llenado del remolque.
- 9) Ajuste de la salida del material para llenar primero la parte trasera y luego la parte delantera del remolque.
- 10) Enganche del remolque.
- 11) Enganche al tractor.

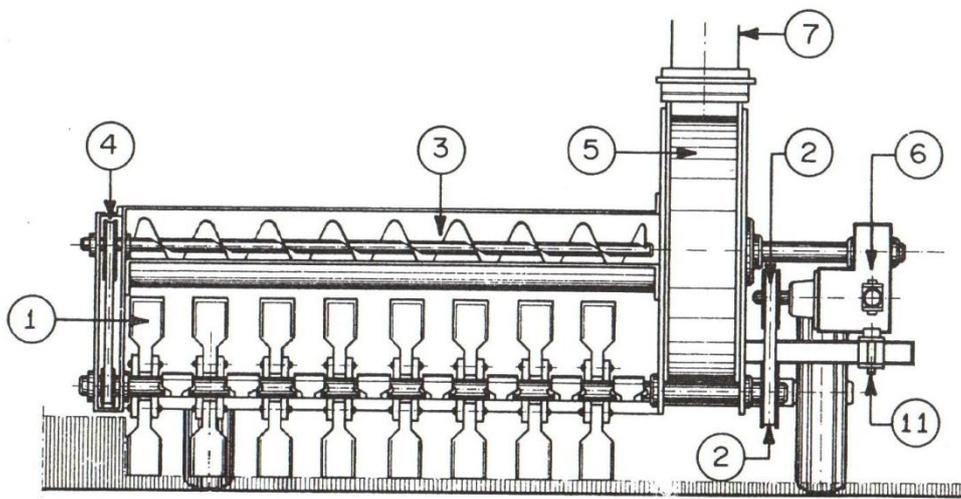
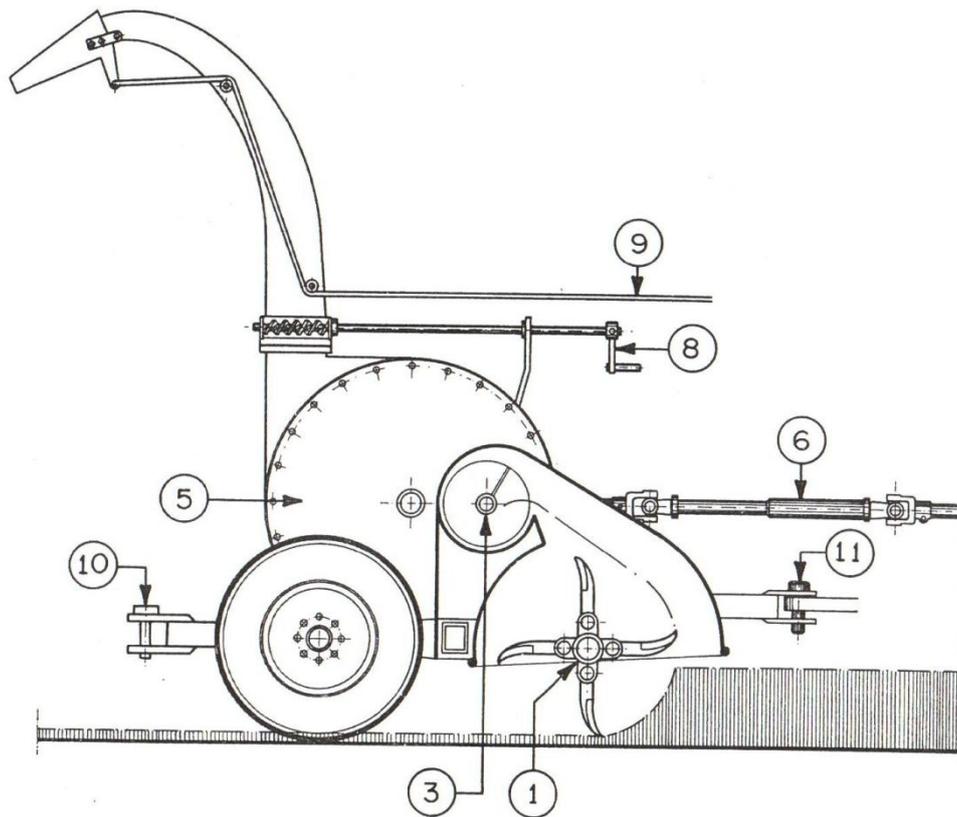


Figura 2.6: Picadoras Sopladoras de Campo de Acción Doble.

El rotor con martillos es un mecanismo adecuado para cortar pastos. Para cosechar y picar el material en pie, como maíz verde y frijoles, y para aplicar material previamente cortado e hilerado, se emplea la picadora-sopladora con aditamentos especiales.

En estos casos, la picadora-sopladora forma la unidad básica de la máquina. A esta unidad de le puede montar tres diferentes aditamentos.

Para cosechar y picar maíz verde, el aditamento consiste en un cabezal con barra de corte y conductores de cadenas para alimentar los tallos hacia la picadora.

Para cosechar y picar cultivos, como frijol, el aditamento consta de una plataforma con una barra de corte, un molinete y un conductor transversal, similar a la plataforma de una cosechadora de granos.

Para recoger material previamente cortado e hilerado, el aditamento consiste en un recogedor y un conductor.

Muchas de estas máquinas son de un diseño tal que se pueden intercambiar los diferentes aditamentos. Estas máquinas tienen la picadora-sopladora ubicada perpendicularmente a la dirección de avance para facilitar el montaje de los aditamentos frente a la entrada de la picadora.

La picadora-sopladora es del tipo con cuchillas radiales, o del tipo con cuchillas axiales. En el último caso, puede tener la sopladora como mecanismo separado, por lo que la máquina efectúa las operaciones de corte, de picado, y de soplado por separado mediante tres mecanismos.

La base del funcionamiento de las máquinas picadoras es un rotor sobre el que van situadas las cuchillas, que pueden ir colocadas radialmente (picadoras de volante), o tangencialmente (picadoras de tambor).

Para nuestro proyecto analizaremos las partes constitutivas de la máquina por separado. Seleccionando las mejores alternativas para armar nuestra máquina picadora de bagazo de caña de azúcar.

2.5 PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MÁQUINA.

Existen varios tipos de máquinas picadoras en el mercado, las cuales difieren en varias de sus partes constitutivas. Para obtener una máquina que cumpla nuestros requerimientos y objetivos propuestos debemos considerar las diferentes opciones y elegir las más adecuadas.

Cada máquina agrícola consta de los siguientes cuatro elementos básicos: [4]

- *Chasis.*- Sobre él se montan todos los otros elementos de la máquina.
- *Elementos de conexión.*- Por medio de estos se unen los elementos entre sí, y con el chasis.
- *Mecanismos de transmisión.*- Por medio de estos se proporciona la fuerza y la potencia, de un lado de la máquina hacia el otro.
- *Mecanismos operativos.*- Son los que ejecutan el trabajo para el que la máquina está programada.

El chasis, los elementos de conexión y los mecanismos de transmisión son contruidos de materiales estandarizados. Sin embargo, los mecanismos operativos tienen su propio diseño y construcción. El mecanismo operativo forma parte de la operación de la máquina. A menudo, el nombre de la máquina se deriva del mecanismo operativo y del nombre del cultivo.

2.5.1 Chasis

El chasis es la parte estructural de la máquina, sobre la cual se montan las demás partes. Puede ser soportado, ya sea, por ruedas u orugas, por patas, por el fondo del arado o por un tractor.

Consta de piezas de acero fundido y de partes de acero prensado. En la construcción del chasis se emplean materiales estandarizados. Estos incluyen planchas, barras, perfiles y tubos. Las partes de formas complicadas se construyen de acero fundido. Las barras planas son ampliamente utilizadas en la construcción del chasis, principalmente en zonas donde se tiene cargas de tensión longitudinal. Son menos convenientes para soportar presiones longitudinales. Los perfiles se usan en la estructura del chasis donde se deben soportar cargas de tensiones y de

presiones longitudinales, así como de flexiones. Los tubos soportan bien las cargas, tanto de tensión y presión, como de torsión. Permiten una construcción simple, fuerte y dan al chasis una forma estética.

Los materiales normalizados son partes de construcción simple, y tienen las siguientes formas:

- a) Barra plana, con una sección de corte rectangular.
- b) Barra cuadrada, con una sección de corte cuadrada.
- c) Barra hexagonal.
- d) Barra redonda.
- e) Tubo, soldado o sin costura.
- f) Perfil en forma de U.
- g) Perfil en forma de T.
- h) Perfil en ángulo, con lados iguales.
- i) Perfil en ángulo, con lados desiguales.
- j) Perfil en forma de T.
- k) Perfilado en frío en forma de U.
- l) Perfilado en frío en forma de ángulo, con lados desiguales.
- m) Perfilado en frío en forma de ángulo, con lados iguales.
- n) Perfilado en frío en forma cuadrada, hueco.
- o) Perfilado en frío en forma rectangular, hueco.
- p) Perfilado en frío en forma rectangular, esquinas redondas.
- q) Perfilado en frío en forma de tubo, redondo.

Dentro del chasis consideramos a la bandeja de alimentación, la estructura que sostiene la máquina y el recubrimiento de la misma.

2.5.2 Elementos de conexión

Los elementos de conexión se pueden dividir en dos grupos:

- a) *Conexiones fijas*.- Son aquellas que no permiten la desconexión de las partes que las integran, ya que estas están unidas por medio de soldadura y/o remaches.

b) *Conexiones desmontables*.- Son las que permiten el desmontaje de las partes que las integran, para su reparación o reemplazo. Este tipo de conexiones se realiza por medio de pernos, muelles de amortiguación y pernos de seguro y de sobrecarga.

Los elementos de conexión pueden ser:

- *Soldadura*.- Es una forma de conexión rápida y fuerte, que es aplicada muy a menudo debido al ahorro de material. Sin embargo, su desventaja radica en que las partes no pueden ser separadas o desconectadas sin dañarlas.
- *Remachado*.- En la actualidad la unión por medio de remaches está prácticamente en desuso, pues es una operación que requiere mucho tiempo y requiere más material.
- *Pernos tuercas y tornillos*.- Estas conexiones son las más conocidas. Permiten una unión desmontable, con una gran variedad de elementos.
- *Chavetas, pasadores y collares*.- Estos elementos se emplean en la conexión de poleas, engranajes, ruedas y volantes sobre ejes.
- *Resortes y muelles de amortiguación*.- Conectan dos partes en forma flexible.

2.5.3 Mecanismos de transmisión

Los mecanismos de transmisión son los encargados de transmitir el movimiento necesario a los distintos elementos de la máquina.

Cumplen una o más de las siguientes funciones:

- Conexión entre ejes
- Transferencia de potencia de un eje al otro
- Cambio de la velocidad de rotación
- Cambio del momento de fuerza, par o torque
- Cambio del sentido de giro
- Sincronización de los movimientos de los ejes

Existen diferentes tipos de transmisión:

2.5.3.1 Transmisión por engranajes

La conexión entre dos engranajes se efectúa mediante los dientes. El paso de los dientes debe coincidir.

Tabla 2.2: Ventajas y Desventajas de la Transmisión por Engranajes

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Variedad de materiales para su construcción. • Un engranaje no metálico facilita el trabajo con una buena lubricación. • Tiene una buena relación de contacto lo que hace que el trabajo sea eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin la lubricación adecuada existirá exceso de fricción, por lo que se incrementan las pérdidas y se deterioran los dientes. • Costo elevado. • Exceso de ruido al trabajar. • Dificultad de reemplazo.

2.5.3.2 Transmisión por cadenas

La transmisión por cadenas se emplea en los casos en que la distancia entre los ejes es tal que el uso de engranajes no resulta práctico. Normalmente, la transmisión por cadenas se aplica entre ejes paralelos que giran en el mismo sentido.

Tabla 2.3: Ventajas y Desventajas de la Transmisión por Cadenas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil. • No se resbala o estira. • Buena capacidad para impulsar cierto número de ejes, desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz. • Permite una sincronización de los movimientos de los ejes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado. • Sin la debida lubricación, se pueden dar fallas en los rodillos y los pasadores. • Se requiere un mantenimiento más agresivo. • Exceso de ruido.

2.5.3.3 Transmisión por correas

La transmisión consta de dos poleas conectadas entre sí por medio de una correa plana o una faja en forma de V. La transmisión de correa tiene un cierto patinaje, que impide su uso en mandos sincronizados. El patinaje puede tener un valor de hasta 5%, lo que depende especialmente del ángulo de contacto entre polea y correa. Este tipo de transmisión es ampliamente utilizado en maquinaria agrícola, donde la distancia entre ejes sea relativamente grande.

Esta transmisión no es adecuada para transferir cargas pesadas a baja velocidad.

Tabla 2.4: Ventajas y Desventajas de la Transmisión por Correas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Funciona como amortiguador. • Trabaja silenciosamente hasta velocidades lineales de 25 m/s. • Facilidad de instalación y reemplazo. • Elevada capacidad de empuje. • Disminuyen el volumen de la máquina. • Bajo costo de mantenimiento. • Son elásticos y de gran longitud, por lo que absorben cargas de choques y vibraciones. • Buena resistencia a la fatiga. • Transmite potencia entre ejes paralelos. • No requieren lubricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite el uso de mandos sincronizados. • Es necesario controlar la tensión en la banda, para evitar su rotura o desalineamiento. • Menor tiempo de vida

.5

.3.4 Transmisión de manivelas, excéntricos y levas

La transmisión por medio de manivelas, excéntricos, bielas y levas cumple la función principal de convertir un movimiento rotativo en un movimiento recíproco, o viceversa.

En maquinaria agrícola se encuentran numerosas aplicaciones de estos tipos de transmisión. Entre estas se destacan, por ejemplo, el mando de la barra de corte de las segadoras, el mando de clasificadoras y de cribas, el mando del émbolo de las empacadoras, los mecanismos recogedores y los mecanismos de las bomba de pistón.

Sin embargo, a pesar de sus amplias aplicaciones tienen la desventaja de un desbalance en su operación, provocado por la inercia del elemento recíproco. Este desbalance aumenta considerablemente con el aumento de la velocidad. Por esto, en el diseño de modernas máquinas agrícolas se trata de reemplazar los mecanismos recíprocos por elementos rotativos. Estos últimos no causan este desbalance, por que provocan solo una fuerza centrífuga, que queda constante durante la operación a una cierta velocidad.

2.5.4 Mecanismos operativos

2.5.4.1 Rodillos de alimentación forzada

Rodillos para la alimentación forzada y uniforme del material.

Los rodillos de alimentación sirven para facilitar la llegada del bagazo de caña de azúcar hacia el elemento picador y a su vez, para controlar la velocidad de alimentación del material a picarse.

En el caso de no contar con estos rodillos, los dos factores antes mencionados deben ser controlados manualmente por el operador.

Para el funcionamiento de estos rodillos se podría aprovechar el eje del motor de la máquina, regulando la velocidad mediante un moto-reductor. Lo que tendría como consecuencia un aumento en la potencia requerida del motor.

2.5.4.2 Rotor picador

El rotor va acoplado a un número de cuchillas que pasan cerca del contrafilo estacionario.

Para este tipo de máquinas tomamos en cuenta dos formas (tipos) de rotores que son:

- a) De volante
- b) De tambor

a) DE VOLANTE

En los rotores *de volante* se utilizan cuchillas radiales, colocadas en el pesado volante de acero. El mismo que puede estar dotado de perforaciones que

permiten el paso del material picado hasta la parte posterior, o sin ellas el material caería a la parte inferior.

Este tipo de rotor es utilizado generalmente para máquinas estacionarias.

Tabla 2.5: Ventajas y Desventajas de un Rotor de Volante

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • La masa del volante es menor que la del rodillo por lo tanto se usa menos material, lo cual reduce costos. • Las cuchillas son rectas, lo cual facilita el afilado de las mismas. • Facilidad de construcción. • Permite regular el ángulo de corte con mayor exactitud. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor cantidad de material picado en función del tiempo. • Menor ángulo de corte.

b) DE TAMBOR

En los rotores *de tambor* el cilindro es ancho, y es mayor a medida que aumenta la potencia de las máquinas, en la superficie se sitúan las cuchillas formando hélices alrededor del cilindro, en número variable.

Tabla 2.6: Ventajas y Desventajas de un Rotor de Tambor

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • El borde cortante de las cuchillas pasa por el contrafilo en una posición algo tangencial. Con esto, se logra un trabajo de picado más uniforme y suave. • El ángulo de corte es mayor. • La longitud de las cuchillas es mayor, con lo cual se puede cortar un mayor número de cañas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad en la construcción. • Dificultad en el afilado de las cuchillas, debido a su forma helicoidal. • Mayor costo de fabricación, por su volumen y mayor número de cuchillas.

2.5.4.3 Expulsor del material picado

Rotor-soplador

Para la salida del material picado se puede aprovechar el mismo rotor picador, adicionado paletas al mismo para que estas soplen el bagazo picado hacia el exterior de la máquina a través de un conducto.

Ventilador

La expulsión del material picado la realiza un ventilador, que generalmente forma parte del propio picador. Los ventiladores se usan para transportar grano y forraje, ya sea horizontal o verticalmente. Se necesita aire a gran velocidad para hacer flotar en el aire el grano y las articularas de forraje. Las velocidades mínimas para algunos cultivos agrícolas se dan en la siguiente tabla.

Tabla 2.7: Velocidades Mínimas del Aire para la Flotación

Material	m/seg	pie/min
Frijoles	30	6000
Maíz desgranado	29	5800
Avena	22	4500
Trigo	30	6000
Pastura picada	20	4000
Ensilaje	30	6000

En general se necesita aproximadamente de 2 a 3 m³ de aire para hacer flotar 1 kg de grano. La energía requerida varía de 0,33 a 0,4 kW.hr/t.

La práctica de ventilación más eficiente consiste en alimentar el material directamente en el ventilador, en donde se da cierto impulso inicial a las partículas. Se debe diseñar una alimentadora de tal modo que no permita la perdida de aire del ducto.

Por gravedad

La recolección del material picado también se lo puede hacer por gravedad, dejando el espacio suficiente debajo del rotor para que el material picado pueda caer libremente hacia un depósito. El vaciado de dicho recolector puede ser manual, o adicionarse a un sistema automático.

CAPITULO III
PARÁMETROS DE LA MÁQUINA

3.1. Determinación de los parámetros de la máquina.

Para iniciar el diseño de la máquina debemos establecer los parámetros funcionales de la misma, como son:

- Elementos constitutivos de la máquina, esquema cinemático.
- Capacidad de picado de la máquina.
- Resistencia al corte del bagazo de caña.
- Velocidad y potencia de corte.

3.2. Selección del tipo de máquina

Metodología del diseño [5]

Tabla 3.1: Lista de posibles características (C) y exigencias (E) de la máquina.

FUNCIONES	
La maquina debe cortar bagazo de caña de azúcar de 1m de largo aproximadamente.	E
Los trozos cortados serán de 0.05m de largo aproximadamente.	E
La máquina picará aproximadamente 1.2 Ton de bagazo de caña de azúcar por jornada de trabajo.	E
ENERGIA	
La energía requerida será suministrada por un motor eléctrico.	E
Pre-alimentación manual hasta los rodillos de alimentación forzada.	C
Minimizar las pérdidas de energía en la transmisión de potencia.	C
SEGURIDAD	
Instrucciones de montaje uso y mantenimiento.	E
Nivel de seguridad suficiente a fin de preservar a las personas y a los bienes, derivados de la instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación de la máquina.	E
ERGONOMIA	
El acceso a los distintos elementos de máquina deberá ser cómodo para las operaciones de mantenimiento montaje y desmontaje.	C
La posición del equipo , controles y banco de trabajo, deben permitir una postura y control correcto	C
El trabajador puede ser sustituido total o parcialmente por otra persona	C
No tener efecto contaminante sobre el medio ambiente	C
FABRICACION	
La máquina deberá ser de fácil ensamblaje.	E
Las piezas que forme parte de la máquina, serán de fácil manufactura y de formas	C

sencillas.	
Los materiales y elementos utilizados deben encontrarse disponibles en el mercado nacional.	C
Los componentes de la máquina deben permitir un ensamblaje y funcionamiento en espacio reducido.	C
Los materiales y elementos se seleccionarán de acuerdo a las exigencias de resistencia y calidad.	E
La máquina deberá tener una buena estabilidad y rigidez.	E
Los elementos móviles de transmisión deben concebirse, construirse y protegerse de forma que prevengan todo peligro de contacto que pueda originar accidentes.	E
La transmisión de las fuerzas se realizará por medio de sistemas mecánicos.	E
SEÑALES	
Contar con señales sonoras y/o visibles para indicar que la máquina se encuentra funcionamiento.	C
Etiquetas de advertencia para la prevención de accidentes.	E
CONTROL	
Se deberá verificar la calidad del material empleado para la fabricación de los elementos de la máquina.	E
Los niveles de ruido producido por la máquina no serán muy elevados.	C
FUNCIONAMIENTO	
La puesta en marcha de la máquina solo será posible cuando estén garantizadas las condiciones de seguridad para las personas que operen la máquina.	C
No generar ruidos molestos para el operador.	C
MANTENIMIENTO	
La máquina deberá estar diseñada para que las operaciones de verificación, regulación, engrase y limpieza se puedan efectuar desde lugares fácilmente accesibles; y sin necesidad de eliminar los sistemas de protección.	C
Las piezas deben ser fácilmente reemplazadas y deben encontrarse en stock en el mercado nacional.	E
Contar con un programa de mantenimiento preventivo.	E

Estructura de funciones

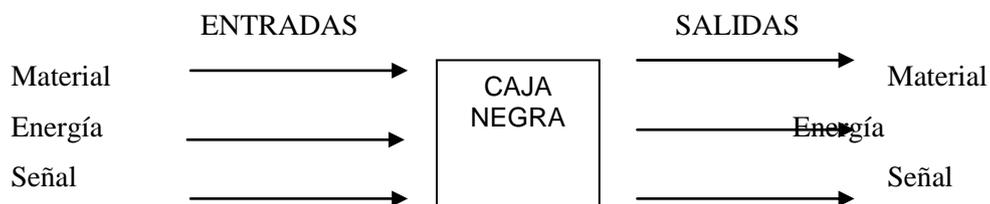


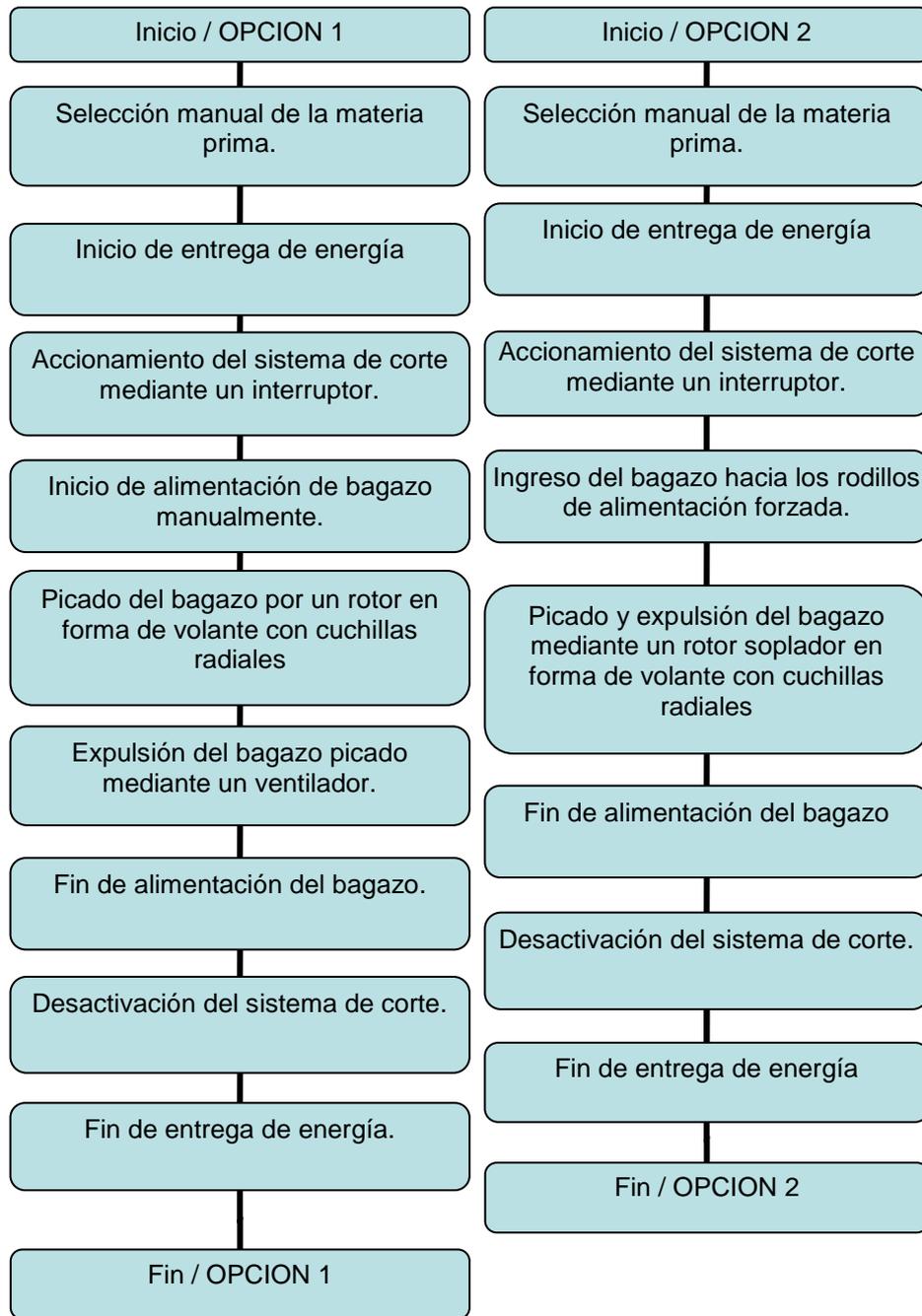
Figura 3.1: Caja Negra

Tabla 3.2: Caja negra.- Entradas y Salidas

	Entradas	Salidas
Materia	Ingreso del bagazo de caña de azúcar en una longitud promedio de 1m.	Bagazo de caña picado en longitudes de 1 cm.
Energía	Proporcionada a la máquina mediante un motor eléctrico.	Producto procesado. Ruido, vibraciones y calor.
Señales	Al iniciar el funcionamiento de la máquina.	Que indiquen que la máquina este funcionando.

Aplicaciones de los sistemas técnicos y sus limitaciones

La máquina utilizará un motor de corriente eléctrica a 110V, puesto que se dispone de dicha energía en el lugar de trabajo. Para lo cual se diseñará una máquina en base a mecanismos eficientes, que aprovechen al máximo la energía entregada. Las siguientes opciones han sido estructuradas en base a los elementos constitutivos que consideramos tienen más ventajas o son más adecuados para nuestro proyecto.



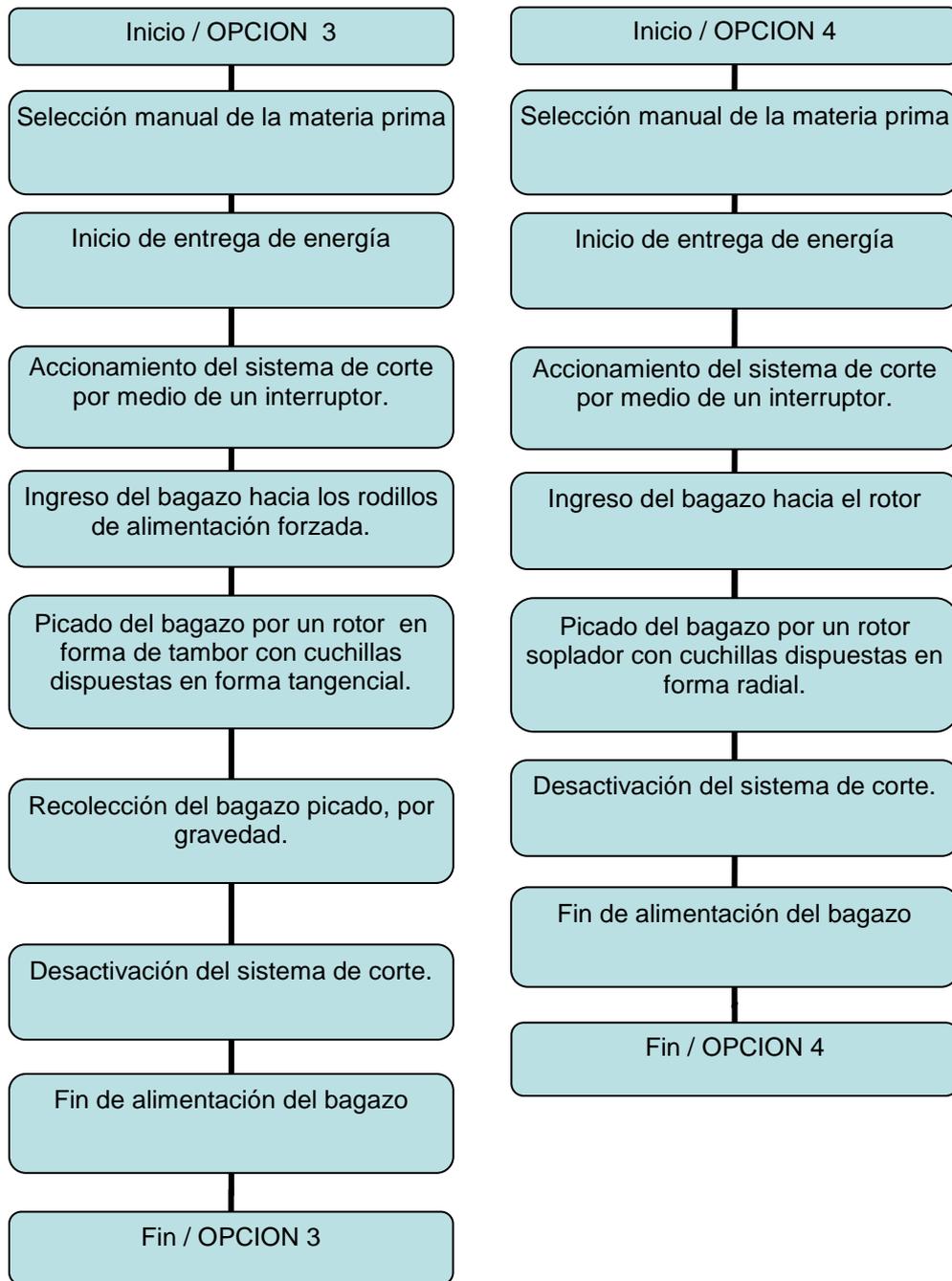


Figura 3.2: Propuestas de estructuras de función.

Matriz morfológica

Tabla 3.3: Matriz Morfológica de la Máquina

1	Sistema de alimentación				
1.1	Atrapar cantidad de bagazo a picar.	Manual	Automática		
1.2	Transporte del bagazo hacia el sistema de corte	Manual	Automático	Gravedad	
1.3	Introducción del bagazo al sistema de corte	Manual	Automático	Gravedad	
2	Sistema de impulsión				
2.1	Energía motriz	Humana	Eléctrica	Eólica	Hidráulica
2.2	Mecanismo motriz	Pedales	Rotor	Molino	Manivela
2.3	Mecanismo de transmisión	Engranajes	Correas	Cadenas	Directa
3	Sistema de corte				
3.1	Elemento de corte	Tornillo sin fin	Cuchilla	Sierra de cinta	
3.2	Cantidad de elementos de corte	Uno	Dos	Más de dos	
3.3	Desplazamiento del elemento de corte	Lineal	Circular radial	Circular tangencial	
4	Sistema de contra-corte				
4.1	Elemento de contra-corte	Cuchilla	Tornillo sin fin		
4.2	Cantidad de elementos de contra-corte	Sin apoyo	Con un apoyo	Con dos apoyos	
4.3	Desplazamiento del elemento de contra-corte	Estático	Lineal	Circular radial	Circular tangencial
5	Sistema de expulsión del producto				
5.1	Impulsor de producto	Neumático	Mecánico	Gravedad	
5.2	Descarga al exterior	Ventilado	Faja transportadora	Expulsión (soplado)	Caída libre

Opción 1

Opción 2

Opción 4

Opción 3

Bosquejo y descripción de propuestas

Opción 1:

El bagazo será seleccionado y transportado manualmente por un operario, del mismo modo será la regulación de la alimentación al sistema de corte. La energía para dicho sistema será proporcionada por un motor eléctrico. En el sistema de transmisión usaremos correas para transmitir la potencia hacia el sistema de picado. El sistema de picado se basará en un rotor de cuchillas dispuestas en forma radial. La expulsión del material picado se lo hará con un ventilador.

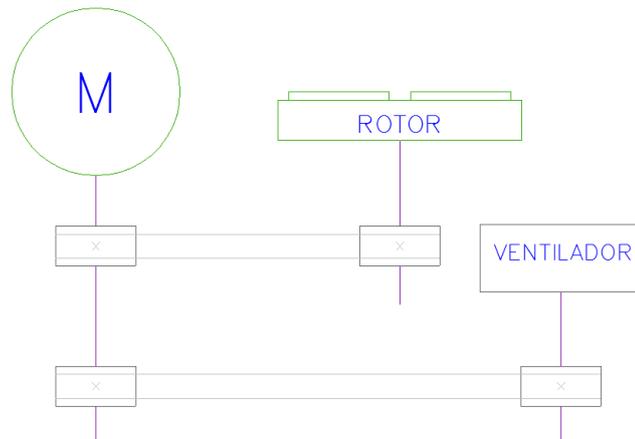


Figura 3.3: Opción 1 de máquina picadora

Opción 2:

El bagazo será seleccionado por el operario y transportado manualmente. El operario guiará el bagazo hacia rodillos de alimentación forzada, para lo cual requerimos de un moto-reductor. La regulación de la cantidad de bagazo será manual. La potencia para el sistema será proporcionada por un motor eléctrico. El sistema de corte consta de un rotor-soplador de varias cuchillas dispuestas en forma radial. La transmisión será por medio de bandas para el eje del rotor.

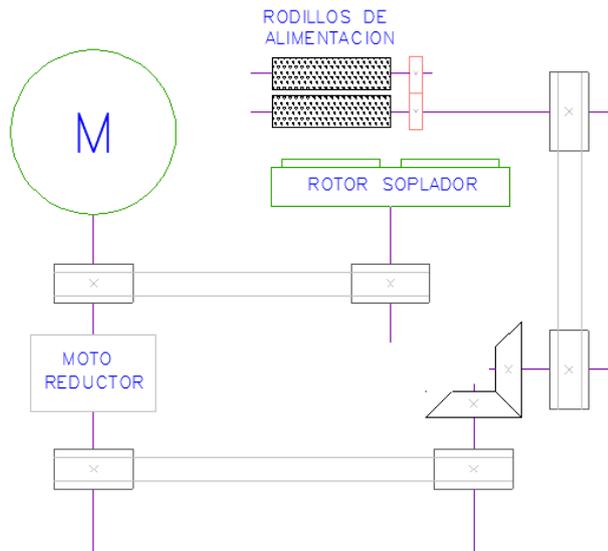


Figura 3.4: Opción 2 de máquina picadora

Opción 3:

La selección y transporte del bagazo será en forma manual, al igual que la regulación de la alimentación. Posee rodillos de alimentación forzada. La potencia es suministrada por un motor eléctrico. El sistema de corte es un rotor en forma de tambor con varias cuchillas dispuestas en forma tangencial. La transmisión será por medio de bandas. La salida del material picado será por gravedad.

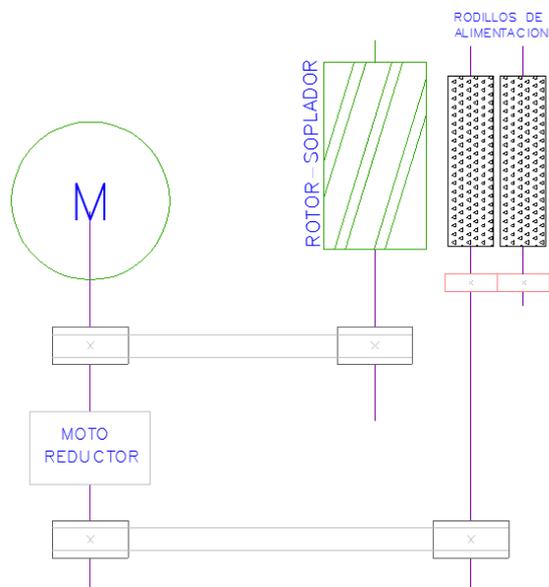


Figura 3.5: Opción 3 de máquina picadora

Opción 4:

El transporte y la selección del bagazo de caña será manual, así como la regulación de la alimentación. La potencia necesaria para el funcionamiento del sistema será suministrada por un motor de corriente eléctrica. El sistema de corte posee un rotor-soplador en forma de volante cuyas cuchillas están dispuestas en radialmente. La transmisión de potencia desde el eje del motor hacia el rotor-soplador es directa.

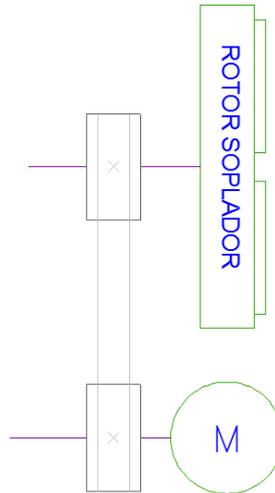


Figura 3.6: Opción 4 de máquina picadora

Evaluación técnico-económica

Una vez detalladas las propuestas es necesario realizar una evaluación técnico-económica de cada una de ellas. En la cual se califican varios aspectos, dependiendo de cómo satisfaga la propuesta siendo 1 malo y 5 excelente. A los puntos de comparación también se les asignará un valor numérico de (1 a 3), dependiendo del grado de importancia que tenga respecto al desarrollo del proyecto, este valor será denominado como factor de influencia, siendo: 1-importante, 2-muy importante y 3-imprescindible.

Tabla 3.4: Evaluación Económica

Evaluación económica							
Puntos de evaluación		Factor de influencia	Puntaje (Pi)				
			Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Proy. Ideal
1	Materiales	2	4	4	4	5	5
2	Fabricación	3	4	3	3	4	5
3	Operación	2	4	4	4	4	5
4	Mantenimiento	2	5	4	4	4	5
5	Producción	3	4	4	4	4	5
TOTAL = $\Sigma (F_i * P_i)$			50	45	45	50	60
Coeficiente económico = P total / Puntaje ideal			83	75	75	83	100

Tabla 3.5: Evaluación Técnica

Evaluación técnica							
Puntos de evaluación		Factor de influencia	Puntaje (Pi)				Proy. Ideal
			Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
1	Seguridad	3	4	4	4	4	5
2	Rendimiento	3	3	4	3	4	5
3	Costo de energía	2	3	4	4	4	5
4	Facilidad de fabricación	2	3	4	3	4	5
5	Ergonomía	2	4	4	4	4	5
6	Accesorios	2	4	4	2	4	5
7	Facilidad de manejo	2	4	4	4	4	5
8	Facilidad de montaje	2	2	4	3	5	5
9	Lubricación	1	3	4	4	4	5
10	Mantenimiento	1	3	4	3	4	5
11	Ruido	1	3	4	4	4	5
TOTAL = $\Sigma (F_i * P_i)$			70	84	72	86	105
Coeficiente económico = P total / Puntaje ideal			67	80	69	82	100

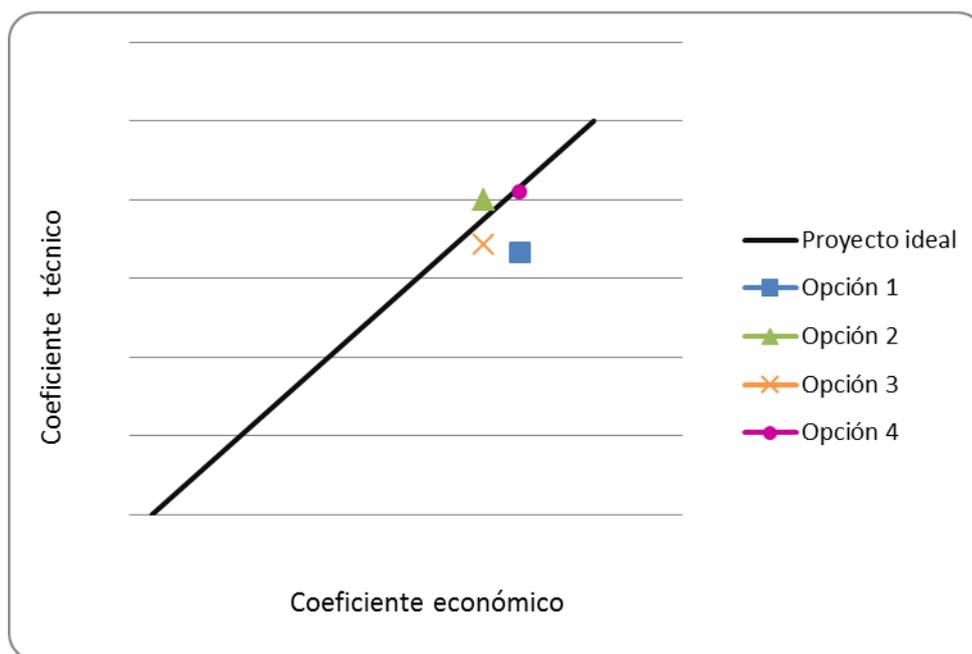


Figura 3.7: Evaluación de Propuestas

La selección más adecuada no solo se basa en el mayor coeficiente técnico y económico, sino también entre el equilibrio que existe entre los dos. Interpretando los datos ponderados en el gráfico se ha determinado que la opción más adecuada para el proyecto es la número 4.

De modo que nuestra máquina consta de las siguientes partes:

- Selección del bagazo de caña en forma manual.
- Introducción manual del bagazo de caña.
- Rotor-soplador en forma de volante con cuchillas dispuestas en forma radial y paletas sopladoras.
- Contra-cuchilla estacionaria con dos apoyos.
- Transmisión directa entre el eje del motor eléctrico y el eje del rotor-soplador.
- Transmisión por bandas entre el eje del motor y el eje del rotor.

3.3. Capacidad de la máquina.

El parámetro fundamental que se requiere para iniciar el diseño de la máquina es la capacidad que tendrá el mismo. En nuestro caso se busca satisfacer una necesidad específica, para lo cual contamos con los siguientes datos:

- *Número de toneladas de caña de azúcar cosechadas cada año: 183 ton/Ha-año.*
- *Número de hectáreas de sembrío de caña de azúcar: 6Ha*

$$183 \frac{\text{ton}}{\text{Ha} - \text{año}} * 6\text{Ha} \approx 1100 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Según pruebas realizadas a la caña de azúcar, pesándola antes y después de extraerle el jugo; y confirmando dicho dato en el Manual del Ingeniero Azucarero, tenemos que el porcentaje de bagazo en la caña es de 25% y el 75% es jugo.

Teniendo en cuenta que el 25 por ciento de la caña de azúcar corresponde al bagazo y que del total de la producción un 35% del mismo será destinado a la alimentación del ganado, tenemos:

$$0.25 * 0.35 * 1100 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \equiv 96.25 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Lo que nos da 96.25 toneladas de bagazo de caña de azúcar, correspondientes al 35% de la producción anual de bagazo.

Asumiendo que se hará trabajar a la máquina 270 días al año, 1 hora diaria, se requiere que la máquina pique aproximadamente *357 kg de bagazo de caña por cada hora.*

3.4. Determinación de la resistencia al corte del bagazo de caña.

Para hallar el valor de resistencia al corte del bagazo de caña, realizamos ensayos de corte en la máquina universal, con la diferencia de que el vástago fue cambiado por una cuchilla plana. Así se trata de simular las condiciones en las que se realizará el corte en

la máquina picadora, para tener valores confiables de la resistencia del bagazo de caña de azúcar.

La caña tiene una parte suave y una parte dura, los cortes se realizaron en la parte dura, teniendo en cuenta que debemos considerar la zona crítica para el diseño, pues en ella la resistencia es mayor. La caña no fue pelada antes de ingresar al trapiche.

El resultado obtenido del ensayo de resistencia al corte es $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ (Anexo 1). Aun que se ha obtenido un valor experimental, no se puede llegar a un valor exacto de resistencia, debido a que no existe mayor información de las propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar. Por ello partimos del valor obtenido en el ensayo.

3.5. Velocidad y potencia de corte.

Velocidad de ingreso de las cañas

Para hallar esta velocidad partimos de la cantidad de bagazo de caña que se debe picar, es decir, la capacidad de la máquina.

El volumen de bagazo de caña de azúcar a picarse a diario corresponde a:

$$V = \frac{C}{\delta} \quad (1)$$

Donde; V = Volumen de bagazo

C = Peso del bagazo en función del tiempo (Capacidad)

δ = Densidad del bagazo de caña de azúcar [6]

$$V = \frac{357 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 1.785 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Teniendo en cuenta que el volumen del bagazo de una caña corresponde al 27.5% del volumen total de la misma (Anexo 2):

Medidas promedio de una caña:

Diámetro en la base : $d = 6 \text{ cm}$

Altura : $h = 250 \text{ cm}$

$$V_c = \frac{3}{4} A.h$$

$$V_c = \frac{3}{4} (\pi * 0.03^2) (2.50) m^3 = 0.005301 m^3$$

$$V_b = 0.005301 m^3 * 27.5\% = 0.00146 m^3$$

V_b = Volumen del bagazo de una caña

El operario ingresará aproximadamente 2 cañas a la vez, por lo que el número de cañas se reduce a la mitad. El número de cañas que corresponde a la cantidad de bagazo a picarse por cada hora es:

$$Cañas = \frac{V}{V_b} = \frac{1.785 \frac{m^3}{h}}{0.00146 m^3} * \frac{1}{2} \approx 612 \frac{Cañas}{h}$$

La alimentación del bagazo de caña hacia el rotor picador es manual, para lo cual es suficiente con un solo operario, el cual debe asegurar un ingreso constante del bagazo para que se cumpla con la cantidad de bagazo picado propuesto.

Para determinar la velocidad de ingreso de las cañas tomamos en cuenta la longitud promedio de la caña que es a su vez la misma del bagazo, pues al ingresar la caña en el trapiche sin pelarla, el bagazo conserva dicha longitud.

$$v_i = \left(\frac{N^\circ Cañas}{h} \right) * L_p = \left(612 \frac{Cañas}{h} \right) * 2,5m = 1530 \frac{m}{h}$$

Es decir; $v_i \approx 42.5 \text{ cm} / s$

Relación entre el numero de revoluciones vs. el número de cuchillas, en el rotor picador.

Las cuchillas estarán dispuestas en el volante de tal manera que corten un centímetro a la vez por cada cuchilla.

Debido a que nuestro volante es rotor soplador hemos decidido colocar 3 cuchillas y 3 paletas sopladoras. Es decir, que cada cuchilla estará a 120° (2.0944 rad).

Mientras más pequeños sean los trozos de bagazo picado mayor será el consumo del mismo por el ganado. Entonces picaremos el bagazo en tramos de 0.5 cm.

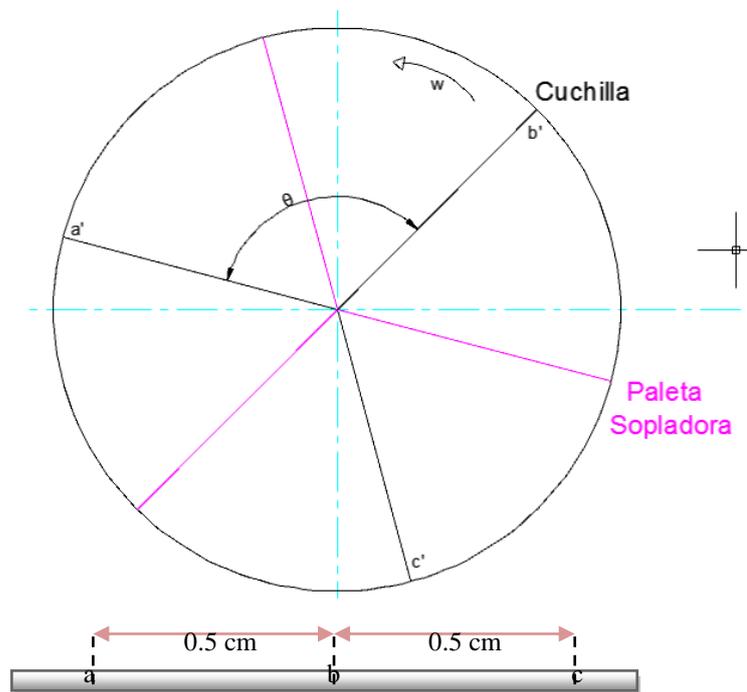


Figura 3.8: Número de Revoluciones vs. Número de Cuchillas

El volante debe recorrer el tramo a'b' en el mismo tiempo que el bagazo de caña recorre el tramo ab, para ello tomamos en cuenta que los tiempos son iguales, tenemos las siguientes ecuaciones:

$$t_{a'b'} = \theta / \omega \quad t_{ab} = e / v$$

$$t_{a'b'} = t_{ab}$$

$$\theta / \omega = e / v$$

Donde;

$$\theta = 1 \text{ rev} / 3 \text{ cuchillas} = 2\pi / 3 = 2.0944$$

$$\omega = \text{velocidad angular}$$

$$e = 1 \text{ cm}$$

$$v = 42.5 \text{ cm} / \text{s}$$

$$\frac{2.0944}{\omega} = \frac{0.5 \text{ cm}}{42.5 \text{ cm} / \text{s}}$$

$$\omega = 178.02 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$N = 1700 \text{ RPM}$$

Diámetro del volante

El ancho del bagazo de la caña después de pasar por el trapiche es de aproximadamente 9 cm, se ingresará dos a la vez. Adicionando 1.5 cm de holgura, a los extremos de las cuchillas, tenemos una longitud de la cuchilla de 19.5 cm. Adicionando a esta el valor del radio de la campana con una holgura adicional, tenemos un diámetro total del volante de 24.5 cm.

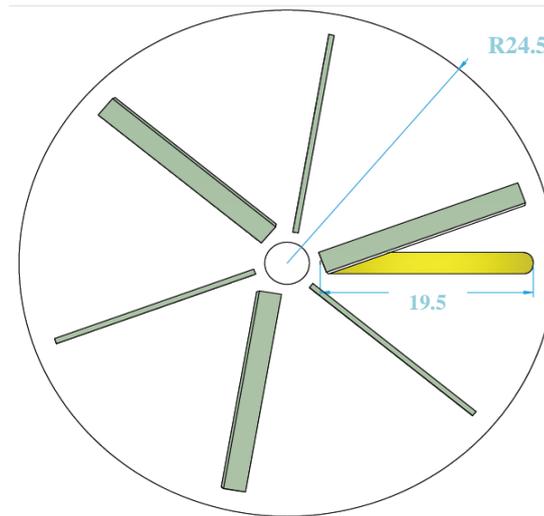


Figura 3.9: Diámetro del Volante

Torque de corte requerido

De las pruebas realizadas en el laboratorio obtuvimos un valor de resistencia al corte de 6 kg/cm^2 . Teniendo en cuenta que ingresará el bagazo de dos cañas a la vez y el área comprimida promedio de bagazo por cada caña es 6.49 cm^2 entonces: el área total de la boca por la cual ingresa el bagazo al volante picador es de $12.5 \times 6.5 = 81.25 \text{ cm}^2$, teniendo en cuenta que el área del bagazo que se tomo en cuenta en los ensayos estuvo comprimida y que dicha área no se llenará por completo durante la alimentación del bagazo; tomamos un 20% del área de la boca de alimentación para motivos de cálculo, en consecuencia:

$$R = \frac{F}{A} \rightarrow F = R.A$$

Donde; F = Fuerza de corte

R = Resistencia al corte del bagazo

$A = \text{Área de corte}$

$$F_c = \left(1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) (2 * 6.49 \text{cm}^2)$$

$$F_c = 12.98 \text{kgf}$$

El radio medio del volante es de 14.75 cm, tomado desde el centro del eje hasta la mitad de la longitud de la cuchilla.

$$T = F_c * r$$

$$T = (12.98)(0.1475) \text{kgf.m}$$

$$T = 1.91 \text{kgf.m}$$

Potencia de corte

Calculamos la potencia de corte en función del torque requerido y la velocidad angular del volante.

$$P_c = T * N$$

$$P_c = \frac{(1.91 \text{kgf.m}) * (1700 \text{RPM})}{726.24}$$

$$P_c = 4.5 \text{hp}$$

Entonces $P_c = 4.5 \text{hp}$ es el valor de la potencia mecánica necesaria en el eje del rotor para realizar el corte.

CAPITULO IV
DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA MAQUINA

4.1. Sistema de alimentación

El bagazo de caña de azúcar se colocará sobre la bandeja, la cual está dispuesta en forma horizontal, con una ligera inclinación, de tal manera que facilite el ingreso del bagazo de caña hacia el rotor picador.

Bandeja de alimentación:

La forma de la bandeja de alimentación deberá asegurar el ingreso adecuado del bagazo hacia el rotor picador, para lo cual se toma una inclinación en la bandeja de 10° de modo que se aproveche el peso del bagazo en la alimentación.

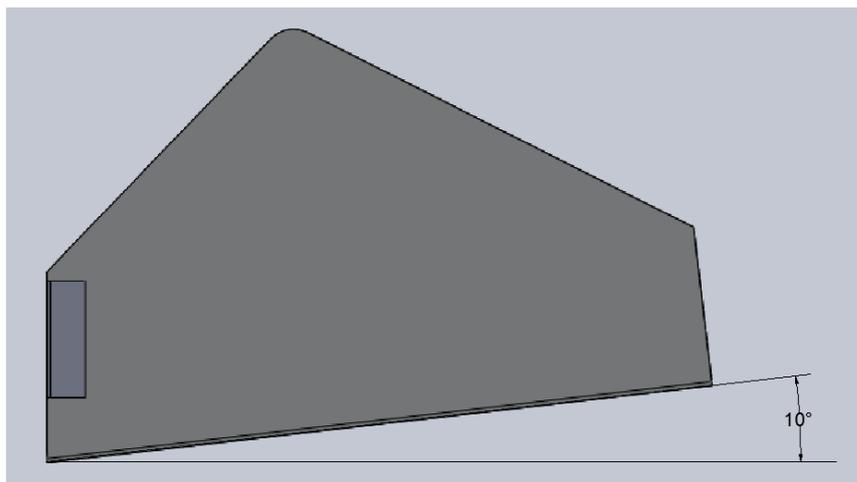


Figura 4.1: Inclinación de la bandeja de alimentación

Una tolva está diseñada de modo que es más amplia en la entrada y estrecha a la salida, esto asegura una alimentación uniforme, por lo que se toma este parámetro como base para que la forma de la bandeja de alimentación sea similar a una tolva de alimentación horizontal. El largo de la bandeja se establece en base al largo del bagazo de la caña, la longitud promedio de una caña es de 2.5 m, la cual al pasar por el trapiche pierde su forma y se fracciona por lo que el bagazo de caña, en su mayoría, se encuentra en longitudes inferiores a 1m; por ello consideramos que la longitud de la bandeja no debe superar este valor.

El largo de cada cuchilla es de 19.5 cm, por lo que la boca de ingreso del bagazo hacia el rotor picador tendrá 13cm de largo por 6.5 de alto, esto es para evitar que exista espacios donde la cuchilla no corte al bagazo.

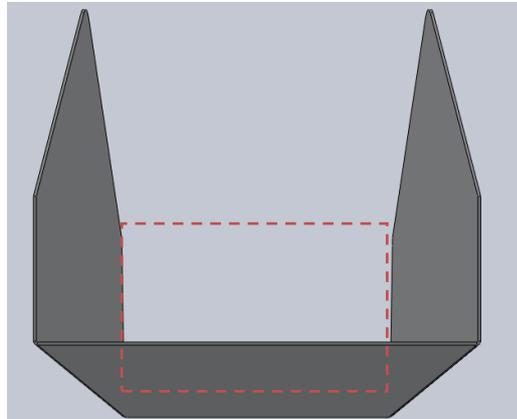


Figura 4.2: Boca de alimentación del bagazo de caña de azúcar

En la parte superior de la bandeja de alimentación está semicubierta, esto sirve para disminuir el efecto de flexión que se produce en el bagazo al contacto con las cuchillas durante el corte.

Para hallar una altura adecuada a la cual colocar la bandeja de alimentación de modo que la alimentación del bagazo se torne cómoda para el operario nos guiamos en el *Anexo 9*, del cual tomamos $h = 1m$, dicha altura se mide desde la base de la máquina picadora (suelo) hasta el extremo externo de la bandeja de alimentación para que el operario no se esfuerce excesivamente durante el proceso de alimentación del bagazo de caña de azúcar.

El material de la bandeja debe ser resistente, pues debido a la humedad que el bagazo de caña tiene se crea un ambiente corrosivo. Y el clima donde va a trabajar esta máquina es húmedo. No debe tener mayor resistencia mecánica, pues el bagazo es liviano. Con estas observaciones tenemos:

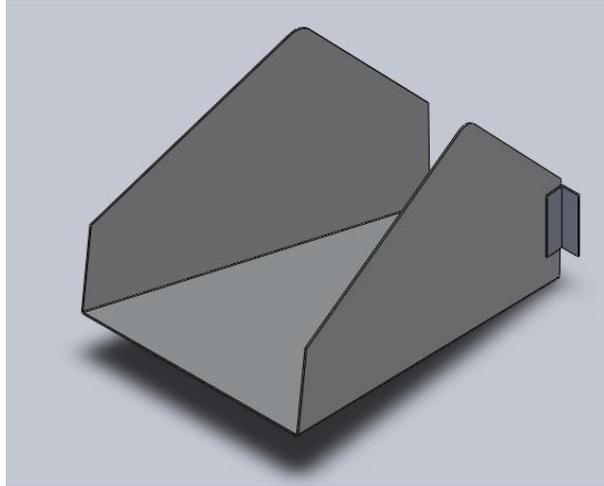


Figura 4.3: Bandeja de alimentación

4.2. Cortador

4.2.1. Rotor

Tendremos 3 cuchillas dispuestas en forma radial, las cuales deben cortar el bagazo de caña en tramos de 0.5 cm.

Serán 3 paletas sopladoras, las cuales deben cubrir un barrido del espacio total entre el chasis y el rotor. De modo que el largo de las paletas será de 20cm, que es igual al radio del volante menos el espacio que ocupa el radio de la manzana en el centro del volante.

Las paletas serán fijadas al volante mediante soldadura, pues no hay necesidad de que las mismas sean removibles. Mientras que las cuchillas estarán unidas al volante por medio de pernos, para facilitar el mantenimiento, pues se prevee la necesidad de afilar o cambiar las cuchillas en el futuro.

Una vez establecido en número de cuchillas y paletas sopladoras, debemos hallar las dimensiones adecuadas del volante, las cuales establecemos en función de la Energía Cinética y la Inercia del mismo.

[8] Se debe tener en cuenta que la densidad del material afecta tanto a la energía cinética como a la tensión del material, porque ambas son función de la masa y

del cuadrado de la velocidad. Por lo tanto, un material de alta densidad no es necesariamente mejor para un volante, su energía cinética máxima depende tanto de la masa como de la resistencia.

Se usa la ecuación que rige los parámetros variables sobre volantes:

$$I = \frac{\Delta E}{C_s * W^2}$$

Siendo:

I = Momento de inercia del volante

$\Delta E = E_2 - E_1$ = Variación de energía cinética

C_s = Coeficiente de fluctuación de velocidades

W = Variación de energía

El coeficiente de fluctuación de velocidades depende del tipo de máquina, el valor adecuado depende de la decisión del ingeniero basado en la experiencia.

Se toma un valor de $C_s = 0,8$, Anexo 7.

El volante es un elemento giratorio que actúa como depósito de energía cinética, que está dada por la fórmula:

$$\Delta E = \frac{1}{2} * I * W^2$$

El material del que estará hecho en volante es AISI 1045 y el diámetro del volante se estableció en 49 cm. Estos son los únicos datos que se conoce para el diseño del volante, por lo cual se usa un método iterativo imponiéndose distintos espesores para el cálculo de la masa:

Tabla 4.1: Variación de la energía cinética

Espesor	Volumen	Masa	Inercia	ΔE
e (m)	m³	m (kg)	I (kg*m²)	(kgf*m)
0,004	0,00074	5,800	0,174	12,624
0,006	0,00111	8,701	0,261	18,936
0,008	0,00148	11,601	0,348	25,247
0,010	0,00185	14,501	0,435	31,559
0,012	0,00222	17,401	0,522	37,871

0,014	0,00259	20,301	0,609	44,183
0,016	0,00296	23,202	0,696	50,495
0,018	0,00333	26,102	0,783	56,807
0,020	0,00369	29,002	0,870	63,118

Se toma el valor de 12mm de la tabla, en referencia a que se requiere 1.91 kgf.m de torque para realizar el corte de la caña. El valor de torque con el que va a trabajar la máquina debe superar el valor requerido para el corte, además durante el arranque se requiere de una potencia mayor, por ello definimos el espesor del volante inercial en $\frac{1}{2}$ ", pues en el mercado se encuentra planchas de acero de esta dimensión.

El volante debe tener aberturas que permitan pasar al bagazo de caña de azúcar para que el mismo sea picado.

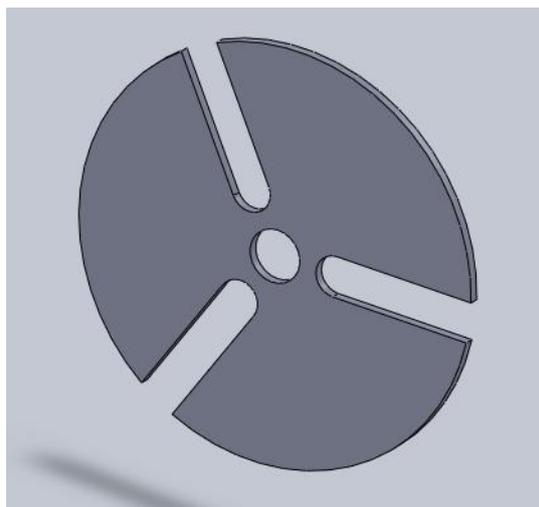


Figura 4.4: Base del volante de inercia

4.2.2. Cuchillas

Las cuchillas tendrán una forma que permita fijarlas al volante por medio de tornillos y una inclinación que asegure el corte del bagazo de caña en las dimensiones establecidas.

Para el diseño del filo de las cuchillas nos basamos en el funcionamiento del cizallado, el cual se evidencia en el esquema de la Figura 4.5. Donde los elementos son los siguientes:

- 1) Cuchilla
- 2) Bagazo
- 3) Contra cuchilla

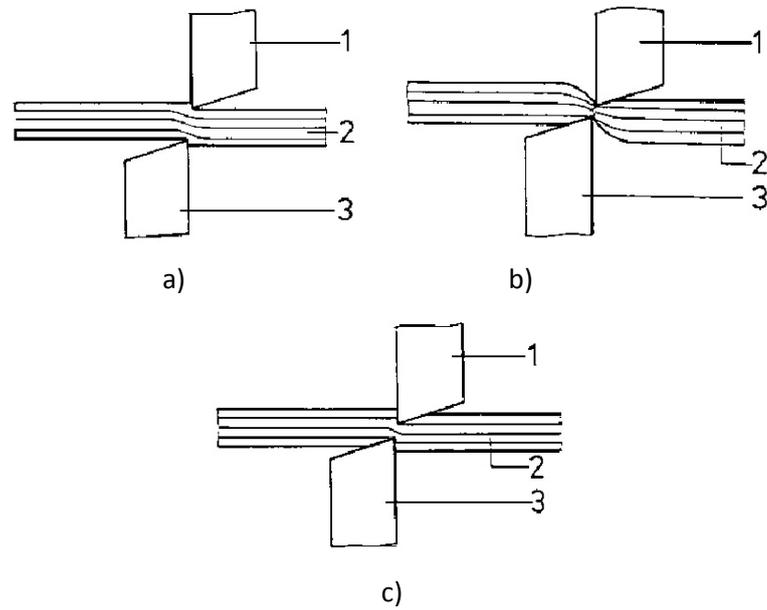


Figura 4.5: Funcionamiento del cizallado
a) Entallar, b) Corte y c) Desgarre.

El ángulo de corte de la cuchilla es de 21° . El cual permite que se realice el cizallado entre la cuchilla y la contra cuchilla.

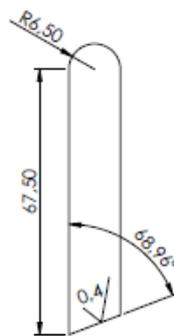


Figura 4.6: Ángulo de corte de las cuchillas.

Se ha dispuesto que se fije mediante tornillos para que las cuchillas puedan ser cambiadas cuando se requiera y afiladas de igual manera, de modo que se facilite el mantenimiento de la máquina.

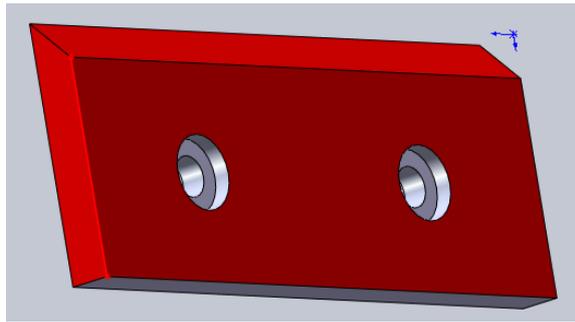


Figura 4.7: Cuchilla y contra cuchilla.

4.2.2.1. Espesor

Para determinar el espesor de las cuchillas tomamos en cuenta la fuerza de corte requerida para el bagazo de caña de azúcar que es igual a 12.98 kgf.

Las dimensiones de largo y ancho de las cuchillas quedaron establecidas de la siguiente manera:

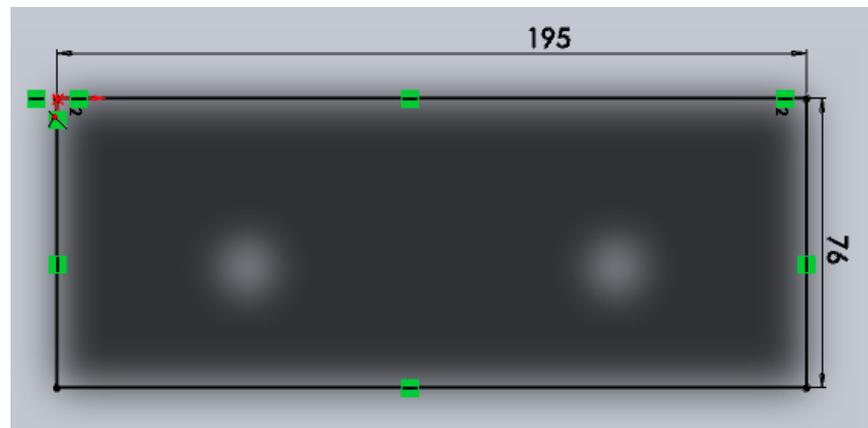


Figura 4.8: Dimensiones de la cuchilla

Utilizando la teoría del esfuerzo cortante máximo, se tiene:

$$S_{sy} = 0.577 S_y$$

$$S_{sy} = 0.577 \left(235 * 10^6 \frac{N}{m^2} \right)$$

$$S_{sy} = 135.6 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Con un factor de seguridad de 5, el esfuerzo cortante máximo será:

$$\tau_{\max} = \frac{S_{sy}}{n}$$

$$\tau_{\max} = \frac{135.6 * 10^6 \frac{N}{m^2}}{5}$$

$$\tau_{\max} = 27 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{Fc}{A} = \frac{Fc}{h * e}$$

$$e = \frac{Fc}{h * \tau_{\max}}$$

$$e = \frac{1525 N}{0.076m * 27 * 10^6 * \frac{N}{m^2}}$$

$$e = 0.8mm$$

El espesor de diseño nos indica un valor muy pequeño, por lo cual en base a la dureza de la caña establecemos el mismo en $\frac{1}{2}$ ".

4.3. Sistema de transmisión por correa abierta

El sistema de transmisión inicia con el motor eléctrico, que es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina.

4.3.1. Selección del motor

Potencia corregida

Para hallar la potencia de diseño se debe multiplicar la potencia calculada por un factor de servicio. Esto se lo hace para prevenir fallas debido a golpes, vibraciones o tirones; dicho factor aumenta la potencia a transmitir para obtener la potencia de diseño que considera las características de trabajo de la máquina y el motor utilizado.

$$P_D = C_1 * P_c$$

Obtenemos el valor de $C_1 = 1$ de la Tabla del *Anexo 4*, sabiendo que se trata de una máquina picadora y que trabajará con un motor eléctrico con carga ligera.

$$P_D = 1 * 4.5 Hp$$

$$P_D = 4.5 Hp$$

El motor se lo selecciona en función de la potencia requerida y el número de revoluciones por minuto. Para hallar la potencia del motor eléctrico, además de considerar el factor del sistema de transmisión, se debe tener en cuenta la eficiencia del mismo; pues estos dos parámetros afectan la potencia que se transmite desde el motor hacia el rotor.

$$P_m = \frac{P_D}{n_m}$$

Donde;

P_m = Potencia del motor

$N_M = 0.923$ Eficiencia del motor [7]

$$P_m = \frac{4.5 hp}{0.923}$$

$$P_m = 4.88 hp$$

Se requiere de un motor de $4.88 hp$ y $1700 RPM$, al aproximar los valores calculados a los que se encuentran en el mercado se tiene un motor de $5 hp$ y $1745 RPM$.

4.3.2. Selección de bandas

Como parámetros base para la selección del sistema de transmisión se tiene un número de revoluciones por minuto del motor eléctrico igual a $1745 RPM$ y para el eje del rotor picador de la máquina se requieren $1745 RPM$ y el valor de la potencia de diseño es de $4.5 hp$.

Entonces;

$$P_D = 4.5Hp$$

$$N_1 = 1745 RPM$$

$$N_2 = 1745 RPM$$

Con los valores de la potencia de diseño (*hp*) y la velocidad de la polea pequeña (*RPM*), se determina que el perfil de la correa es tipo A, dato obtenido en el gráfico del *Anexo 5*.

4.3.2.1. Relación de transmisión (*k*)

Para un sistema de transmisión por bandas o correas, la relación de transmisión no debe exceder 6:1.

$$k = \frac{N_1}{N_2}$$

$$k = \frac{1745}{1745} = 1$$

4.3.2.2. Diámetros primitivos de las poleas (*D*₁ y *D*₂)

Para la selección del diámetro primitivo de la polea menor se utilizará como guía las tablas *a* y *b*, ubicadas en el *Anexo 6*. La tabla *a* indica un parámetro basándose en la potencia y la velocidad angular, del cual se obtiene un diámetro primitivo $D_1 = 7.62\text{ cm}$ (3 plg). La tabla *b* en cambio basa su elección en el ángulo de garganta y el tipo de perfil de la correa, dando como resultado un rango de posibilidades para D_1 de $\geq 125\text{ mm}$.

Con estas bases podemos definir nuestro diámetro primitivo de la polea menor en $D_1 = 17.78\text{ cm}$ (7 plg).

Se calcula D_2 en función de la relación de transmisión y el diámetro de la polea menor:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$D_2 = k * D_1$$

$$D_2 = 1 * 17.78\text{ cm} = 17.78\text{ cm}$$

4.3.2.3. Distancia entre ejes (I)

Se debe establecer la distancia entre ejes para determinar la geometría de la máquina, considerando los límites que dicen que la distancia entre centros no debe exceder de 3 veces la suma de los diámetros de las poleas, ni ser menor que el diámetro de la polea más grande; es decir:

$$D_2 \leq I \leq 3(D_1 + D_2)$$
$$17.78cm \leq I \leq 3(17.78 + 17.78)cm$$
$$17.78cm \leq I \leq 106.68cm$$

En este caso no se tiene un valor de I preestablecido o limitado, por lo que el valor mínimo se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$I \geq \frac{(k+1)D_1}{2} + D_1 \quad (cm)$$
$$I \geq \frac{(1+1)*17.78}{2} + 17.78 \quad (cm)$$
$$I \geq 35.56cm$$

El valor mínimo de la distancia entre ejes es de 35.56cm, por la configuración de nuestra máquina establecemos el valor de I en 64cm.

4.3.2.4. Longitud primitiva de la banda

Se debe hallar la longitud primitiva de la banda para el sistema de transmisión, en función de la distancia entre ejes y los diámetros de las poleas.

$$L = 2I + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4I} \quad (mm)$$
$$L = 2I + 1.57(177.8 + 177.8) + \frac{(177.8 - 177.8)^2}{4I} \quad (mm)$$
$$L = 2(640) + 1.57(177.8 + 177.8) \quad (mm)$$
$$L = 1838.3 \quad (mm)$$

Hoy en día se tiene la facilidad de comprar la banda en cualquier tamaño deseado, de modo que no es necesario ubicar una banda fabricada a nuestras necesidades.

4.3.2.5. Arco de contacto

El arco de contacto se calcula de acuerdo al tipo de transmisión, en nuestro caso es de banda abierta, para lo cual se tiene;

$$\Gamma = 180 - 57 \frac{D_2 - D_1}{I}$$

El arco de contacto de la p Polea más pequeña no debe ser menor de 120°. Para este caso la relación de transmisión es de 1, por lo que se elimina el segundo término de la fórmula y se tiene un ángulo de contacto de 180°.

4.3.2.6. Potencia transmisible por banda

$$P_a = (P_b + P_d) * C_\Gamma * C_I$$

P_b es la potencia en CV que la banda transmite en hipotéticas condiciones de trabajo, que son: $k = 1$, $D_1 = D_2$, $\Gamma = 180^\circ$ y longitudes primitivas estándar.

P_d es la prestación diferencia en CV, esta es mayor que P_b pues en condiciones reales puede ser que k sea diferente de 1.

Con estos valores se calcula la prestación actual P_a , que será la potencia en CV que puede transmitir la banda en condiciones reales.

De la tabla del Anexo 12, obtenemos los valores de P_b en función de N y D_2 , y P_d en función de N y k . Y en las tablas del Anexo 8, los valores de C_Γ y C_I , respectivamente.

$$P_a = (3.9 + 0)(1)(1.0) \text{ CV}$$

$$P_a = 3.9 \text{ CV} = 3.84 \text{ HP}$$

4.3.2.7. Determinación del número de bandas

Para determinar el número de bandas se usa la siguiente fórmula:

$$N_b = \frac{4.5}{3.84}$$

$$N_b = 1.17$$

En este caso se obtiene un valor menor a 5, en cuyo caso si la parte decimal del cociente es menor del 10% se toma el entero; si sobrepasa el 10% se toma el entero superior. Se requiere dos bandas.

4.3.2.8. Velocidad de la banda

La velocidad tangencial de la banda está dada por:

$$V = \frac{0.052 * D_2 * N_2}{1000} \left(\frac{m}{s} \right)$$

D_2 en mm y N_2 en RPM.

$$V = \frac{0.052 * 177.8 * 1745}{1000} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$V = 16.25 \left(\frac{m}{s} \right)$$

La velocidad V no debe sobrepasar en caso extremo los 30 m/s.

Para las correas se debe tener en cuenta:

- Las correas con el tiempo se estiran por ello hay que prever que la distancia entre centros sea ajustable, por ello la base del motor estará hecha con huecos chinos.
- La longevidad de las bandas está entre 1000 hasta 5000 horas. En función del tiempo previsto de trabajo de la máquina, estas deben cambiarse cada 3 años.
- La velocidad periférica debe estar en el rango de 5 a 25 m/s.
- Las poleas deben balancearse dinámicamente para velocidades superiores a 25 m/s.

4.3.3. Selección de las poleas

Los diámetros de las poleas ya han sido elegidos, las poleas pueden fabricarse o seleccionarse de un catálogo; en este caso se pedirían poleas de 7" de diámetro, doble canal para bandas tipo A.

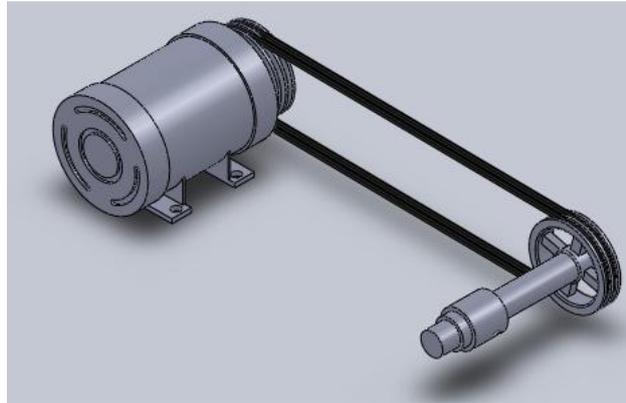


Figura 4.9. Sistema de transmisión

4.3.4. Tensiones en las poleas

Polea motriz

La velocidad de la banda es $V = 16.25 \left(\frac{m}{s} \right)$

Mientras que las tensiones están dadas por la siguiente fórmula:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\theta}$$

Donde: F_1 = Fuerza en el lado tenso

F_2 = Fuerza en el lado flojo

f = Coeficiente de fricción

θ = Ángulo de contacto

El coeficiente de fricción se obtiene de la tabla del *Anexo 9*, $f = 0.4$ y el ángulo de contacto es de 180° .

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{(0.4)(3.1416)}$$

$$F_1 = 3.51 F_2$$

Con la fórmula de la potencia se tiene:

$$P = F.V$$

$$P = \frac{(F_1 - F_2) * (V)}{746}$$

P en HP y V en m/s.

$$5 = \frac{(F_1 - F_2) * (16.25)}{746}$$

$$F_1 - F_2 = 229.54N$$

Realizando un sistema de ecuaciones:

$$F_1 = 91.45 N$$

$$F_2 = 320.99N$$

Torque producido en la polea

$$T = F.R$$

$$T = \frac{(F_1 - F_2) * D}{2}$$

$$T = \frac{(320.99 - 91.45) * 0.1778}{2}$$

$$T = 20.41 N.m$$

Polea conducida

Debido a que el ángulo de contacto es de 180° en cada polea, pues la relación de transmisión es de 1, se conservan los valores de fuerza de la polea motriz en la polea conducida.

$$F_1 = 91.45 N$$

$$F_2 = 320.99N$$

4.4. Eje del rotor.

El material del eje es acero AISI 1020 Laminado en frío, cuyas características son:

$$\text{Resistencia a la fluencia } S_y = 37 \text{ kpsi} = 2606.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

$$\text{Resistencia a la tensión } S_{ut} = 68\text{kpsi} = 4792.1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Se tiene un bosquejo de los elementos que irán montados en el eje del rotor, que son: el volante, una polea y dos chumaceras. Donde se tienen las siguientes fuerzas:

$$W_v = 25\text{kg}$$

$$F_c = 155.6\text{kg}$$

$$W_p = 4\text{kg}$$

En los siguientes gráficos se muestran cómo actúan estas fuerzas sobre el eje en los distintos planos:

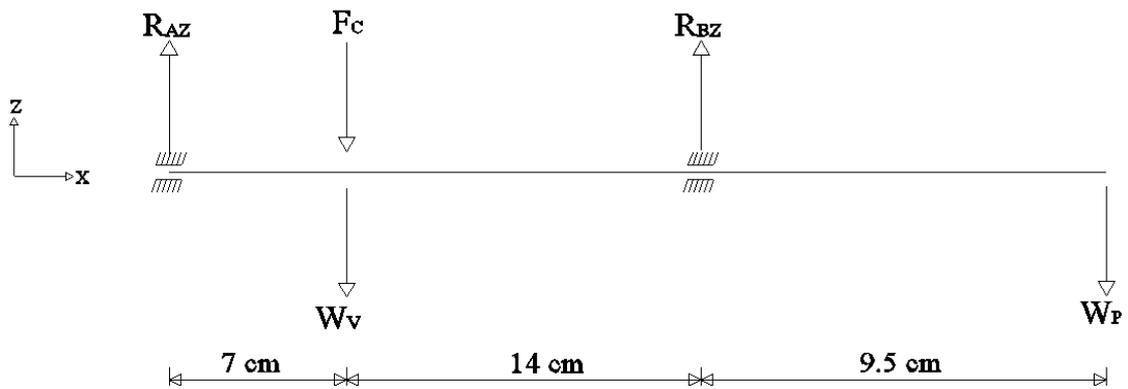


Figura 4.10: Diagrama de fuerzas en el plano XZ.

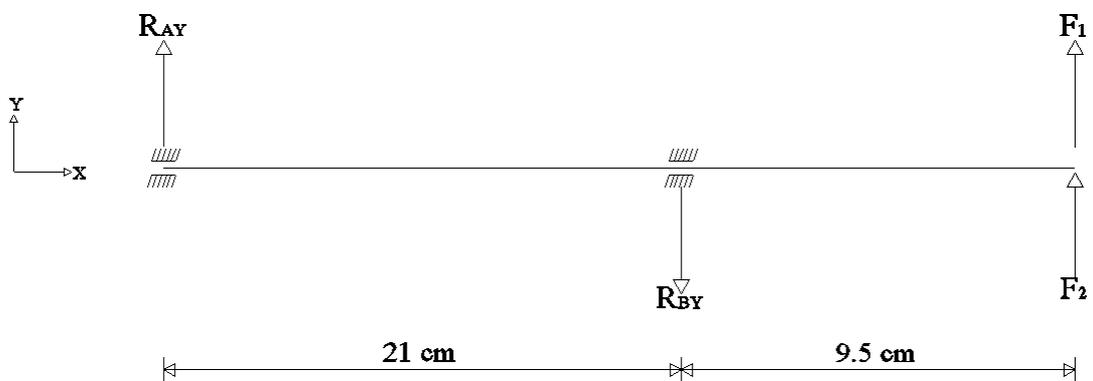


Figura 4.11: Diagrama de fuerzas en el plano XY.

De donde se obtienen las siguientes fuerzas:

$$R_{AY} = 19.02kg$$

$$R_{BY} = 61.08kg$$

$$R_{AZ} = 118.6kg$$

$$R_{BZ} = 66.01kg$$

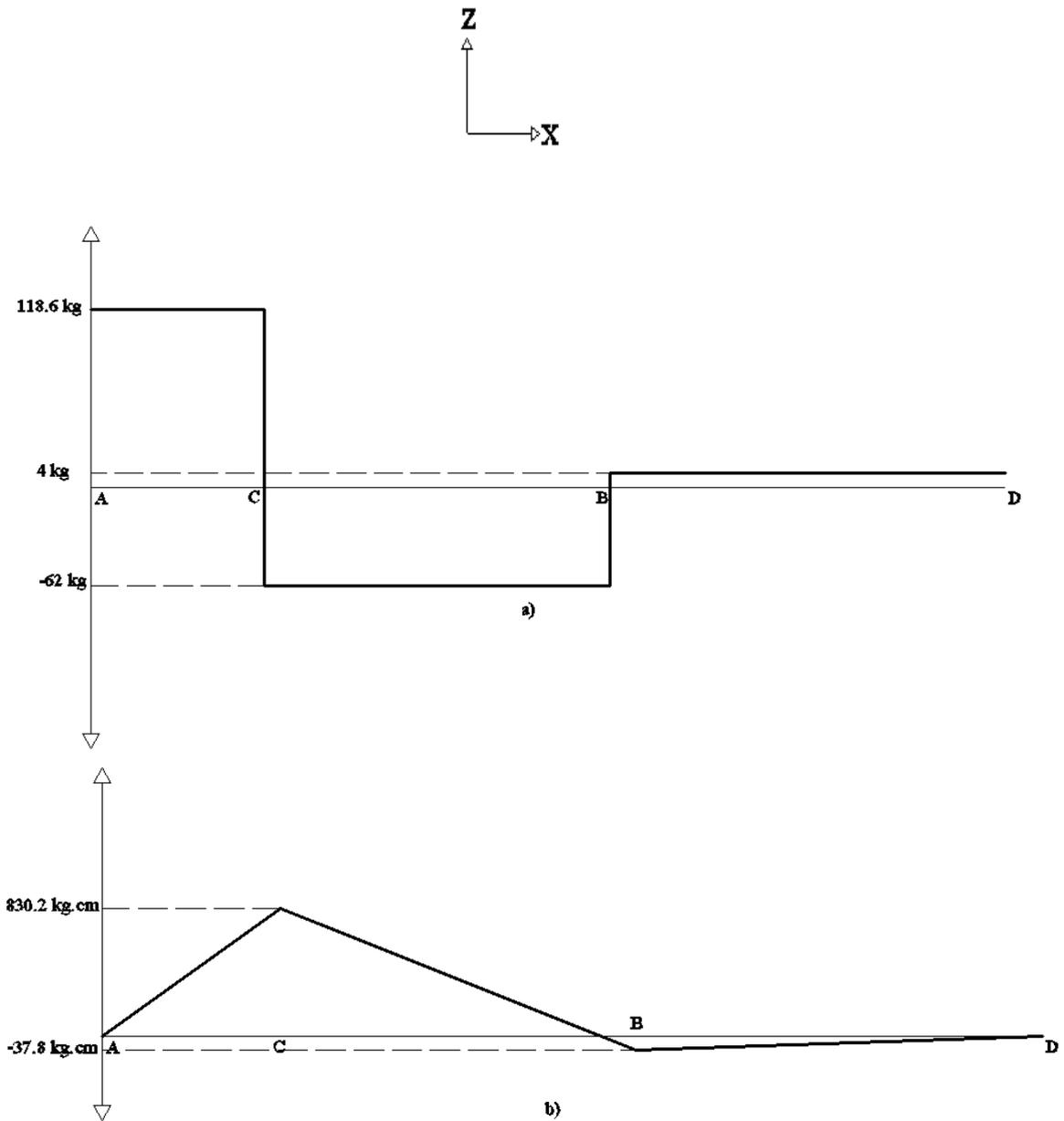


Figura 4.12: a) Diagrama de fuerzas cortantes y b) Diagrama de momentos flectores en el plano ZX.

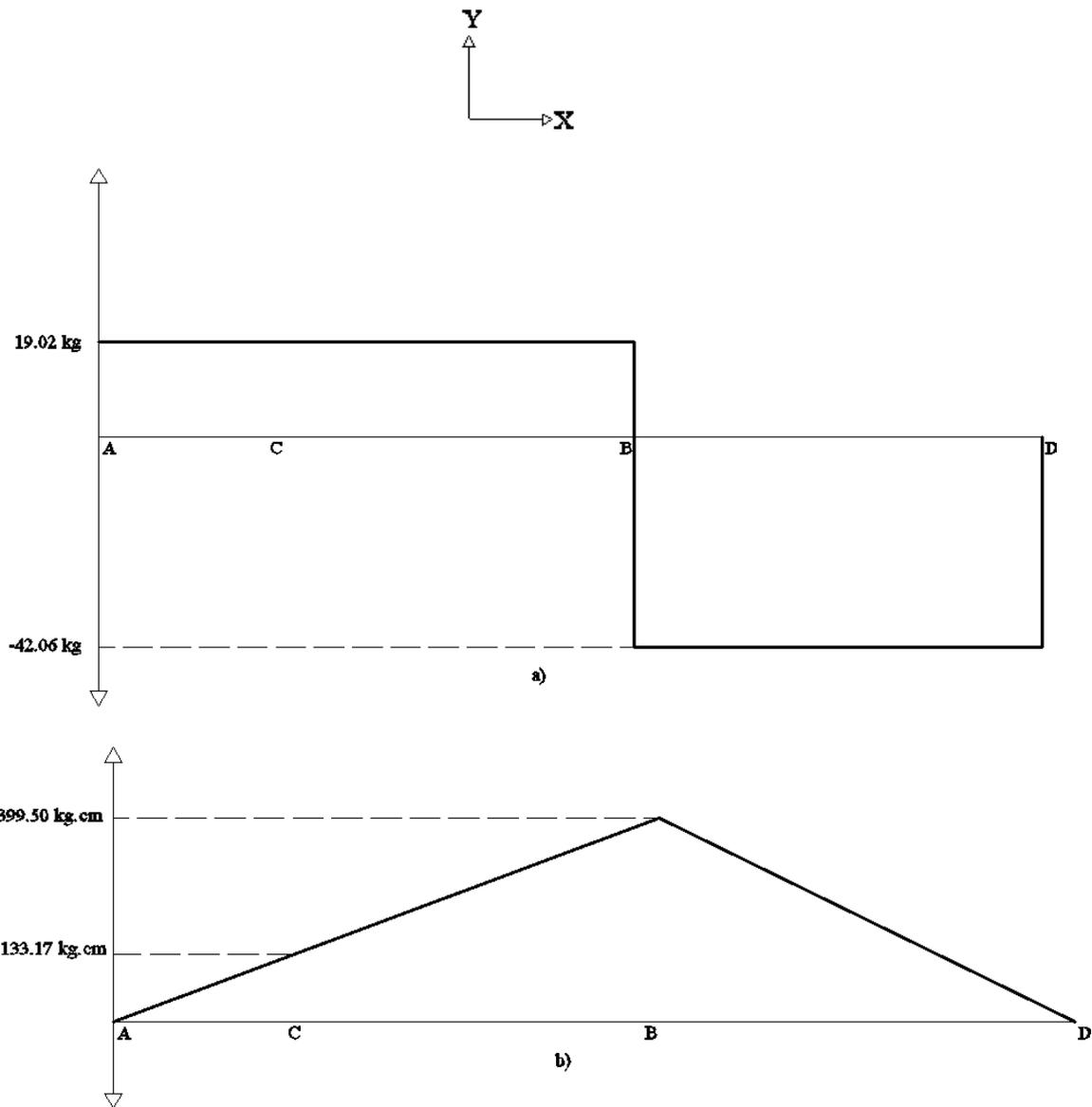


Figura 4.13: a) Diagrama de fuerzas cortantes y b) Diagrama de momentos flectores en el plano YX.

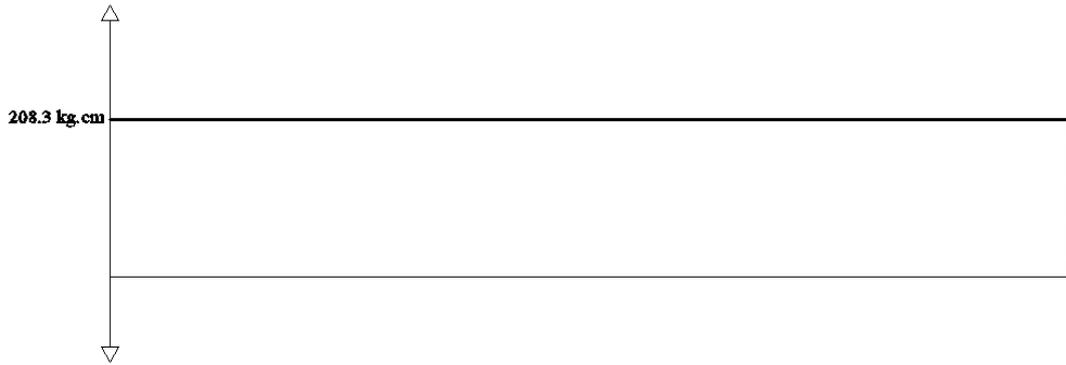


Figura 4.14: Diagrama de torque en el eje

De los diagramas de momentos se obtiene los momentos en los puntos críticos, los cuales son B y C:

$$M_B = 401.3 \text{ kg.cm}$$

$$M_C = 840.81 \text{ kg.cm}$$

El punto que está expuesto a mayor flexión es C.

El esfuerzo de flexión es:

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi.D^3}$$

Dónde:

D = diámetro del eje = 1plg = 2.54 cm

M = momento flector máx. = 840.81 kgf.cm

$$\sigma_f = 522.64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo por torsión es:

$$\tau_f = \frac{16T}{\pi.D^3}$$

$$\tau_f = 64.74 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Dónde:

T = momento torsor

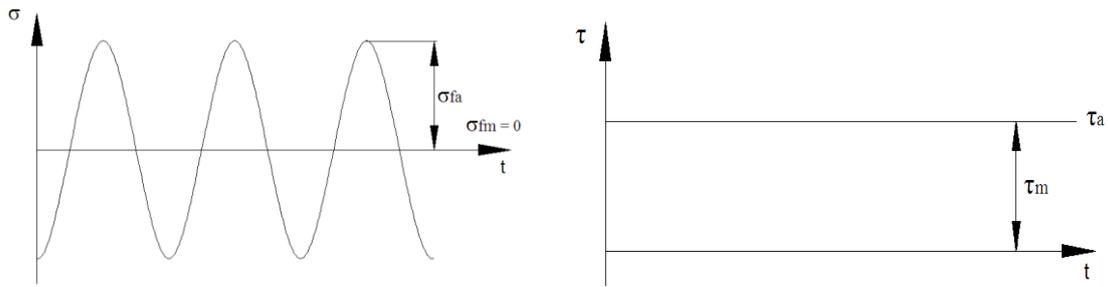


Figura 4.15: Fluctuación de los esfuerzos

$$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{522.54 - 0}{2} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 261.27 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{fm} = 0$$

Ecuación de esfuerzos combinados

Según Von Mises H.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{aa})^2 + 3(\tau_{Ta} + \tau_{ca})^2}$$

$$\sigma_{eqa} = \sigma_{fa}$$

$$\sigma_{eqa} = 261.27 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + 3(\tau_{Tm} + \tau_{cm})^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3(\tau_{Tm})^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 112.13 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Límite de fatiga:

$$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot Se'$$

Dónde:

$$k_a = 0.85 \quad \text{Para laminado en caliente.}$$

$$k_b = 1.189d^{-0.097} = 1,1289(51)^{-0.097} = 0.81$$

$$k_c = 0.897 \quad \text{Para una confiabilidad de 0,90.}$$

$$k_d = 1$$

$$k_f = q(Kt - 1) + 1 \quad q = 0.85 \quad \text{Para } r = 0,08\text{plg}$$

$$K_t = 1.85 \text{ Para } \frac{D}{d} = 1.8$$

$$k_f = 0.85 * (1.85 - 1) + 1 = 1.72$$

$$k_e = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1.72}$$

$$k_e = 0.58$$

$$S_e = 0.85 * 0.81 * 0.897 * 1 * 0.58 * \left(0.5 * 3800 \frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$S_e = 680.58 \frac{kg}{cm^2}$$

De la aplicación del criterio lineal de Soderberg se tiene:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{261.27}{680.58} + \frac{112.13}{3800} = \frac{1}{n}$$

Remplazando se tiene n:

$$n = 2.4$$

Se debe tener en cuenta que el bagazo de la caña de azúcar tiene zonas muy duras, por lo que se espera que el valor de n sea alto, procurando de esta manera que el mismo tolere fuerzas superiores a las establecidas en el diseño.

4.5. Selección de chumaceras

$$d = 2.54cm$$

$$N = 1745 \text{ rpm}$$

$$R_{Az} = 118.6kg * u$$

Donde $u = 0,1$ Para acero-acero lubricado.

$$R_{Az} = 11.86Kg$$

$$F_r = \sqrt{R_{Ay}^2 + R_{Az}^2}$$

$$F_r = \sqrt{(19.02Kg)^2 + (11.86Kg)^2} = 22.41kg = 219.66N$$

Carga radial equivalente:

$$F_a = 0$$

$$P_0 = X_0.Fr + Y_0.Fa$$

$$X_0 = 1$$

$$P_0 = Fr$$

Capacidad básica de carga

$$C_R = \frac{f_L}{f_n \cdot f_H} \cdot Fr$$

Del catálogo de rodamientos se tiene:

$$f_L = 2,71 \text{ para } 10000 \text{ h, como vida suficiente.}$$

$$f_n = 1.03 \text{ para } 30 \text{ min}^{-1}$$

$$f_H = 1$$

$$f_S = 1.5 \text{ para exigencias elevadas}$$

Remplazando en la ecuación para C_R se tiene:

$$C_R = 578N$$

La cual es la carga dinámica requerida.

La carga estática requerida C_0

$$C_0 = f_S * P_0 = f_S * Fr$$

$$C_0 = 329.49N$$

Para estas cargas y el diámetro del eje se selecciona una chumacera UPC 211 FBT 1”.

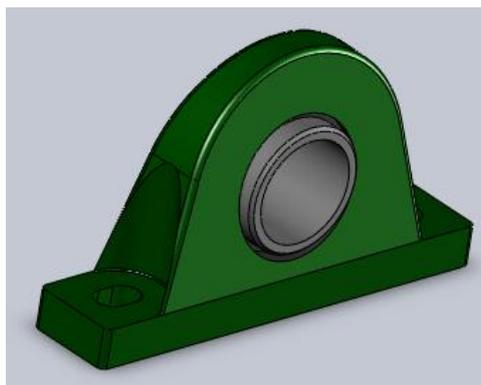


Figura 4.16. Chumacera

4.6. Cálculo y selección de chavetas.

Según recomienda el libro de Shigley, se debe considerar el espesor de la chaveta de $\frac{1}{4}$ del diámetro del eje, y que las fuerzas se distribuyen de manera uniforme, aunque no se cumple porque la realidad es que en un extremo es mayor que el otro.



Figura 4.17: Eje con chavetero

Con el diámetro del eje de 25.4 mm en el Anexo 11, obtenemos los siguientes datos de la chaveta:

$$b = 8mm$$

$$h = 7mm$$

$$z = 0.3mm$$

Y una longitud sugerida de 20 a 70 mm.

La chaveta será construida de acero de transmisión cuyas características son:

$$S_y = 235MPa$$

El torque producido por la polea es de:

$$T = 20.41N.m$$

Determinamos la fuerza de torsión:

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{20.41N.m}{0.0127m}$$

$$F = 1607.1N$$

Por la teoría de la energía de distorsión, la resistencia al cortante es:

$$S_{sy} = 0.577S_y$$

$$S_{sy} = 0.577 * 235MPa$$

$$S_{sy} = 135.6MPa$$

La falla por corte a través del área longitudinal originará un esfuerzo:

$$T = \frac{F}{t * L}$$

Sustituyendo el torque por la resistencia dividida entre el factor de seguridad, resulta:

$$L = \frac{F * n}{S_{sy} * t}$$

$$L = 30mm$$

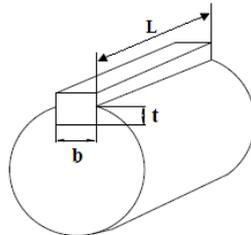


Figura 4.18: Representación de medidas de una chaveta

Para las dimensiones del chavetero respecto a las dimensiones de la chaveta se deja una tolerancia de -0.04. Guiándonos en la tabla siguiente:

TABLA 4.1: Selección del Chavetero

Diámetro del eje d		Sección de la chaveta b x h	Ancho b, tolerancia					Profundidad				Chafilán R ₁	
Más de	hasta		Nominal	Clase de ajuste del enchavetado			Eje h ₁		Cubo h ₂		Min.	Máx.	
				Libre		Normal	Ajustado	Nominal	Toler.	Nominal			Toler.
38	44	12 x 8	12					5		3,3		0,25	0,40
44	50	14 x 9	14	+0,043	+0,120	0		5,5		3,8		0,25	0,40
50	58	16 x 10	16	0	+0,050	-0,043	±0,0215	6		4,3		0,25	0,40
58	65	18 x 11	18					7	+0,2	4,4	+0,2	0,25	0,40

4.7. Bastidor

El material con el que estará conformado el bastidor debe ser resistente a la corrosión, pues se tendrá un ambiente húmedo y cálido. El bastidor cubrirá básicamente el rotor. También es importante la cavidad por la cual será expulsado el bagazo picado, pues su forma debe facilitar la salida del mismo.

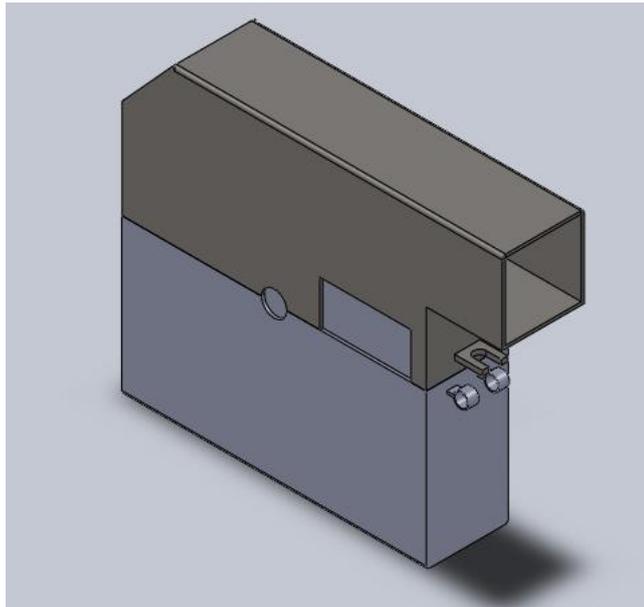


Figura 4.19: Bastidor

4.8. Diseño de la estructura de soporte.

La estructura tendrá como parámetro de diseño el peso de los distintos elementos de la máquina que van montados sobre ella, los cuales son considerados como carga muerta debido a que permanecen constantes en magnitud y posición. Este análisis será estático, por ello debemos tener en cuenta un factor de seguridad alto.

Peso del eje del volante:	4kg
Peso del volante:	25kg
Peso del bastidor:	28kg
Peso del motor:	45kg
Peso de la base del motor:	3kg
Peso de las chumaceras:	2.5kg
Peso de las poleas y otros:	8kg

Utilizando el programa de elementos finitos SAP 2000, se tiene:

En la Figura 4.2 se muestra el modelo geométrico de la estructura de soporte, utilizando elementos Frame para luego realizarla asignación de las secciones correspondientes a cada parte de la estructura:

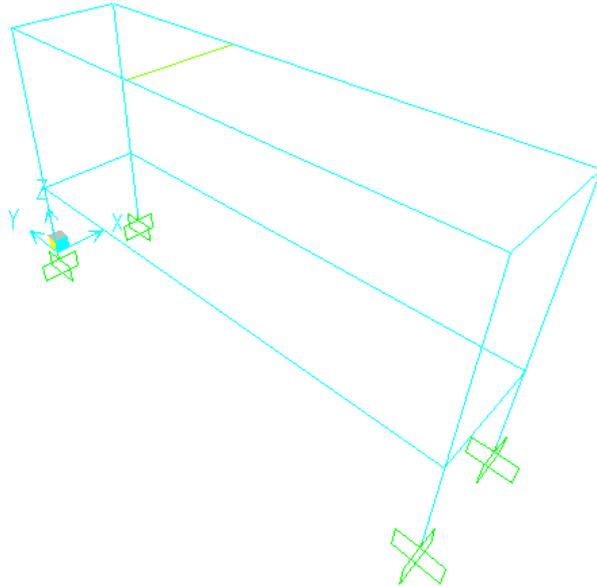


Figura 4.20

Como siguiente procedimiento se tiene el modelado de la estructura con ángulo de 2x1/4”:

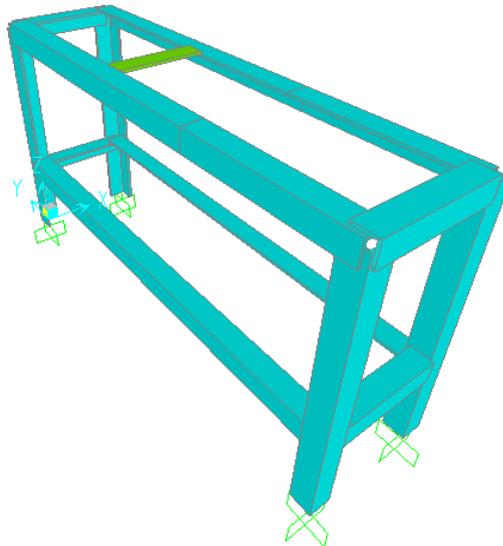


Figura 4.21

A continuación se muestra los resultados de las razones de esfuerzos calculados en el Programa SAP 2000. Se puede observar que los valores obtenidos cumplen con las condiciones de diseño determinados por la Norma AISC donde menciona que dichos valores deben ser menores o iguales a 1, para que cumpla con las condiciones de resistencia y deformación:

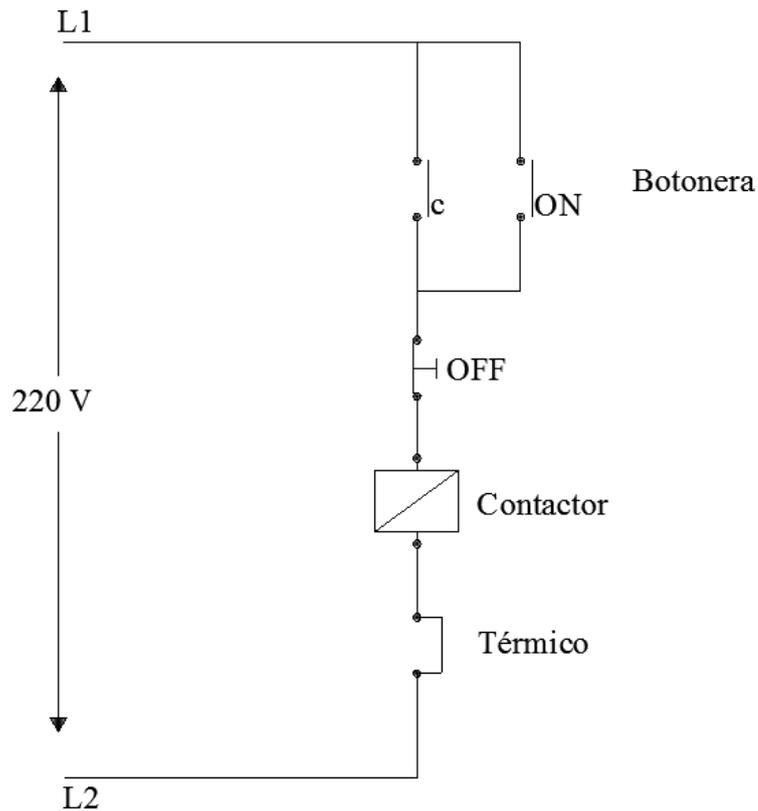


Figura 4.23: Circuito de protección del motor y control eléctrico de la máquina

La botonera da la señal de encendido o apagado, el térmico es el encargado de controlar la cantidad de corriente que pasa hacia el motor, si esta es demasiado alta el mismo envía una señal a la bobina del contactor para que los contactos que permiten el paso de corriente se abran.

El contactor se selecciona en función de la potencia del motor que es 5HP, mientras que el parámetro para la selección del térmico es la corriente que es de 22A, este valor es central; es decir, se elige un térmico cuyo rango es 16-28A.

CAPITULO V
CONSTRUCCION Y COSTOS DE LA MAQUINA

5.1. Descripción general del proceso de construcción.

El proceso de construcción inicia en la parte central de la máquina que es rotor picador, siendo sus elementos el eje y el volante con sus respectivas cuchillas y paletas. Luego se construye el bastidor, es decir, la cubierta del volante que estará en dos partes para permitir el mantenimiento de la máquina. Después se hace la estructura de soporte o base de la máquina. Finalmente se completa con la bandeja de alimentación y se adicionan todos los detalles que no están previstos en el diseño base, pues estos se presentan a medida que avanza el proceso de construcción.

Los elementos que deben ser comprados se los adquiere según se los va necesitando.

5.2. Cronograma de construcción de los elementos de la máquina.

Tabla 5.1 Cronograma de construcción de los elementos de la máquina

N°	ACTIVIDAD		DURACION	DIAS																							
			(días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	Elementos del rotor soplador	Eje	2	■	■																						
2		Campana	1			■																					
3		Volante	3				■																				
4		Cuchillas	3					■	■	■																	
5		Paletas sopladoras	1								■																
6	Cubierta del rotor soplador		4								■	■	■	■													
7	Estructura de soporte		2												■	■											
8	Bandeja de alimentación		2														■	■									
9	Base del motor		1																	■							
10	Cubierta del sistema de transmisión		2																		■	■					
11	Adquisición del motor		7																		■	■	■	■	■	■	

El tiempo de compra de materiales se incluye en la actividad para cada elemento.

5.3. Cronograma de montaje de los elementos de la máquina.

Tabla 5.2 Cronograma de montaje de los elementos de la máquina

N°	ACTIVIDAD	DURACION	Horas de trabajo																							
		(horas)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44		
1	Rotor soplador	Montaje de la campana en el eje	2	■																						
2		Montaje de las cuchillas	8		■	■	■	■																		
3		Montaje de las paletas sopladoras	4						■	■																
4		Montaje del volante en el eje	2								■															
5	Cubierta del rotor	Montaje de la parte inferior de la cubierta	6									■	■	■												
6		Montaje del rotor soplador	4											■	■											
7		Montaje de la parte superior de la cubierta	4														■	■								
8	Montaje del sistema de transmisión		4															■	■							
9	Montaje de la bandeja de alimentación		2																	■						
10	Montaje del motor		4																		■	■				
11	Montaje del sistema eléctrico de control		4																					■	■	

5.4. Costos del proyecto

5.4.1. Costos directos

En esta sección se incluye los costos por materiales, mano de obra y equipos, y transporte.

5.4.1.1. Costos de materiales

Tabla 5.3 Costos de materiales

MATERIALES			
DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
PLANCHA DE ACERO AISI 1045 2.4x1.2 m e=1/2"	0,5	\$130,00	\$65,00
PLANCHA DE ACERO AISI 1045 2.4x1.2 m e=1/4"	0,35	\$80,00	\$28,00
PLANCHA DE ACERO AISI 1045 2.40x1.2 m e=2mm	0,2	\$50,00	\$10,00
ANGULO DE ACERO 2x1/4" L=2m	1	\$28,00	\$28,00
HOJA DE RESORTE	1	\$10,00	\$10,00
BARRA DE ACERO AISI 1020 DE 1" L=35cm	1	\$13,50	\$13,50
BARRA DE ACERO AISI 1020 DE 2 1/2 L 10cm	1	\$5,00	\$5,00
PERNOS 1/2x2	8	\$0,70	\$5,60
PERNOS 1/2	2	\$0,80	\$1,60
PERNOS 8mm	8	\$0,50	\$4,00
PERNOS 5/8	4	\$1,30	\$5,20
POLEA TIPO A DOBLE CANAL 7"	2	\$4,80	\$9,60
CHUMACERA UPC 211 FBT 1"	2	\$16,50	\$33,00
BANDA TIPO A 70	2	\$11,50	\$23,00
MOTOR 5HP 220V 1~ MARCA WEG	1	\$340,00	\$340,00
OTROS	1	\$25,00	\$25,00
ELEMENTOS ELECTRICOS DE MANDO	1	\$80,00	\$80,00
			\$686,50

5.4.1.2. Costos de maquinaria y equipos utilizados.

En la *Tabla 5.4* se codifica las diferentes máquinas utilizadas en la construcción y montaje de la picadora de bagazo de caña de azúcar. Lo cual es útil para simplificar las siguientes tablas donde se especifica los costos en función del tiempo de utilización de las mismas.

Tabla 5.4 Características de las máquinas herramientas utilizadas en la construcción y montaje de la máquina

CODIGO	MAQUINA	MARCA	POTENCIA	VELOCIDAD	CAPACIDAD	OBSERVACIONES
M1	Torno	LAFAYET	5 hp	16 – 900 rpm	Avances 0.02 – 4.5 mm	Volteo 800mm
M2	Torno	BRUCKS	2 hp	30 – 1200 rpm	Avances 0.16 – 3 mm	
M3	Taladro radial	MODIG	2 hp	120 – 900 rpm	Avances 12.7 – 45 mm	Brocas de cono Morse
M4	Fresadora	REMAC	3 hp	35 – 1100 rpm	Avances 0.75 – 12 mm	
M5	Limadora	ATLAS	4 hp	16 – 182 golpes	Avances 0.2 – 4 mm	Canal en manzana
M6	Soldadora E.	MILLER			30 – 250 A	Electrodos 5/32” Amp 140
M7	Soldadora A.	TAIMAN			1.5 kg.cm ²	Cortadora acetileno
M8	Esmeril	SIEMENS	2 hp	3750 rpm		
M9	Cizalla	HAAS			Hasta 1/4”	
M10	Sierra Vaiven	SUGINO	1.5 hp	60 golpes		
M11	Taladro de mano	PALMARY	0.5 hp	340 rpm	3/16” – 5/8”	
M12	Amolador	BOSH	2.2 kw	6500 rpm	8”	
M13	Afiladora de Cuchillas	GEHL	0.5 hp	4800 rpm	1 x 8”	
M14	Prensa hidráulica	ENERPAC			90 Toneladas	Manual
M15	Compresor	S/N				

Tabla 5.5 Costos de maquinaria y equipos.

OP.	DETALLE	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	Total Operación
		TIEMPO (HORAS)															
1	Construcción base			1,0			2,0				3,0		1,5				\$46,00
2	Torneado eje	2,5															\$22,50
3	Canal eje				1,0												\$9,00
4	Torneado manzana	5,0															\$45,00
5	Chavetero manzana					1,5											\$7,50
6	Soldar disco central						1,0						0,5		0,5		\$17,50
7	Canales disco central				2,0												\$18,00
8	Soldar refuerzos disco						1,5	0,5									\$16,50
9	Construcción carcaza						3,0	5,0									\$81,00
10	Afilado 4 cuchillas			1,0								0,5	2,5	1,5			\$30,00
11	Construcción bisagras y seguros		3,0				1,0		0,5								\$25,50
12	Base corrediza motor										1,5						\$9,00
13	Elaboración poleas																\$0,00
14	Defensas de bandas																\$0,00
15	Elaboración bandeja de alimentación						1,5			1,5		0,5					\$13,00
16	Masilla y pintura															2,5	\$12,50
	Total por máquina herramienta	\$67,50	\$18,00	\$10,00	\$27,00	\$7,50	\$70,00	\$66,00	\$0,50	\$1,50	\$27,00	\$2,00	\$27,00	\$9,00	\$7,50	\$12,50	\$353,00

5.4.1.3. Costos de mano de obra.

Tabla 5.6 Costos de mano de obra

TRABAJADOR	PAGO/HORA	# HORAS	TOTAL TRABAJADOR
Maestro Mecánico	\$ 2,00	49	\$ 98,00
Ayudante Mecánico	\$ 1,00	49	\$ 49,00
Maestro Eléctrico	\$ 2,50	6	\$ 15,00
		TOTAL	\$ 162,00

5.4.1.4. Costos de transporte

Tabla 5.7 Costos de transporte

TRANSPORTE			
DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
Transporte a la hacienda	4	\$2,00	\$8,00
Transporte del material del almacén al taller	1	\$5,00	\$5,00
Transporte para corte de plancha	2	\$2,00	\$4,00
Transporte del motor del almacén al taller	1	\$1,00	\$1,00
		TOTAL	\$18,00

5.4.2. Costos indirectos

Tabla 5.8 Costos indirectos

DETALLE	CANTIDAD (%)	VALOR
Costo Ingenieril	10%	\$ 120,45
Imprevistos	5%	\$ 60,23
Utilidad	0%	\$ 0,00
	TOTAL	\$ 180,68

5.4.3. Costos totales

Tabla 5.9 Costo total.

DETALLE DE COSTO		VALOR
Directos	Materiales	\$ 671,50
	Maquinaria y equipos	\$ 353,00
	Mano de obra	\$ 162,00
	Transporte	\$ 18,00
Indirectos	Ingenieril	\$ 120,45
	Imprevistos	\$ 60,23
	Utilidad	\$ 114,82
TOTAL		\$ 1.500,00

CAPITULO VI
VERIFICACIÓN, PRUEBAS Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINA

6.1. Diagrama de la máquina

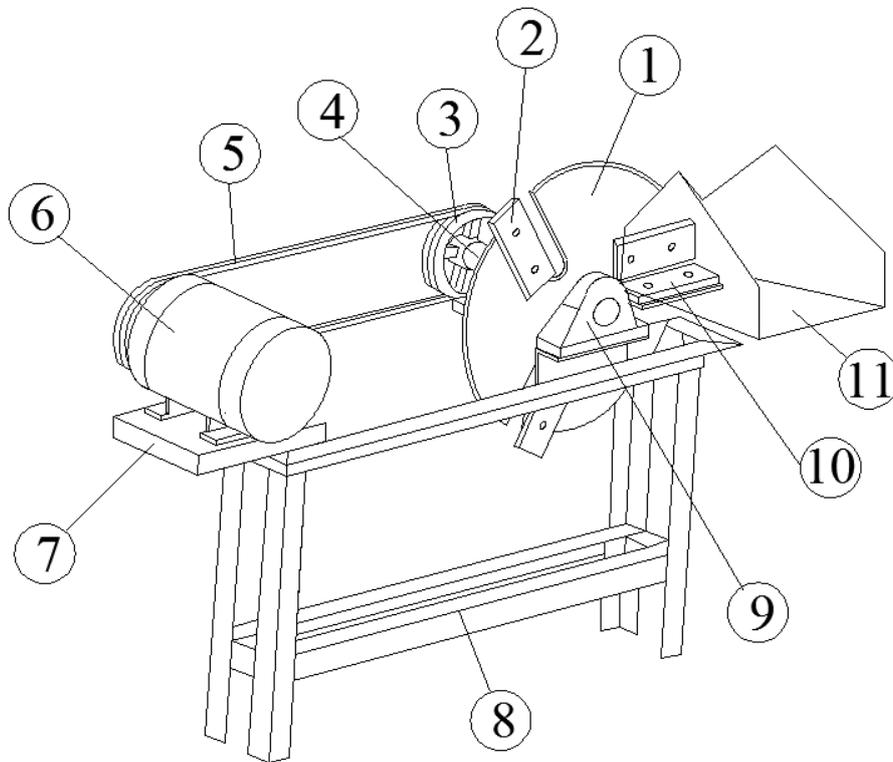


Figura 6.1: Esquema de la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar

- 1) Rotor picador soplador (Volante)
- 2) Cuchilla
- 3) Polea
- 4) Eje del rotor
- 5) Bandas de transmisión
- 6) Motor
- 7) Base del motor
- 8) Estructura de soporte
- 9) Chumacera
- 10) Contra cuchilla
- 11) Bandeja de alimentación

6.2. Procedimiento experimental

Una vez construida la máquina picadora de bagazo de caña, se realizará las pruebas necesarias para verificar que la misma cumpla con los requerimientos planteados inicialmente. Para lo cual se toma en cuenta los factores de estudio que son básicamente los parámetros de la máquina que se establecieron para el diseño de la misma, como son: Capacidad, Velocidad de ingreso del bagazo, Tamaño de corte del bagazo. Las pruebas se realizarán con bagazo de caña fresco y con bagazo de caña seco.

La figura 6.1 muestra un esquema con las partes constitutivas de la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar. El bagazo antes de realizarse las pruebas será medido y pesado, durante el proceso de tomará el tiempo en el que pica las raciones de bagazo, después se medirá el bagazo de caña de azúcar picado.

La potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina está dada por un motor eléctrico, mediante un sistema de transmisión de banda abierta; esto hace que el rotor picador-soplador, con cuchillas y paletas radiales, gire picando el bagazo de caña de azúcar que es alimentado por el operador.

Mediante la realización de estas pruebas se busca hallar posibles fallas de la máquina para posteriormente corregirlas, de modo que la máquina quede validada.

Adicionalmente al bagazo de caña de azúcar, se picarán otros productos con los que se alimenta al ganado en nuestra provincia, como son: hierba y caña de maíz. Pues se pretende que la máquina permita elaborar bloques alimenticios con otros alimentos del ganado cuya dureza es menor que la del bagazo de caña de azúcar.

El primer punto a tomar en cuenta en las pruebas de la máquina es el balanceo del eje.

BALANCEO

El balanceo es la técnica de corregir o eliminar fuerzas o momentos generadores de perturbaciones vibratorias. Los esfuerzos sobre el bastidor de un mecanismo, o sobre los soportes pueden variar de manera significativa durante un ciclo completo de operación y provocar vibraciones que a veces pueden alcanzar amplitudes peligrosas. Incluso aunque no lo fueran, las vibraciones someten a los cojinetes a cargas repetidas que provocan el fallo por fatiga de las

piezas. Se hace entonces preciso eliminar o reducir las fuerzas de inercia que producen estas vibraciones.

Cualquier eslabón o elemento que se encuentre en rotación pura puede, teóricamente, estar perfectamente equilibrado estática y dinámicamente para lo que hay que eliminar todas las fuerzas y momentos generadores de vibración. Para lograr un equilibrio completo se requiere establecer el equilibrio dinámico; sin embargo, en algunos casos, el estático puede ser un sustituto aceptable y generalmente es más fácil de alcanzar.

BALANCEO ESTÁTICO

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración para reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias.

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. El desbalance se debe a que el centro de gravedad de un cuerpo giratorio no coincide generalmente con su centro de rotación.

Para el análisis de vibración de nuestro proyecto se ha determinado con la prueba de balanceo estático, que consiste en colocar el eje armado con todos los elementos constitutivos sobre parantes con dos rodamientos en los extremos, numeramos 6 espacios iguales en el volante y desplazamos el eje libremente en cada punto de referencia, si presenta una variación oscilatorio en la posición evaluada tenemos la presencia de un desbalanceo del eje.

En la práctica es imposible conseguir que la masa esté uniformemente distribuida alrededor del centro geométrico del cuerpo.





a)

b)

Figura 6.2: a) Volante sin cuchillas b) Eje del rotor.

En nuestro caso, se presentó un desequilibrio en el eje por lo que se tuvo que compensar la masa en uno de los extremos del rotor,



Figura 6.3: Montaje del eje del rotor

Las vibraciones también pueden deberse a elementos rodantes defectuosos, rodamientos defectuosos, aflojamiento mecánico, a correas de accionamiento, a problemas de engranaje o a fallas eléctricas.

Con el peso de la masa adicional se practica el ensayo de manera similar, comprobando que el eje muestra equilibrado estáticamente.

6.3. Especificaciones

Siendo un prototipo, la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar, no posee aún una marca, modelo o número de serie definidos.

6.3.1. Dimensiones generales

Se recomienda que la máquina trabaje en lugares abiertos o espaciosos, pues también se considera el lugar que ocupa el bagazo de caña antes de picarse, de modo que las dimensiones de operación están dadas como valores mínimos:

Tabla 6.1: Dimensiones generales

	Para operación	Para transporte
Largo:	4m	1.6m
Ancho:	3m	1.2m
Alto:	3m	1.4m

6.3.2. Peso

Los pesos de los elementos de la máquina se detallan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Peso de la máquina

Elemento	Peso (kg)
Motor eléctrico y base	45.00
Poleas y bandas	8.00
Eje del rotor	5.25
Rotor picador – soplador	25.00
Bastidor	44.76

Estructura de soporte	17.46
Total	145.47 kg

6.3.3. Fuente de potencia

La fuente de potencia es el motor con las siguientes características:

Tipo:	Motor de inducción
Voltaje:	220/440V
Modelo:	MO0IF0X0X0000302515
Potencia Nominal:	5.0 HP (3.7 KW)
Velocidad Nominal:	1745 rpm

6.3.4. Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia es de correa abierta, y lo componen el motor, dos poleas de doble canal y dos bandas trapeciales tipo A.

6.3.5. Rotor picador soplador

El rotor tiene como base un volante circular con tres cuchillas radiales y tres paletas sopladoras, es decir, este rotor pica el bagazo y lo expulsa a la vez.

6.3.6. Velocidad de entrada



Figura 6.4. Bagazo de caña

Para la velocidad de entrada de la máquina se requiere medir la longitud de bagazo de caña de azúcar que ingresa a la máquina en función del tiempo.

Para lo cual se medirá la longitud del bagazo de caña de azúcar antes de que la misma sea introducida a la máquina, de lo cual se obtiene los resultados anotados en la *Tabla 6.4*.

La velocidad de entrada del bagazo está dada por la siguiente fórmula:

$$v = \frac{l}{t}$$

Donde, v = Velocidad de ingreso del bagazo en centímetros por cada segundo

l = Longitud de bagazo de caña en azúcar en centímetros

t = Tiempo en segundos

Tabla 6.3. Velocidad de entrada del bagazo

BAGAZO	N° Porción	Longitud	Tiempo	Velocidad
FRESCO	1	8700,00	198,72	43,78
	2	9800,00	239,04	41,00
	3	8900,00	220,32	40,40
	4	8800,00	198,72	44,28
	5	9900,00	239,04	41,42
	Promedio	9220,00	219,17	42,07
SECO	1	5800,00	134,00	43,28
	2	6250,00	139,09	44,93
	3	6000,00	133,08	45,09
	4	5950,00	134,06	44,38
	5	6230,00	140,03	44,49
	Promedio	6046,00	136,05	44,44

La velocidad de ingreso de las cañas se determinó en el diseño en $v_i = 42.5\text{cm/s}$, la velocidad de ingreso obtenida de la prueba es de $v_p = 42.07\text{cm/s}$, para el bagazo de caña de azúcar fresco. La diferencia no es significativa.

En cambio para el bagazo de caña de azúcar seco, este valor asciende a $v_p = 44.44 \text{ cm/s}$, es decir un valor superior.

6.3.7. Capacidad de la máquina



Figura 6.5: Bagazo de caña y bagazo picado

Se realiza una prueba real para verificar la capacidad de picado de la máquina, dicho parámetro estará en función del peso de bagazo de caña picado por cada hora. De modo que se toma cinco porciones de bagazo, se las pesa y se mide el tiempo que tarda la máquina en picar estas porciones. Para esta prueba también se necesita recordar las condiciones establecidas al inicio de este trabajo, donde se dice que se requiere un solo operario para el manejo de la máquina.

La capacidad de la máquina está dada por:

$$C = \frac{m}{t}$$

Donde, C = Capacidad de la máquina en kilogramos por cada hora

m = Masa en kilogramos

t = Tiempo en horas

Los resultados obtenidos de esta prueba se tabulan a continuación:

Tabla 6.4. Capacidad de la máquina

BAGAZO	Nº Porción	Masa	Tiempo	Capacidad
--------	------------	------	--------	-----------

FRESCO	1	17,47	0,0557	313,68
	2	19,44	0,0665	292,33
	3	18,86	0,0612	308,17
	4	15,20	0,0552	275,36
	5	21,06	0,0669	314,80
	Promedio	18,41	0,0611	301,25
SECO	1	12,39	0,0553	224,05
	2	14,25	0,0589	241,94
	3	15,50	0,0674	229,97
	4	15,20	0,0652	233,13
	5	14,00	0,0639	219,09
	Promedio	14,27	0,0621	229,61

Se obtiene un valor promedio de aproximadamente $301\text{kg}/h$ para el bagazo de caña de azúcar fresco, que comparado con el valor establecido inicialmente en los cálculos no tiene mayor diferencia. Mientras que para el bagazo de caña de azúcar seco la capacidad es menor, $230\text{kg}/h$. Esto se debe a que el bagazo seco es más frágil y ha perdido aproximadamente el 30% de su peso.

6.3.8. Longitud del bagazo picado



Figura 6.6: Bagazo picado

Para la longitud del bagazo de caña de azúcar picado, tomamos las muestras y las medimos. Cuyas longitudes se clasifican y resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.5: Longitud del bagazo de caña de azúcar picado

BAGAZO	Longitud
FRESCO	(0.5 - 3.0) cm
SECO	≤ 3.0 cm

Para el bagazo de caña de azúcar fresco las longitudes varían entre 0.5cm y 3cm. Y para el bagazo seco cierta parte se hace polvo y tenemos fibras de hasta 3cm.

6.3.9. Elaboración de bloques alimenticios

Se realizan pruebas experimentales para elaborar bloques alimenticios para alimentar al ganado, lo cual consiste en ingresar alternadamente los siguientes forrajes en las cantidades indicadas:

Tabla 6.6: Contenido de bloques alimenticios

Tipo de forraje	Cantidad (Kg)
Alfalfa	2
Caña de maíz	5
Bagazo de caña	3

Las cantidades de forraje indicadas sirven para alimentar a un ganado vacuno con peso promedio al día. Adicionalmente a esto se le agrega melaza en una cantidad aproximada de 1 litro. Pero hay mucha variedad dentro de la alimentación del ganado, este es solo un ejemplo.

En la Tabla 6.7 se indica los valores de los distintos parámetros obtenidos al picar hierba y caña de maíz, ambos en estado fresco.



Figura 6.7 Alfalfa picada

En el caso de la hierba tiene un tronco muy delgado, en comparación del bagazo de caña es de 1 a 20. Teniendo en cuenta que la longitud promedio de la hierba de es 1m. Estarían ingresando 100 metros de hierba por 2.5m de bagazo de una caña. Es decir, la velocidad de entrada de la hierba es de aproximadamente $v_i = 1700 \text{ cm/s}$.

$$\begin{array}{cc} 2.5m & 100m \\ 42.5 \frac{cm}{2} & x \end{array}$$

Para la capacidad de picado de la hierba, se realiza el mismo procedimiento que para la caña, es decir, se pesa la cantidad de hierba y este valor se divide para el tiempo que tardo la máquina en picar dicha cantidad.



Figura 6.8 Caña de maíz picada

Para la caña de maíz se recomienda ingresar dos a la vez, teniendo en promedio la misma longitud que una caña de azúcar, por lo tanto tiene la misma velocidad de ingreso. Para la capacidad se ha realizado el mismo proceso que para el bagazo de caña de azúcar.

En función del peso de los componentes del bloque alimenticio, y habiendo obtenido la capacidad de picado de cada uno de ellos, podemos calcular el tiempo que se tarda en picar uno de los bloques.

$$C = \frac{m}{t} \rightarrow t = \frac{m}{C}$$

$$t_i = \frac{2kg}{900 \frac{kg}{h}} = 0.0022h = 8s$$

$$t_c = \frac{5kg}{600 \frac{kg}{h}} = 0.0083h = 30s$$

$$t_b = \frac{3kg}{301 \frac{kg}{h}} = 0.0099h = 36s$$

$$t_{bloque} = t_i + t_c + t_b$$

$$t_{bloque} = (8 + 30 + 36)s = 74s$$

Si se tarda 74 segundos para un bloque, entonces se pueden realizar aproximadamente 49 bloques por cada hora. Es decir, que se puede producir el alimento para a 49 reses diarias, por cada hora de trabajo de la máquina.

6.3.10. Aspectos de seguridad

Las medidas de seguridad deben tomarse en cuenta para el obrero y para la máquina. El operario de la máquina debe usar mascarilla, gafas y tapones para oídos. Para el motor de la máquina se considera necesario una protección eléctrica que consta de un contactor y un térmico, los cuales están adaptados a una botonera ON/OFF para el encendido y apagado de la máquina.

6.3.11. Resumen de los resultados de las pruebas

En la siguiente tabla se resumen los distintos resultados obtenidos en las pruebas realizadas, tanto para bagazo de caña de azúcar fresco y seco, como para la hierba y la caña de maíz.

Tabla 6.7: Resumen de pruebas

Forraje	Velocidad entrada (cm/s)	Capacidad (Kg/h)	Longitud picado (cm)
Bagazo Fresco	42	301	(0.5 - 3.0) cm

Bagazo seco	45	230	≤ 3.0 cm
Hierba	1700	900	≤ 1.0 cm
Caña de maíz	42	600	≤ 1.0 cm

Las pruebas hechas con el bagazo fresco son satisfactorias, pues cumplen con los parámetros establecidos en el diseño. Se debe tener en cuenta que cuando el bagazo está seco, la capacidad de la máquina disminuirá pues el obrero ingresará la misma longitud de caña pero esta ha perdido aproximadamente el 30% de su peso, es decir su humedad.

La longitud de la hierba y la caña de maíz, comparado con la del bagazo de caña de azúcar, tres veces menor. Esto se debe a que la resistencia es también menor y la contextura de estos forrajes es menos fibrosa.

Se puede apreciar en la Tabla 6.7 que la capacidad de picar de la máquina se triplica para la hierba y se duplica para la caña de maíz. Esto se debe a que estos dos forrajes contienen un grado de humedad superior al bagazo. Lo cual indica que su peso es mayor al bagazo de caña de azúcar, he ahí la razón.

6.3.12. Reparaciones y ajustes durante las pruebas

En las pruebas de velocidad de entrada y capacidad de la máquina no se hallaron factores que indiquen que se requiere de algún ajuste en la máquina.

Para el caso de las pruebas de la longitud del bagazo ya picado, se encontraron ciertas fibras de tamaño superior a lo establecido en el diseño, por lo que se realiza un ajuste en la distancia que se tiene entre las cuchillas y la contracuchilla, la cual debe ser mínima.

La distancia entre las cuchillas del volante y la contracuchilla estacionaria se establece en 1mm, se encontró que respecto a una de las cuchillas esta distancia era de 2mm. Mediante un ajuste de la cuchilla ubicada en el volante se soluciona el problema.

6.4. Operación y mantenimiento de la máquina.

Para la operación y mantenimiento de la máquina se realiza un documento que se entregará al dueño de la misma, el cual contiene lo siguiente.

6.4.1. Operación

La máquina posee un rotor soplador que hace que el bagazo picado salga a velocidades altas de la misma, por ello es necesario colocar en la boca de la máquina un recipiente para recolectar la misma, o a su vez se recomienda colocarla frente a una pared para que la misma detenga el bagazo de caña y este se apile.

El operario deberá utilizar una gorra, mascarilla, gafas y tapones para oídos como parte de su equipo de seguridad mientras opere la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar.

Para la operación de la máquina se requiere una sola persona:

- 1) Conecte la máquina a una fuente de 220V, monofásica.
- 2) Pulse el botón verde de la caja de mando eléctrica, ubicada en la parte inferior izquierda de la máquina.
- 3) Deje actuar la máquina durante 1 minuto antes de empezar a introducir en la misma el bagazo de caña de azúcar.
- 4) Al introducir el bagazo de caña de azúcar en la bandeja de alimentación, tenga cuidado de no acercarse al rotor de la misma, empuje el bagazo con un trozo de madera o con el mismo bagazo.
- 5) Una vez que haya terminado de picar el bagazo deje funcionar la máquina 1 minuto en vacío, esto ayuda a que el rotor expulse el bagazo picado acumulado en el bastidor.
- 6) Detenga la máquina pulsando el botón rojo de la caja de mando eléctrica.
- 7) Espere a que el rotor soplador de la máquina se detenga completamente antes de realizar limpieza o mantenimiento en la misma.
- 8) Asegúrese de interrumpir la alimentación eléctrica hacia la máquina para evitar accidentes.

6.4.2. Mantenimiento

La máquina tiene elementos cortantes móviles por lo que el manejo y operación se debe tomar las medidas de seguridad adecuada. Los controles de mando están dispuestos de una manera

directa; encendida o apagado, está provisto de una tolva de alimentación diseñada de manera adecuada para evitar el contacto directo con los elementos cortantes. Para la prolongación de la vida útil de la máquina cortadora se ha determinado actividades mecánicas y eléctricas semanales detalladas en un programa de mantenimiento preventivo.

Las principales actividades a realizarse para perdurar la vida útil de la máquina son:

6.4.2.1. Limpieza del rotor soplador y el bastidor.

Se debe retirar los restos de bagazo acumulados en el bastidor, para evitar que estos se descompongan y pongan en riesgo la vida del ganado y el estado de la máquina. Se recomienda realizar esta limpieza a diario, o por lo menos una vez por semana.

6.4.2.2. Alineación y afilado de cuchillas y contra cuchilla.

La espacio entre la cuchilla y contra cuchilla se estableció en 1mm, de modo que es importante verificar esta distancia una vez por semana.

Debido al trabajo que realizará diariamente la máquina las cuchillas necesitarán ser afiladas por lo menos una vez cada 3 meses. Esto es vital para que se produzca el efecto cizalla entre la cuchilla y la contra cuchilla. Pues si no tienen el ángulo adecuado de corte la máquina puede trabarse produciendo daños en los elementos mecánicos y/o eléctricos.

6.4.2.3. Lubricación y cambio de chumaceras

La lubricación en este elemento mecánico permite que la transmisión de potencia se realice de una forma adecuada, por ello se debe lubricar las chumaceras una vez por mes. Y cambiarlos cada cinco años.

6.4.2.4. Ajuste y cambio de bandas

El motor se ha colocado sobre una base que permite regular la distancia entre polea y polea, esto es necesario, pues debido al uso la longitud de las bandas aumenta. Se debe

chequear, cada mes, que las bandas tengan la tensión adecuada para que el sistema de transmisión cumpla con su función.

La longevidad de las bandas está entre 1000 y 5000 horas. Se sabe que la máquina trabajará 1 hora diaria, tomando el extremo inferior de longevidad de las bandas, se recomienda cambiar las bandas cada 3 años.

6.4.2.5. Ajuste de pernos y tornillos

Debido a la vibración que se produce en la máquina los pernos y tornillos pueden desajustarse, por ello se recomienda revisarlos por lo menos una vez al mes.

6.4.2.6. Protección eléctrica del motor

Se debe verificar regularmente el correcto funcionamiento de los elementos que contiene el sistema de protección del motor eléctrico, como son: Botonera, contactor, térmico y breaker.

6.4.2.7. Plan de mantenimiento preventivo:

Los distintos trabajos de mantenimiento que deben realizarse en la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.8: Plan de mantenimiento preventivo

Frecuencia	Partes constitutivas de la máquina						Trabajo a realizarse
	Rotor picador	Bastidor	Sistema de transmisión	Protección del motor	Elementos de conexión	Cumaceras	
Semanal	X						Limpieza del volante
		X					Limpieza del bastidor
Mensual						X	Lubricación de chumaceras
			X				Ajuste de bandas
					X		Ajuste de pernos y tornillos
				X			Verificación del funcionamiento
Trimestral	X						Alineación entre cuchillas y contra cuchilla
	X						Afilado de cuchillas y contra cuchilla
Anual						X	Cambio de chumaceras cada 5 años
			X				Cambio de bandas cada 3 años

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Existen varias opciones para cada uno de los elementos constitutivos de la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar, hemos podido apreciar que la opción más adecuada no solo se basa en el mayor coeficiente técnico y económico, sino también entre el equilibrio que existe entre los dos.
- La alineación entre las cuchillas es clave para evitar fibras de tamaño superior al establecido en el diseño, pero se debe tener en cuenta que el rotor de la máquina es robusto, por ello se ha dejado una tolerancia de 1mm entre ellas. Este factor debe estar en continua revisión para evitar un encuentro entre cuchilla y contra cuchilla, lo cual podría ser fatal para la máquina.
- La máquina se ha diseñado para picar bagazo de caña de azúcar, pero a medida que se avanzó en la investigación se ve la necesidad de que la misma trabaje con otros forrajes. Por ello se han realizado las pruebas correspondientes con hierba y caña de maíz, pues estos son los alimentos más utilizados en la dieta del ganado vacuno en la provincia. Ello nos permite concluir que los parámetros de la máquina varían para otros forrajes, lo cual depende principalmente de la densidad de los mismos.
- Las pruebas que se realizan a la máquina son vitales para determinar la validez de la máquina, pues no basta con diseñarla y construirla, la eficiencia en el funcionamiento de la misma es lo que define un buen trabajo.
- El mantenimiento preventivo es clave para prolongar la vida útil de las máquinas, pero tiene un efecto de mayor importancia, y es evitar daños al recurso más valioso como es el humano y también al material.
- Al usar maquinaria se deben tomar las debidas precauciones de seguridad tanto para el obrero como para la máquina, por ello se recomienda usar un equipo de seguridad básico, como son: Mascarilla, gafas y tapones para oídos. Y realizar continuamente el mantenimiento a la máquina.

REFERENCIAS

- [1] Cosechadoras de forrajes, Manuales para educación agropecuaria. Pag.30
- [2] Cosechadoras de forrajes, Manuales para educación agropecuaria. Pag.34
- [3] Cosechadoras de forrajes, Manuales para educación agropecuaria. Pag.36
- [4] Elementos de maquinaria agrícola, manuales para educación agropecuaria. Pag. 9
- [5] Metodología del diseño aplicada a la obtención de una máquina agrícola cortadora de avena forrajera. 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Perú. 2007.
- [6] E. Hugot. Manual para ingenieros azucareros. Editorial Continental. México. 19xx. Pag. 618.
- [7] De la información del fabricante del motor.
- [8] Análisis y diseño de volantes de inercia de materiales compuestos. *Lluís Ripoll Masferrer*. 200.

- [9] NORTON, R. Diseño de Máquinas. México: Prentice Hall, 1999. p,p 998

BIBLIOGRAFIA

- Cosechadoras de forrajes, Manuales para educación agropecuaria. Trillas. 1985.
- Elementos de maquinaria agrícola, Manuales para educación agropecuaria. Trillas. 1985.
- Hamrock, Bernard. Elementos de máquinas. Primera Edición. McGraw-Hill. 2000.
- Manual del Ingeniero Mecánico. Marks 9na edición. Tomo1. Mc Graw Hill. Págs.3-26 al 3-30,
- DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA. Joseph Edward Shigley. 4^{ta} edición. Mc. Graw Hill.
- Apuntes de diseño mecánico. Ing. Iván Morán

ANEXOS

ENSAYO DE CORTE

Objetivo: Determinar el valor de resistencia al corte del bagazo de caña de azúcar.

Materiales:

- Bagazo de caña de azúcar.
- Cuchilla

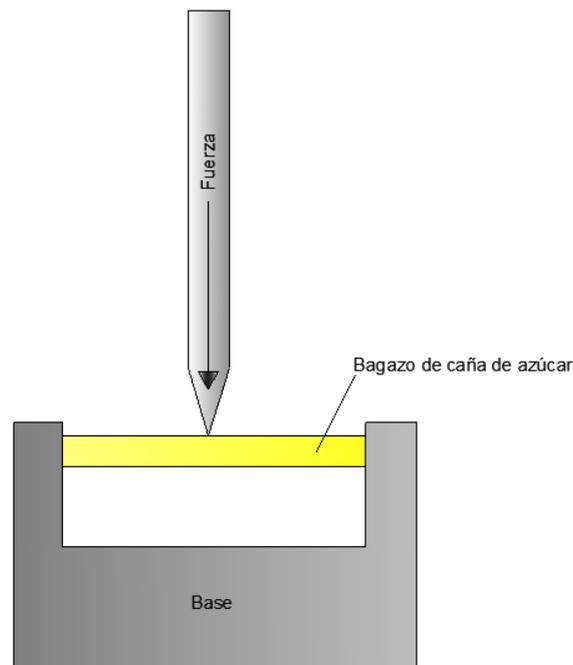
Equipos y herramientas:

- Máquina universal
- Calibrador

Procedimiento:

- Colocamos el bagazo de caña de azúcar en la base metálica, fijándolo bien en los extremos.
- Adaptamos la cuchilla a la máquina universal.
- Colocamos la base que contiene el bagazo en la máquina universal.
- Medimos el área transversal de la muestra de bagazo de caña de azúcar.
- Enceramos la máquina y aplicamos carga al bagazo, hasta que la máquina universal indique el valor máximo de fuerza que se aplicó al mismo.
- Tabulamos datos.
- Repetimos el procedimiento con cinco muestras de bagazo.

Gráfica:



Datos obtenidos:

Nº Probeta	Fuerza (Kgf)	Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
1	73	5,73	12,74
2	80	5,73	13,96
3	78	6,42	12,15
4	76	6,42	11,84
5	82	8,16	10,05

Promedio	77,8	6,49	11,98
-----------------	-------------	-------------	--------------

Resultados:

La velocidad a la que se realizó este ensayo es muy inferior a la que se va a someter realmente el bagazo y toma en cuenta toda el área transversal del mismo. En la realidad la velocidad a la que gira el rotor es alta y el corte es progresivo. Por ello se tomará en cuenta una doceava parte del resultado de este ensayo como parámetro de diseño para la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar. Como resultado de este ensayo se tiene un valor aproximado de resistencia al corte del bagazo de caña de $1\text{kgf}/\text{cm}^2$.

Cumpliendo con el objetivo señalado.

Conclusiones:

- El bagazo de caña presenta mayor dureza en los nudos, por ello realizamos los ensayos de corte en estas zonas, sin embargo obtuvimos valores diferentes en las 5 probetas; por ello realizamos un promedio de los valores.

PORCENTAJE DE BAGAZO EN LA CAÑA DE AZÚCAR**Objetivos:**

- Determinar un valor experimental del porcentaje de bagazo de caña de azúcar en peso.
- Determinar un valor experimental del porcentaje de bagazo de caña de azúcar en volumen.

Materiales:

- Bagazo de caña de azúcar.
- Flexómetro

Equipos y herramientas:

- Balanza
- Trapiche

Procedimiento:

- Con ayuda de la balanza obtenemos el valor de la masa de una muestra de caña de azúcar de 70cm de largo por 5cm de diámetro.
- Pasamos dicha muestra de bagazo de caña por el trapiche.
- Medimos el valor del volumen del jugo obtenido de la muestra de caña de azúcar, con la ayuda de un recipiente graduado.
- En la balanza obtenemos el valor de la masa de la caña de azúcar (bagazo), después de pasar por el trapiche.
- Tabulamos los datos obtenidos.
- Repetimos el procedimiento para tres muestras diferentes.

Gráfica:**Datos obtenidos:****Porcentaje en peso**

N° Probeta	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	Porcentaje
1	1380	362	26,2%
2	1366	357	26,1%
3	1608	396	24,6%
Promedio	1451,3	371,7	25,7%

Porcentaje en volumen

N° Probeta	Volumen inicial (cm3)	Volumen jugo (cm3)	Porcentaje en volumen
1	1805,1	1290	28,5%
2	2266,0	1626	28,2%
3	2818,5	2090	25,8%
Promedio	2296,5	1668,7	27,5%

Resultados:

Obtenemos un promedio de 25.7%, es decir, que de la caña de azúcar el 25.7% es bagazo referido al peso. Y un 27.5% respecto al volumen.

Conclusiones:

- El resultado de nuestro ensayo es que se puede obtener aproximadamente las tres cuartas partes del peso de la caña de azúcar en jugo, con la ayuda de un trapiche. Comparando con el valor sugerido en el manual del Ingeniero Azucarero, que nos dice que el 25% de la caña de azúcar es bagazo, podemos concluir que dicho dato es real y considerarlo en el cálculo de los parámetros para el diseño de la Máquina Picadora de bagazo de caña de azúcar.
- Respecto al volumen se tiene un valor mayor correspondiente al 27.5%.
- El bagazo de caña de azúcar conserva cierto grado de humedad, lo que quiere decir que más del 75% de la caña corresponde al jugo de la misma.

ENSAYO DE DENSIDAD

Objetivo: Determinar un valor experimental de la densidad del bagazo de caña de azúcar.

Materiales:

- Bagazo de caña de azúcar.

Equipos y herramientas:

- Balanza
- Probeta graduada.

Procedimiento:

- Con ayuda de la balanza obtenemos el valor de la masa de la muestra de bagazo de caña.
- Colocamos agua en la probeta hasta completar 210ml.
- Ingresamos el bagazo de caña en la probeta hasta que el agua cubra toda la muestra de bagazo de caña de azúcar.
- Damos golpecitos a la probeta para sacar las burbujas de aire que se encuentran en la muestra de bagazo de caña de azúcar sumergida.
- Observamos donde se encuentra el nivel de agua indicado en la probeta graduada.
- Tabulamos datos.
- Repetimos este procedimiento para tres muestras de bagazo de caña de azúcar.

Gráfica:



Datos obtenidos:

Nº Probeta	Masa (gr)	V. Inicial (ml)	V. Final (ml)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	20	210	261	51	0,39
2	21	210	267	57	0,37
3	21	210	264	54	0,39
Promedio	20,67	210	264	54,00	0,38

Resultados:

Se obtiene un valor experimental del bagazo de caña de azúcar de 0.38 gr/cm^3 , que equivale a 380.22 kg/m^3 .

Conclusión:

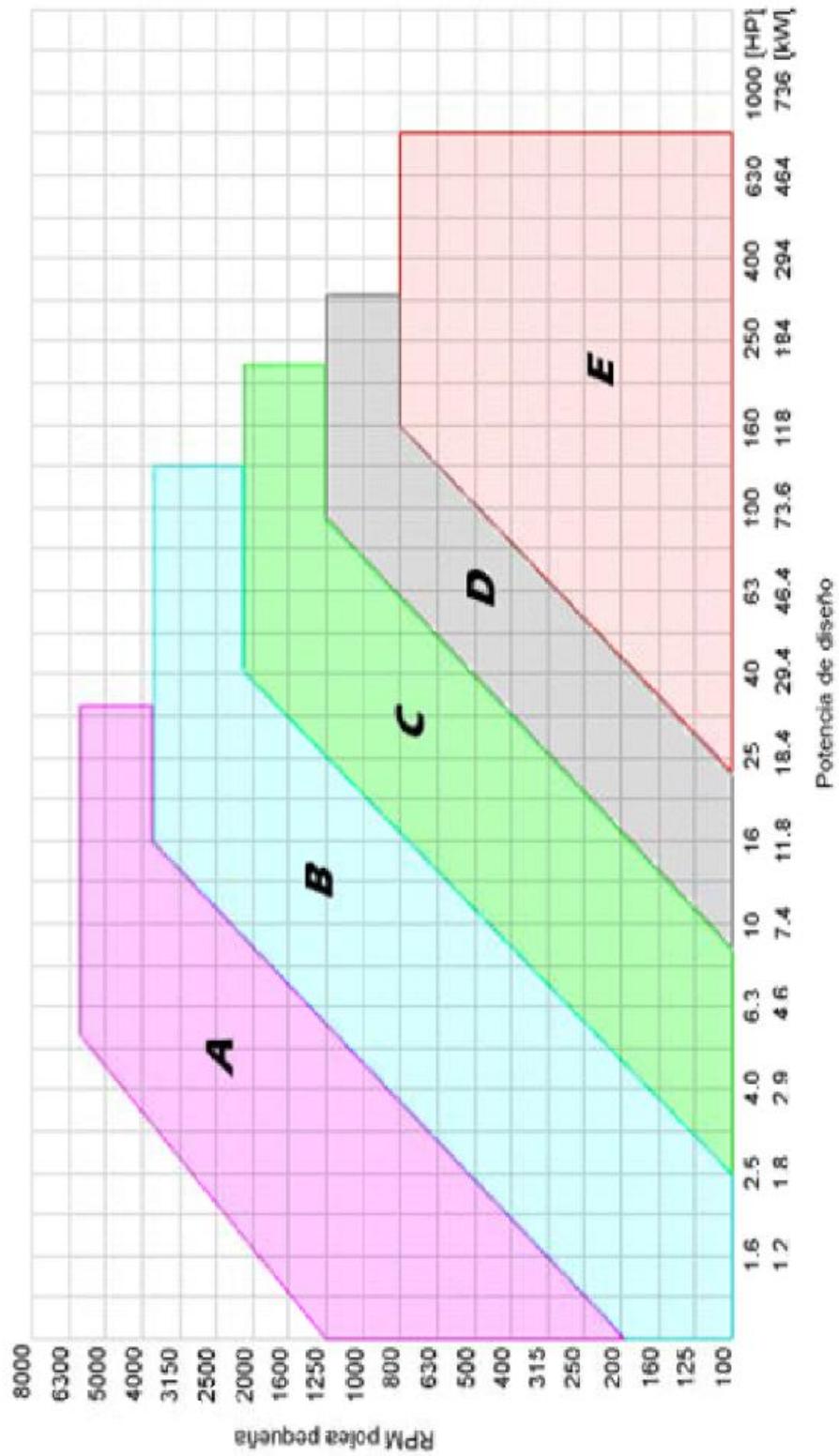
- El bagazo de caña de azúcar posee un valor de humedad residual en el después de pasar por el trapiche, que en el mejor de los casos es de 35%. La muestra presenta las condiciones aproximadas en las que se encontrará el bagazo en el momento del corte. El valor de densidad obtenido no es confiable debido a que durante el ensayo no se puede extraer todo el aire del bagazo, por ello tomamos el valor de densidad de 200 kg/m^3 indicado en el Manual del Ingeniero Azucarero, para bagazo de caña de azúcar apilado.

Anexo 4

Tabla de valores de C_1 de corrección de potencia, según las condiciones de trabajo y naturaleza de la carga.

Tipo de servicio	Condiciones de trabajo	Motor eléctrico	Motor de explosión	
			n. ell. > 4	n. ell. < 4
Ligero	Servicio intermitente – funcionamiento ≤ 6 horas diarias, ninguna punta de carga.	1	1.1	1.2
Normal	Funcionamiento de 6 a 16 horas diarias – puntas de carga o puesta en marcha $\leq 150\%$ del trabajo a plena carga.	1.2	1.3	1.4
Pesado	Puntas de carga o puesta en marcha $\leq 250\%$ del trabajo a plena carga – servicio continuo 16 a 24 horas día.	1.4	1.5	1.6
Muy pesado	Puntas de carga $> 250\%$ del trabajo a plena carga – funcionamiento conitnuo.	1.6	1.8	2

Gráfico de selección del perfil de correa



Tablas para la elección del diámetro primitivo mínimo de la polea menor en un sistema de transmisión por bandas.

Tabla a

Hp	RPM del motor					
	575	695	870	1160	1750	3450
0.5	2.5	2.5	2.5	--	--	--
0.75	3	2.5	2.5	2.5	--	--
1	3	3	2.5	2.5	2.25	--
1.5	3	3	3	2.5	2.5	2.25
2	3.75	3	3	2.5	2.5	2.5
3	4.5	3.75	3	3	2.5	2.5
5	4.5	4.5	3.75	3	3	2.5
7.5	4.25	4.5	4.5	3.75	3	3
10	6	5.25	4.5	4.5	3.75	3
15	6.75	6	5.25	4.5	4.5	3.75
20	8.25	6.75	6	5.25	4.5	4.5

Tabla b

Z	A	B	C	D	E	F	Ángulo de garganta
≥ 90	≥ 125	≥ 200	≥ 300	≥ 500	≥ 630	≥ 750	38°
---	---	---	de 200 a 280	de 365 a 475	de 500 a 800	de 670 a 710	36°
de 50 a 80	de 75 a 118	de 125 a 190	---	---	---	---	34°

Tabla de coeficientes de fluctuación para diseño de volantes

Valores típicos tomados de varias fuentes

MAQUINA IMPULSADA	C _s
Dinamos o generadores de c.c., transmisión directa	0,002
Alternadores o generadores de c.c., transmisión directa	0,0035
Máquinas de punzonar, cizallar y prensar.	0,05 – 0,1
Bocartes, estampadoras, trituradoras	0,2
Bombas alternativas, compresores	0,03 – 0,05
Máquinas herramientas, telares, máquinas para fábricas de papel	0,025
Máquinas de hilar, hilos finos a bastos	0,01 – 0,02
Transmisiones con engranajes (reductores de velocidad)	0,02

Anexo 8

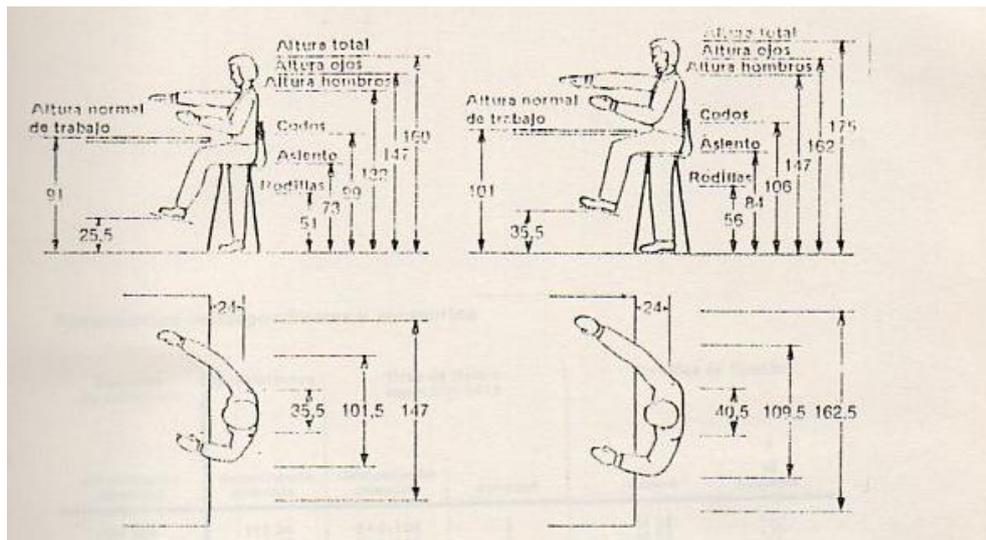
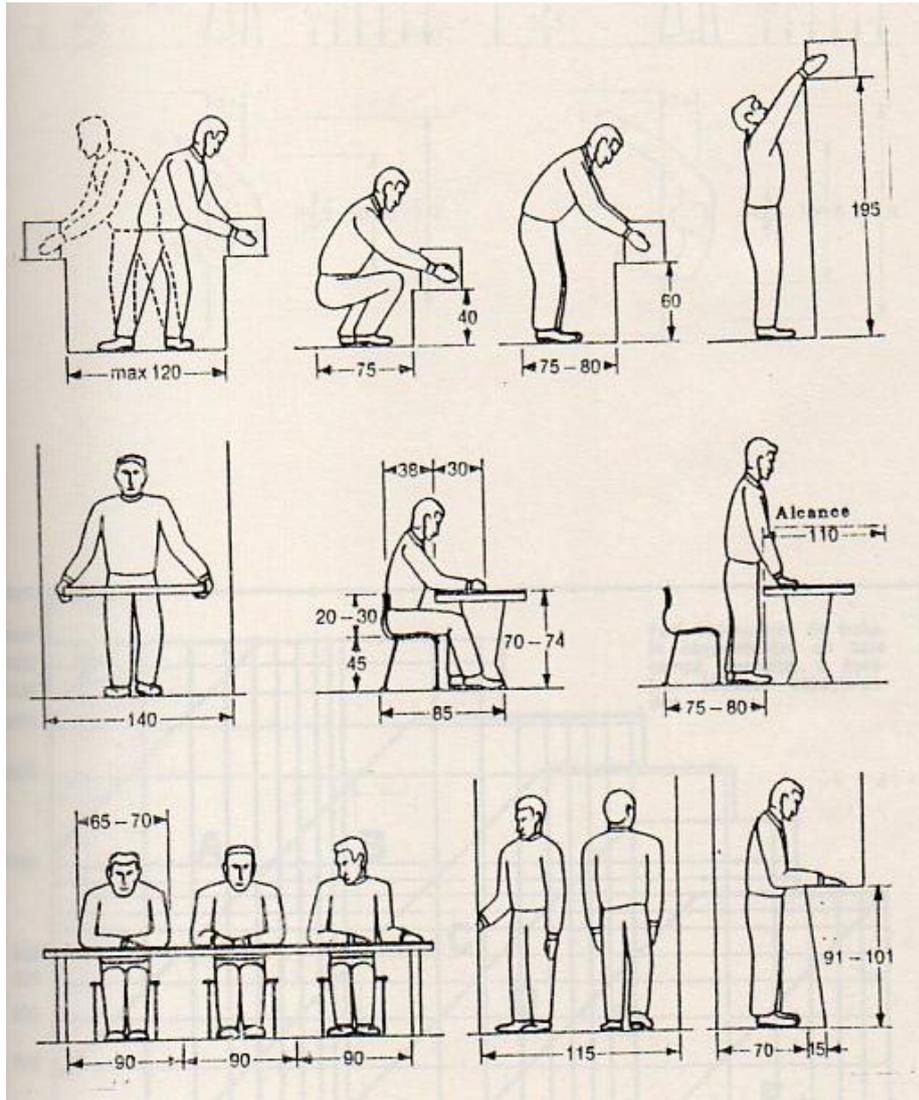
Tabla b.- Factores de corrección C_r para arcos de contacto inferiores a 180°.

Arco de contacto sobre la polea menor	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135	130	125	120	115	110	105	100	90
Transmisión trap / trap	1	0.99	0.98	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.69
Transmisión trap / plana	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.84	0.82	0.80	0.76	0.76	0.74	0.69

Tabla c.- Factores de corrección C_l en función del tipo de correa.

	Z	A	B	C	D	E	F
16	0.80						
24	0.83						
28	0.86	0.82					
35	0.92	0.87	0.81				
42	0.95	0.90	0.85				
48	0.98	0.93	0.88				
53	1.00	0.95	0.90	0.80			
66		1.00	0.94	0.84			
75		1.02	0.97	0.87			
81		1.04	0.98	0.89			
90		1.06	1.00	0.91			
105		1.10	1.04	0.94			
128		1.14	1.08	0.98	0.87		
144		1.17	1.11	1.00	0.80		
180		1.23	1.16	1.05	0.94	0.91	
240			1.22	1.11	1.00	0.96	0.87
330			1.28	1.19	1.07	1.03	0.97
420				1.24	1.12	1.09	1.03
540					1.18	1.14	1.06
720					1.24	1.21	1.09

Anexo 9



Propiedades de materiales para bandas y coeficientes de fricción:

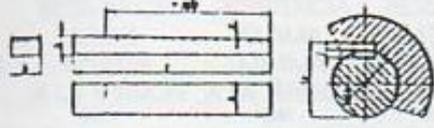
PROPIEDADES DE ALGUNOS MATERIALES PARA BANDAS PLANAS						
Material	Junta	Tamaño	Tensión permisible* lb	Carga última* lb	Resistencia última kpsi	Peso lb/pulg ²
Cuero curtido con corteza de roble	Maciza	1/2" Capa		700	3-4	0.035-0.045
Cuero curtido con corteza de roble	Remachada	1/2" Capa		300-600	1-2	0.035-0.045
Cuero curtido con corteza de roble	Enlazada	1/2" Capa		300-600	1-2	0.035-0.045
Caucho y lona de algodón	Vulcanizada	28 oz	15-25	280		0.041
Caucho y lona de algodón	Vulcanizada	32 oz	15-25	300		0.047
Algodón (totalmente)	Tejida	35 oz	15-25	320		0.051
Algodón (totalmente)	Cosida				5	0.045
Nílon (nylon)	Núcleo solamente				7	0.044
Lona de balata	Vulcanizada		22-25		35	0.040

* En libras-fuerza por pulgada de ancho y por capa.

coeficientes de fricción para el caso de cuero, caucho (o hule) y lona de algodón, sobre acero, son de 0.40, 0.35 y 0.30, respectivamente. Otros coeficientes pueden variar desde 0.30 hasta 0.70, en casos excepcionales.

Anexo 11

Medidas del área transversal de las chavetas en función del diámetro del eje:


Chavetas rectas
 (De la tabla UNIM 84)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta recta, de sección 24 x 14 y de longitud 140 mm: 24 x 14 x 140 UNIM 84.

Agrupación de diámetros D	Chavetas				Chaveteros	
	b	h	z	l	t	t ₁
de 10 a 12	4	4	0,3	de 10 a 30	2,5	D + 1,5
desde 12 » 17	5	5	0,3	» 10 » 40	3	D + 2
» 17 » 22	6	6	0,3	» 12 » 50	3,5	D + 2,5
» 22 » 30	8	7	0,3	» 20 » 70	4	D + 3
» 30 » 38	10	8	0,3	» 25 » 90	4,5	D + 3,5
» 38 » 44	12	8	0,3	» 30 » 120	4,5	D + 3,5
» 44 » 50	14	9	0,4	» 35 » 140	5	D + 4
» 50 » 58	16	10	0,4	» 45 » 180	5	D + 5
» 58 » 68	18	11	0,4	» 50 » 200	6	D + 5
» 68 » 75	20	12	0,4	» 60 » 220	6	D + 6
» 78 » 92	24	14	0,4	» 70 » 280	7	D + 7
» 92 » 110	28	16	0,5	» 80 » 300	8	D + 8
» 110 » 130	32	18	0,5	» 90 » 350	9	D + 9
» 130 » 150	36	20	0,5	» 100 » 400	10	D + 10

Prestaciones de las correas trapeciales OLEOSTATIC PIRELLI, Sección A.

Sección A

Tabla 5 (continuación) — Prestaciones de las Correas Trapeciales OLEOSTATIC PIRELLI

Veloc. lin. m/seg.	N.º Rev. Pol. Men	PRESTACION BASE																			Prestaciones añorico para relaciones de transm. de							
		Diametros primitivos de la polea menor																			a	a	a	a	a	y		
		65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	1.05	1.11	1.18	1.25	1.38	1.57	1.94	3.38	atras
200	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
400	0.24	0.30	0.36	0.41	0.47	0.52	0.58	0.63	0.68	0.74	0.79	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.11	1.16	0.01	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.10	0.11
600	0.32	0.41	0.49	0.57	0.65	0.73	0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.19	1.27	1.34	1.42	1.50	1.57	1.65	0.02	0.04	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	
800	0.39	0.50	0.60	0.71	0.81	0.91	1.01	1.12	1.22	1.32	1.42	1.52	1.61	1.71	1.81	1.91	2.00	2.10	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	
950	0.44	0.56	0.68	0.81	0.93	1.04	1.16	1.28	1.40	1.52	1.63	1.75	1.86	1.97	2.09	2.20	2.31	2.42	0.02	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	
1000	0.45	0.58	0.71	0.84	0.98	1.09	1.21	1.33	1.46	1.58	1.70	1.82	1.94	2.06	2.13	2.29	2.41	2.53	0.02	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.20	0.21	
1160	0.50	0.64	0.79	0.93	1.08	1.22	1.36	1.50	1.64	1.78	1.92	2.05	2.19	2.32	2.46	2.59	2.72	2.85	0.02	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	
1200	0.51	0.66	0.81	0.96	1.10	1.25	1.40	1.54	1.68	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39	2.52	2.66	2.79	2.93	0.03	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	
1400	0.55	0.73	0.90	1.07	1.24	1.41	1.57	1.74	1.90	2.06	2.22	2.38	2.54	2.69	2.85	3.00	3.16	3.31	0.03	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	
1600	0.56	0.74	0.91	1.08	1.25	1.42	1.59	1.76	1.93	2.09	2.25	2.41	2.57	2.73	2.89	3.04	3.20	3.35	0.03	0.09	0.13	0.17	0.20	0.23	0.25	0.27	0.29	
1750	0.59	0.79	0.98	1.17	1.36	1.55	1.74	1.92	2.10	2.28	2.46	2.64	2.81	2.98	3.16	3.32	3.49	3.66	0.04	0.10	0.14	0.18	0.22	0.26	0.28	0.31	0.33	
1800	0.63	0.85	1.06	1.27	1.48	1.69	1.89	2.09	2.29	2.49	2.68	2.83	3.00	3.19	3.37	3.55	3.73	3.90	0.04	0.11	0.17	0.21	0.25	0.29	0.31	0.34	0.37	
2000	0.68	0.90	1.13	1.36	1.59	1.81	2.03	2.25	2.47	2.68	2.83	3.10	3.30	3.50	3.70	3.90	4.09	4.28	0.05	0.12	0.18	0.23	0.27	0.31	0.34	0.38	0.41	
2200	0.69	0.94	1.20	1.44	1.69	1.93	2.17	2.40	2.63	2.86	3.08	3.30	3.52	3.73	3.94	4.14	4.35	4.54	0.05	0.13	0.20	0.25	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	
2400	0.71	0.99	1.25	1.52	1.78	2.04	2.29	2.54	2.78	3.02	3.26	3.49	3.72	3.94	4.16	4.37	4.57	4.77	0.05	0.14	0.22	0.27	0.32	0.37	0.40	0.45	0.48	
2600	0.73	1.02	1.31	1.59	1.86	2.14	2.40	2.67	2.92	3.17	3.42	3.65	3.79	4.12	4.34	4.56	4.77	4.97	0.06	0.15	0.23	0.29	0.35	0.40	0.41	0.46	0.51	
2800	0.74	1.05	1.35	1.65	1.94	2.23	2.51	2.76	3.07	3.31	3.56	3.81	4.05	4.28	4.51	4.72	4.91	5.13	0.06	0.16	0.24	0.29	0.36	0.41	0.44	0.49	0.52	
3000	0.75	1.07	1.39	1.70	2.01	2.30	2.60	2.88	3.16	3.42	3.68	3.94	4.18	4.41	4.64	4.86	5.06	5.26	0.07	0.18	0.26	0.33	0.40	0.46	0.50	0.55	0.59	
3200	0.75	1.09	1.42	1.75	2.06	2.37	2.69	2.97	3.25	3.52	3.73	4.04	4.29	4.52	4.74	4.95	5.15	5.34	0.07	0.19	0.26	0.35	0.43	0.49	0.54	0.59	0.64	
3400	0.75	1.10	1.45	1.79	2.11	2.43	2.74	3.04	3.33	3.60	3.87	4.12	4.37	4.60	4.81	5.02	5.21	5.39	0.07	0.19	0.29	0.36	0.43	0.49	0.54	0.59	0.64	
3600	0.75	1.10	1.45	1.79	2.12	2.44	2.76	3.05	3.34	3.62	3.89	4.14	4.38	4.61	4.83	5.03	5.22	5.39	0.07	0.20	0.30	0.37	0.45	0.51	0.56	0.62	0.68	
3800	0.74	1.11	1.47	1.81	2.15	2.48	2.79	3.10	3.39	3.67	3.93	4.18	4.42	4.64	4.85	5.04	5.22	5.38	0.08	0.21	0.31	0.39	0.47	0.54	0.59	0.65	0.70	
4000	0.73	1.11	1.48	1.84	2.18	2.51	2.83	3.14	3.43	3.71	3.97	4.22	4.45	4.66	4.86	5.03	5.19		0.08	0.22	0.33	0.41	0.50	0.57	0.62	0.69	0.73	
4200	0.71	1.10	1.48	1.85	2.20	2.54	2.96	3.17	3.46	3.73	3.99	4.23	4.44	4.64	4.82	4.98			0.09	0.24	0.36	0.46	0.55	0.63	0.68	0.75	0.80	
4400	0.69	1.07	1.48	1.85	2.21	2.55	2.87	3.18	3.47	3.73	3.98	4.21	4.41	4.59					0.09	0.23	0.35	0.43	0.52	0.60	0.65	0.72	0.76	
4600	0.63	1.05	1.45	1.83	2.19	2.53	2.85	3.15	3.42	3.67	3.89	4.08							0.09	0.25	0.38	0.48	0.57	0.66	0.71	0.79	0.84	
4800	0.59	1.01	1.42	1.81	2.17	2.51	2.82	3.11	3.37	3.60	3.80								0.10	0.26	0.40	0.50	0.60	0.69	0.74	0.82	0.88	
5000	0.54	0.97	1.38	1.77	2.13	2.47	2.77	3.05	3.29	3.51									0.10	0.28	0.41	0.52	0.62	0.71	0.78	0.86	0.93	
5200	0.49	0.93	1.34	1.73	2.08	2.41	2.70	2.97	3.20	3.39									0.11	0.29	0.43	0.54	0.65	0.74	0.81	0.89	0.97	
5400	0.43	0.87	1.29	1.67	2.02	2.34	2.62	2.87	3.08										0.11	0.30	0.45	0.56	0.67	0.77	0.84	0.92	1.00	
5600	0.37	0.81	1.22	1.60	1.94	2.25	2.52	2.75											0.12	0.31	0.46	0.58	0.70	0.80	0.87	0.96	1.04	
5800	0.30	0.74	1.15	1.52	1.86	2.15	2.40												0.12	0.32	0.48	0.60	0.72	0.83	0.90	0.98	1.07	
6000	0.22	0.66	1.07	1.43	1.75	2.03	2.26												0.12	0.33	0.50	0.63	0.75	0.86	0.93	1.03	1.10	

Para las transmisiones indicadas en la parte coloreada es aconsejable el uso de la sección inferior

NOTA: Para valores de transmisión inferiores a 1.02 la prestación adicional es nula.