



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
DESMENUZADORA DE TURBA Y/O TIERRA  
PARA VIVERO”**

**LÓPEZ MIRANDA ANDERSON ROGELIO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2006**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

**Febrero, 23 del 2006**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ANDERSON ROGELIO LÓPEZ MIRANDA**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESMENUZADORA DE  
TURBA Y/O TIERRA PARA VIVERO”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Juan Silva  
ASESOR DE TESIS

---

Ing. Washington Ruales  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ANDERSON ROGELIO LÓPEZ MIRANDA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESMENUZADORA DE TURBA Y/O TIERRA PARA VIVERO”

**Fecha de Examinación:** Febrero, 23 del 2006

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ramiro Valenzuela (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Geovanny Novillo A. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Washington Ruales (ASESOR)			
Ing. Juan Silva (ASESOR)			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación, diseño y construcción 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 del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Anderson Rogelio López Miranda

## **DEDICATORIA**

Todo el esfuerzo realizado en el desarrollo de la tesis se la dedico al sacrificio abnegado mi padre Mentor López y mi madre Norma Miranda; a mis familiares quienes han permanecido a mi lado y han sido una fuente de ánimo en las buenas y en las malas; a todos quienes forman parte de la Escuela de Ingeniería Mecánica y a la gran familia de amigos que dios me ha dado durante mi vida estudiantil en esta querida ciudad.

**Anderson López**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad. A los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica que me impartieron su conocimiento y habilidades durante toda la etapa estudiantil, a todos quienes de una u otra manera han colaborado con la realización y culminación de la presente tesis, de manera muy especial al Ing. Geovanny Novillo director de tesis y a los señores asesores Ing. Washington Ruales, Ing. Juan Silva. A todos mis amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestra vida.

**Anderson López**

## **CONTENIDO**

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Justificativos.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Clases de tierras para vivero.....	5
2.1.1	<i>Turba</i> .....	5
2.1.1.1	<i>Formación</i> .....	5
2.1.1.2	<i>Origen de los depósitos orgánicos</i> .....	5
2.1.1.3	<i>Clasificación taxonómica de la turba</i> .....	6
2.2	Tipos y clases de turbas.....	7
2.2.1	<i>Según las condiciones de formación</i> .....	7
2.2.2	<i>Según los materiales originarios</i> .....	8
2.3	Composición y propiedades de las turbas.....	8
2.3.1	<i>La composición botánica</i> .....	8
2.3.2	<i>Grado de putrefacción de la turba</i> .....	9
2.3.3	<i>Cantidad de ceniza en la turba</i> .....	10
2.3.4	<i>El contenido de nutrientes</i> .....	10
2.3.5	<i>Capacidad de retención de humedad y absorción</i> .....	10
2.4	Empleo de la turba en la agricultura.....	11
2.4.1	<i>Usos de la turba</i> .....	11
2.5	Triturado de la tierra.....	13
2.5.1	<i>Procedimiento tradicional y modificado</i> .....	13
2.5.1.1	<i>Características del producto a moler</i> .....	13
2.5.1.2	<i>Métodos de trituración</i> .....	14
2.5.2	<i>Grado de trituración</i> .....	15
<b>3.</b>	<b>TIPOS DE MOLIENDA Y TRITURADORAS</b>	
3.1	Trituradoras.....	16
3.1.1	<i>Trituradoras de mandíbulas</i> .....	16
3.1.2	<i>Trituradoras giratorias</i> .....	17
3.1.3	<i>Trituradoras de rodillos</i> .....	18
3.2	Molinos.....	19
3.2.1	<i>Molinos de martillos</i> .....	19
3.2.2	<i>Molinos giratorios</i> .....	19

3.2.3	<i>Molino de ultrafinos.....</i>	20
3.3	<i>Máquinas cortadoras.....</i>	21
3.3.1	<i>Cortadora giratoria de cuchillas.....</i>	21
3.4	<i>Selección de alternativas.....</i>	22
3.4.1	<i>Selección de la mejor alternativa.....</i>	23
3.4.2	<i>Descripción general de la desmenuzadora de cuchillas.....</i>	26
3.4.2.1	<i>Elementos fundamentales de la desmenuzadora.....</i>	27
<b>4.</b>	<b>DISEÑO</b>	
4.1	<i>Diseño de la desmenuzadora seleccionada.....</i>	31
4.1.1	<i>Parámetros funcionales.....</i>	31
4.1.1.1	<i>Volumen de turba a desmenuzar.....</i>	31
4.1.1.2	<i>Velocidad de rotación de la desmenuzadora.....</i>	32
4.1.1.3	<i>Velocidad angular del rotor.....</i>	34
4.1.1.4	<i>Potencia del motor.....</i>	34
4.1.1.4.1	<i>Leyes de la trituración.....</i>	34
4.1.1.4.2	<i>Selección del motor.....</i>	37
4.1.2	<i>Diseño y selección de sus elementos.....</i>	37
4.1.2.1	<i>Diseño del sistema desmenuzador.....</i>	37
4.1.2.1.1	<i>Diseño de las cuchillas.....</i>	38
4.1.2.2	<i>Diseño de la tolva y criba.....</i>	48
4.1.2.2.1	<i>Diseño de la tolva.....</i>	48
4.1.2.3	<i>Diseño de la transmisión.....</i>	50
4.1.2.3.1	<i>Procedimiento de selección.....</i>	51
4.1.2.4	<i>Diseño del eje.....</i>	59
4.1.2.4.1	<i>Determinación de las fuerzas actuantes en el eje.....</i>	59
4.1.2.4.2	<i>Determinación de los esfuerzos en el eje principal.....</i>	60
4.1.2.4.3	<i>Diseño estático.....</i>	64
4.1.2.4.4	<i>Diseño a fatiga.....</i>	64
4.1.2.4.5	<i>Cálculo de la velocidad crítica del eje.....</i>	65
4.1.2.5	<i>Selección de partes.....</i>	68
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE Y COSTOS</b>	
5.1	<i>Generalidades del proceso.....</i>	70
5.2	<i>Operaciones tecnológicas.....</i>	72
5.2.1	<i>Cursograma del proceso de la construcción.....</i>	72
5.2.2	<i>Tiempo Empleado de las máquinas, herramientas en la construcción....</i>	80
5.3	<i>Montaje.....</i>	80
5.3.1	<i>Operaciones tecnológicas.....</i>	81



5.3.2	Cursograma del montaje de la máquina.....	81
5.3.3	Tiempo empleado en el montaje de la máquina.....	83
5.4	Análisis de costos para la desmenuzadora.....	83
5.4.1	<i>Costos directos</i> .....	83
5.4.2	<i>Costo indirectos</i> .....	87
5.5	Tiempo de recuperación de la inversión.....	87
<b>6.</b>	<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	
6.1	Instalación de la maquina desmenuzadora.....	90
6.1.1	<i>Conexión eléctrica</i> .....	90
6.2	Pruebas y evaluación del equipo.....	91
6.2.1	<i>Verificación del montaje de los elementos</i> .....	91
6.2.2	<i>Pruebas en vacío</i> .....	91
6.2.2.1	<i>Determinación de la velocidad del rotor</i> .....	91
6.2.2.2	<i>Determinación de la potencia del motor en vacío</i> .....	92
6.2.2.3	<i>Potencia de consumo</i> .....	92
6.3	Operación.....	94
6.4	Resultados.....	94
6.5	Mantenimiento.....	96
6.5.1	<i>Ventajas del mantenimiento</i> .....	97
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones.....	98
7.2	Recomendaciones.....	99

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

### LINKOGRAFÍA

### ANEXOS

### PLANOS

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Selección de la trituradora.....	22
2	Evaluación del peso específico de cada criterio.....	25
3	Evaluación del peso específico del criterio peso.....	25
4	Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad.....	26
5	Evaluación del peso específico del criterio costos.....	26
6	Tabla de conclusiones.....	26
7	Pruebas de trituración.....	33
8	Velocidad de rotación del rotor.....	34
9	Tipos de desgaste.....	40
10	Deflexiones en el eje principal.....	68
11	Selección de horas vida del rodamiento.....	68
12	Elementos constituyentes de la desmenuzadora.....	70
13	Maquinaria y equipo utilizado.....	71
14	Herramientas utilizadas en la construcción.....	71
15	Operaciones tecnológicas.....	72
16	Tiempos empleados en las máquinas, equipos y herramientas.....	80
17	Operaciones tecnológicas del montaje.....	81
18	Costo mensual al patrono de cada trabajador.....	84
19	Costo de mano de obra al construir la máquina.....	84
20	Costo de equipos y herramientas.....	85
21	Costo de materiales.....	86
22	Valores de carga y potencia durante las pruebas.....	93
23	Tabla de mantenimiento	96

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Origen de la turba.....	6
2 Usos de la turba.....	12
3 Métodos de trituración.....	14
4 Trituradora de mandíbulas.....	16
5 Trituradora giratoria.....	17
6 Trituradora de rodillos lisos.....	18
7 Trituradora de un solo rodillo dentado.....	18
8 Molino de martillos.....	19
9 Molino de bolas cónico.....	20
10 Molino de martillos con clasificación interna.....	20
11 Cortadora de cuchillas giratoria.....	21
12 Conjunto de cuchillas móviles.....	23
13 Conjunto de cuchillas fijas.....	24
14 Esquema de la cortadora de cuchillas.....	27
15 Transmisión.....	28
16 Rotor.....	28
17 Conjunto estático de cuchillas.....	29
18 Bancada.....	29
19 Tolva.....	30
20 Cargas en la placa.....	42
21 Cargas en la cuchilla.....	43
22 Esfuerzos en las cuchillas.....	44
23 Esfuerzos fluctuantes.....	46
24 Cargas en la tolva.....	50
25 Arco de contacto para banda normal.....	53
26 Fuerzas debido a la transmisión.....	55
27 Polea motriz.....	57
28 Polea conducida.....	58
29 Banda.....	58
30 Fuerza cortante XY.....	61

31	Fuerza cortante XZ.....	61
32	Fuerza cortante resultante.....	62
33	Momento flector XY.....	62
34	Momento flector XZ.....	63
35	Diagrama del momento flector resultante.....	63
36	Puntos donde las cargas producen deflexiones.....	66
37	Cursograma de la construcción.....	73
38	Cursograma del montaje de la máquina.....	82
39	Instalación de la máquina.....	90
40	Pruebas de evaluación del equipo.....	93
41	Terrones de turba.....	94
42	Turba desmenuzada.....	95
43	Resultados del desmenuzado de Turba.....	95

## LISTA DE ABREVIACIONES

A	Área
API	Instituto Americano del Petróleo
API 653	Norma para Reparación, Funcionamiento e Inspección de Tanques de Almacenamiento
RPM	Revoluciones por minuto
ANSI	Instituto Nacional Americano Estándar (American National Estándar Institute)
ASME	Sociedad americana de Ingenieros Mecánicos
B.31.3	Código para Tuberías de Proceso
B.31.1	Código para Tuberías de Potencia
APU.	Análisis de Precios Unitarios

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidades</b>
<b>I</b>	Grado de Trituración	
<b>S<sub>y</sub></b>	Límite de fluencia	Lbs/plg <sup>2</sup>
<b>S<sub>ut</sub></b>	Resistencia última a la tensión	Lbs/plg <sup>2</sup>
<b>D</b>	Diámetro exterior	Mm
<b>T</b>	Espesor	Mm
<b>d</b>	Diámetro interior	Mm
<b>A</b>	Área	mm <sup>2</sup>
<b>F</b>	Fuerza	Kg
<b>Q</b>	Capacidad Real de Trabajo por Hora	Tn/min
<b>K<sub>m</sub></b>	Rigidez del material	kg/cm
<b>P</b>	Densidad	kg/m <sup>3</sup>
<b>Θ</b>	Ángulo	Grados
<b>V</b>	Velocidad lineal de la piedra	m/s
<b>v<sub>c</sub></b>	Velocidad de la cuchilla	m/s
<b>W</b>	Velocidad angular	rad/s
<b>P</b>	Potencia	Hp
<b>R</b>	Radio	Mm
<b>P<sub>r</sub></b>	Potencia requerida	Hp
<b>V</b>	Volumen	m <sup>3</sup>
<b>Co</b>	Capacidad de carga dinámica requerida	
<b>Se</b>	Límite de fatiga	
<b>K<sub>a</sub></b>	Factor de superficie	
<b>K<sub>b</sub></b>	Factor de tamaño	
<b>K<sub>c</sub></b>	Factor de confiabilidad	Kg
<b>K<sub>g</sub></b>	Factor de temperatura	Kg
<b>K<sub>e</sub></b>	Factor de concentración de tensiones	mm <sup>3</sup>
<b>K<sub>t</sub></b>	Factor de concentración de esfuerzos	m/s <sup>2</sup>
<b>Q</b>	Factor de sensibilidad	KN
<b>Σ<sub>eq</sub></b>	Esfuerzo equivalente	

## LISTA DE ANEXOS

<b>A</b>	Índices de Trabajo
<b>B</b>	Perfiles Laminados. Platinas
<b>C</b>	Especificaciones de los Aceros a 36
<b>D</b>	Módulo de Elasticidad de los Aceros
<b>E</b>	Factor de Superficie
<b>F</b>	Factor de Tamaño
<b>G</b>	Factor de Confiabilidad y Concentración de Esfuerzos
<b>H</b>	Factor de Servicio, Potencia Corregida y Diámetros Primitivos
<b>I</b>	Selección de Diámetros Primitivos
<b>J</b>	Distancia entre Centros
<b>K</b>	Prestaciones de las Correas
<b>L</b>	Factores de Corrección
<b>M</b>	Dimensiones de las Poleas
<b>N</b>	Propiedades del Acero ASSAB 705
<b>O</b>	Ángulos L
<b>P</b>	Planchas de Acero A 36
<b>Q</b>	Varillas redondas y cuadradas
<b>R</b>	Selección de Rodamientos
<b>S</b>	Planos

## RESUMEN

La gran riqueza Edafológica de nuestro país, nos brinda la oportunidad de explotar la Turba. Por su alto contenido de nutrientes es uno de los mejores abonos existentes, pero para su uso necesita ser procesado. La turba se obtiene en minas existentes en los páramos andinos en forma de pequeños bloques.

El presente trabajo tiene que ver con el Diseño de una máquina Desmenuzadora de Turba la cual desmenuza los trozos de Turba, remplazando el trabajo manual forzado por el que realiza la máquina. La Desmenuzadora ofrece una alternativa económica para los productores de abonos por su costo accesible y una recuperación de la inversión en un plazo corto.

Esta es una máquina estacionaria con las siguientes dimensiones: La base, (71x67) cm; la altura, 114 cm. El mecanismo desmenuzador está hecho de cuchillas fijas y móviles. Las cuchillas fijas son montadas sobre la bancada y las móviles sobre el rotor. Las cuchillas móviles pasan a través de las fijas desmenuzando el material previniendo que se pegue el material a las paredes por su alto contenido de humedad. La transmisión es por medio de bandas, la velocidad del motor es de 1750 rpm y la del rotor de 1000 rpm. Las partes de la Desmenuzadora fueron diseñadas de tal forma que puedan garantizar un adecuado montaje, intercambiabilidad de sus partes y fácil operación.



## **ABSTRACT**

The great edaphological richness of our country gives us opportunity to explore the turf. Because of its high nutrient content it is one of the best existing fertilizers, but its use needs to be processed. It is obtained in mines existing in the high grasslands of the Andean Range in small blocks.

The present work deals with the turf mincing machine design which grinds turf pieces replacing forced hand work. The mincing machine offers an economic alternative for the greenhouses and fertilizer producers because of its cost and a short-term investment return.

It is a stationary machine with the following measurements: The base, (71 x 67) cm; its height, 114 cm. The mincing device is made up of blades, and has fixed and movable blades. The fixed blades are mounted on the bed and the movable ones on the axle. The movable blades pass through the fixed ones mincing the material preventing it from sticking because of its humidity content. The transmission power is 5 horse powers; the transmission is trough bands, the motor speed, 1750 rpm and the axle speed, 1000 rpm. The parts are designed in such a way that they can guarantee mounting, part exchangeability and easy operation.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Introducción**

Nuestro país es poseedor de una gran riqueza edafológica que poco a poco se la va descubriendo con el pasar de los años. La edafología es la ciencia que estudia las características de los suelos, su formación y su evolución; de esta se deriva la Pedología que es la ciencia que estudia las tierras aptas para el cultivo. Es así que en la región de los valles interandinos tenemos grandes acumulaciones de humus enriquecido con la ceniza de las constantes erupciones volcánicas ocurridas en el pasado que al combinarse con restos vegetales y animales dan origen a los diferentes tipos de suelos.

En una agricultura de subsistencia de baja intensidad, los nutrientes que precisan los cultivos deberán provenir de abonos orgánicos, para que sea interrumpido el cultivo trashumante y todas sus negativas consecuencias. Desgraciadamente el uso de abonos orgánicos, especialmente en regiones sin la correspondiente tradición no es fácilmente aceptada por la población rural porque existen restricciones socioeconómicas y opción por el gran volumen de trabajo requerido sin beneficios inmediatamente visibles.

SCHENINGH Y WICHMANN. –Señalan que: Los abonos orgánicos tienen muchas propiedades positivas a parte de su contenido de nutrientes, que las hacen muy valiosas para la mejora de la fertilidad de la tierra.

La aplicación de los abonos orgánicos favorece a la actividad biológica, capacidad de intercambio de nutrientes, el balance hídrico, el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo. Una de las consecuencias es la menor tendencia a la erosión de estos suelos. El uso regular de los abonos orgánicos es muchas veces un prerrequisito para que los suelos de las altas zonas, con una inerte baja fertilidad, pueden soportar la agricultura.

Con esta práctica mejora la capacidad de retención de nutrientes del suelo y el desarrollo de las raíces; finalmente ayuda a mejorar la eficacia de los abonos minerales y el rendimiento del cultivo, lo cual hace que su uso sea más económico.

Una alternativa para nuestro medio, como fuente de materia orgánica, lo constituye la "TURBA", que según BUCKAN y BRADY es un tipo de suelo orgánico con un rico contenido de materia orgánica descompuesta, que en ocasiones sobrepasa el 80% de contenido de materia orgánica.

En nuestro país existen amplias extensiones de suelos de tipo turboso, que se han originado de acumulaciones de material vegetal que por efecto del ecosistema se han ido descomponiendo lentamente.

La TURBA hasta la actualidad no ha sido aprovechada por los agricultores, debido al desconocimiento de sus características y bondades para el desarrollo y producción de sus cultivos.

## **1.2 Antecedentes**

Dado que la agroindustria es una de las fuentes de trabajo del ingeniero mecánico la cual no ha sido explotada y que nos brinda muchos campos de aplicación, es así que en la actualidad en nuestro país por la tala indiscriminada de árboles se realizan programas de reforestación ya sea a través del consejo provincial y de organizaciones nacionales e internacionales que tienen esta misión razón por la que existe una mayor demanda en la producción de plantas y árboles en los viveros.

El FEPP (Frente Ecuatoriano de Progreso Popular) es una de las organizaciones que da prioridad a la formación de viveros forestales, es así que en nuestro país esta organización está distribuida en algunas provincias, desde las cuales se brinda asesoramiento, investigación y producción de todo tipo de plantas y árboles como pino, ciprés, nogal, laurel, hortalizas, árboles frutales, etc.

En la ciudad de Guaranda se encuentra ubicado el Vivero Forestal "SAN JOSE" perteneciente al FEPP. Su producción se basa principalmente en árboles para forestación y reforestación, para lo cual preparan la tierra utilizando como su principal componente la TURBA, que actualmente es explotada de minas existentes cerca de la parroquia de San Juan en la provincia del Chimborazo para luego ser llevada en forma de bloques pequeños hasta la ciudad de Guaranda, lugar donde se encuentra ubicado el vivero.

La Turba se transporta en volquetas con capacidad de 5 m<sup>3</sup> requiriéndose para el desmenuzamiento 10 m<sup>3</sup> diarios, la turba que llega hasta el vivero se la deja reposar por una semana, luego de lo cual se procede a realizar el desmenuzamiento.

### **1.3 Justificativos**

Actualmente el proceso de desmenuzamiento en el vivero lo hacen en forma manual, siendo este muy cansado y no de mucho agrado para los trabajadores; el personal que se necesita para este trabajo es de 6 personas, distribuyéndose el trabajo en 4 etapas:

Primeramente 2 obreros rompen los trozos más grandes de turba, otros 2 se encargan de apisonar los trozos de turba mas pequeños hasta desmenuzarlos completamente, otro obrero recoge la turba desmenuzada en sacos y otro se encarga de llevar los sacos hasta el lugar donde se prepara los sustratos. Antes de la mezcla se zarandea la turba recogida, para extraer los terrones, raíces y otros elementos que no han sido desmenuzados completamente.

La necesidad de optimizar el desmenuzado de la turba remplazando el trabajo manual forzado por una forma mecanizada mediante la cual se obtiene un desmenuzado homogéneo, con una granulometría adecuada y con una trituración rápida del volumen requerido para la producción en el vivero es así que el trabajo que lo realizan en una semana se lo reduciría a 2 días de trabajo pudiéndose los días restantes realizar con el mismo personal las labores de siembra de las plantas, además se evitaría el proceso de zarandeo ya que la turba desmenuzada que se obtiene sería completamente desmenuzada y homogénea.

Con la construcción de la desmenuzadora de turba el personal requerido se reduciría a dos obreros, el primero se encargaría de colocar la turba en la tolva y el otro de recogerla.

La escasez en el mercado de maquinaria con estas características hace que surja la necesidad del diseño y construcción de este tipo de desmenuzadora, con bajos costos de mantenimiento, energía, facilidad de intercambiabilidad de sus partes y una vida útil aceptable.

La tecnología de la utilización de máquinas de preparación de tierras proviene de Alemania las cuales han dado muy buenos resultados en las zonas agrícolas europeas.

### **1.4 Objetivos**

**1.4.1** *Objetivo general.* Seleccionar, diseñar y construir una máquina para el desmenuzado de la turba.

**1.4.2** *Objetivos específicos*

- Seleccionar y diseñar los elementos de la máquina.
- Satisfacer la necesidad específica de la agro-industria.
- Conseguir que la máquina tenga un costo accesible y el capital invertido sea recuperado con la producción de la máquina en un plazo no muy largo.
- Optimizar el trabajo reemplazando el trabajo manual forzado por el que realizará la máquina.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Clases de tierras para vivero

##### 2.1.1 *Turba*

La turba se ha formado como resultado de la desaparición e incompleta descomposición de la vegetación pantanosa en condiciones de excesiva humedad y deficiencia de aire. Las turbas son restos vegetales fermentados de un alto contenido de nutrientes, por lo que es uno de los mejores abonos existentes.

##### 2.1.1.1 *Formación*[1]

Toda turba se compone de restos vegetales no humidificados de mantillo y de inclusiones minerales. Las clases y tipos de turbas son muy diversos y de distinta calidad. Por esta razón los modos de su empleo como fertilizante son desiguales. La turba como abono orgánico rara vez se aplica sola, más bien en combinación con estiércol, fertilizantes minerales o fecal, dando lugar a la mezcla “compost”.

##### 2.1.1.2 *Origen de los depósitos orgánicos*[2]

BUCKMAN Y BRADY, manifiestan que: “Según el contenido orgánico, los suelos pueden ser orgánicos y minerales. Los suelos orgánicos varían con el contenido de materia orgánica, desde trazas con un 15 al 20% de materia orgánica, otros con un contenido que va de 20 al 25% y en algunos casos del 90 al 95%, se llaman arbitrariamente suelos orgánicos. Un aspecto característico que identifica a los suelos orgánicos es su estratificación o una serie de capas que representan los cambios de las clases de plantas que produjeron la materia orgánica como un resultado de las modificaciones en el clima o nivel de agua”.

MATTHEI, en sus estudios dice que: La turba se origina en suelos formados con altas precipitaciones, baja evapotranspiración y malas condiciones de drenaje, se pueden almacenar grandes cantidades de agua que retardan o impiden el proceso de oxidación de la sustancia orgánica, donde con el tiempo la sustancia orgánica se transforma poco a poco en turba, pudiéndose reconocerse la estructura de las plantitas en las primeras fases de humidificación. En fases mas avanzadas, la estructura orgánica es imperceptible a simple vista, aunque se puede constatar una

estructura fibrosa y una textura terrosa. El grado de humidificación aumenta, con la edad de la turbera y además con la profundidad del horizonte turboso.

Figura1. Origen de la turba



Fuente: [www.canstockphoto.es](http://www.canstockphoto.es)

### **2.1.1.3 Clasificación taxonómica de la turba**

Según la taxonomía de suelos USDA citado en FITZPATRICK, clasifica a la turba dentro del orden HISTOSOLS, y dice que “Estos suelos están compuestos principalmente por materia orgánica y en general se le conoce como turbas, turbas evolucionadas (mucks), turbas parcialmente descompuestas (bogs) y brezales(moros). La mayoría de ellos de ordinario están saturados de agua, a menos que se les drene, pero unos cuantos pueden estar no saturados la mayor parte del tiempo.

Los Histosols se pueden formar en cualquier clima, siempre que hay agua suficiente. Muchos se forman en depresiones cerradas, pero en climas muy húmedos pueden cubrir la zona. La característica determinante es el agua, que puede provenir de una diversidad de fuentes. La clasificación de la Histosols es provisional debido que en ellos se han hecho relativamente pocas investigaciones.

La TURBA está clasificada dentro del suborden FIBRITIS y FITZPZTRICK, manifiesta que estos suelos consisten en forma predominante en restos de plantas ligeramente

descompuestos, pero tienen una amplia diversidad de composición botánica. Tienden a tener menor densidad aparente y el contenido de cenizas más bajo, excepto en casos en que habido adiciones de ceniza volcánica o de material arrastrado por el viento.

El criterio basado en la descomposición de los materiales orgánicos permite identificar un solo SUBORDEN: FIBRITIS. Este suborden corresponde a los histosoles compuestos de residuos orgánicos fibrosos poco o ligeramente descompuestos (turba fibrosa) pudiendo ser rápidamente identificables desde el punto de vista de su origen botánico. Varios son los factores que pueden limitar su transformación: la actividad biológica, condiciones hídricas del medio, composición de los residuos, temperatura, acidez o tiempo.

## **2.2 Tipos y clases de turbas [3]**

El tipo de turba está predeterminado por las condiciones de su formación, en particular, por la situación de la turbera con respecto al relieve. Al mismo tiempo la clase de turba está definida principalmente por los restos vegetales que la componen.

**2.2.1 Según las condiciones de formación.** Según las condiciones de formación de las turberas las turbas se dividen en tres tipos: altas (blancas), bajas (negras) y de transición.

*Turba de alta turbera.* La turba de alta turbera se ha formado en lugares de alto nivel y está constituida por restos vegetales de musgos esfagníneos, vellosinas, romero silvestre y otras plantas que resaltan por su poca exigencia a la alimentación y a la humedad.

*Turba de baja turbera.* La turba de baja turbera se ha formado en lugares de bajo nivel con la influencia de las aguas freáticas. En su formación participan musgos hipnáceos, plantas herbáceas tales como carex, cañas, equisetos, y plantas arbóreas: aliso, abedul, abeto, pino, sauce, y otras plantas exigentes a la humedad y a las sustancias nutritivas.

*Turba de turbera transitoria.* La turba de turbera transitoria ocupa la posición intermedia. Sus capas inferiores se encuentran cerca de la baja turbera y las superiores, cerca de la alta turbera.

El nombre de la clase de turba lo predeterminan las plantas que la forman el contenido



de cuyos restos poco descompuestos en ella constituye no menos de un 20% de la masa de materia seca.

En la evaluación agronómica de los diferentes tipos y clases de turba tiene mucha importancia su composición botánica, grado de putrefacción, contenido en cenizas, en sustancias nutritivas, acidez y capacidad de retención de humedad.

**2.2.1** *Según los materiales originarios.* Según los materiales originarios los tipos de turbas son: sedimentarias, leñosas y fibrosas.

Según BUCKMAN y BRADY, señalan que existen tres tipos de turbas, en base a su estado de descomposición; se pueden clasificar las turbas según sus materiales originarios, estas son:

*Turbas sedimentarias.* Originario de mezclas de lirios de agua, patamogometon, ranúnculos, polen, plancton, etc., este tipo es muy indeseable para un suelo porque su mala condición física lo hace inadaptable para el cultivo de las plantas.

*Turbas leñosas.* Originadas por árboles de hoja caduca y coníferas, junto con su desarrollo subterráneo. Los residuos leñosos producen un suelo, no obstante superior y muy solicitado para el crecimiento de hortalizas y otros cultivos.

*Turbas fibrosas.* Proceden de juncos de varias clases, musgos: Sphagnum, hypnum y otros, cañas y otras gramíneas. Estas turbas son muy ricas en capacidad de retención acuosa y pueden presentarse en varios grados de descomposición. Difieren entre sí sobre todo en la naturaleza física filamentosa o fibrosa.

Todos los materiales fibrosos, en cuanto se van descomponiendo, pueden dar suelos agrícolas buenos, pudiendo variar su productividad. Estas turbas se pueden encontrar en la superficie de la acumulación orgánica de la cual forma parte.

### **2.3. Composición y propiedades de los distintos tipos y clases de turba**

**2.3.1** *La composición botánica.* Es un rasgo importante que caracteriza la calidad de la turba en el sentido agroquímico. Así la turba de alta turbera de musgos esfagníneos se distingue por la pobreza en sustancias nutritivas, poco contenido de cenizas, reacción ácida y bajo grado de humificación. Por esto la turba esfagnínea de alta turbera no sirve para su aplicación directa como abono.

Al mismo tiempo la turba esfagnínea, debido a su gran capacidad de retención de humedad y facultad de absorber las sustancias gaseiformes, constituye buen material para cama del ganado. La turba que contiene restos de vegetación herbácea como por ejemplo carex, cañas, así como también restos de plantas arbóreas es mas rica en elementos cenizosos y se caracteriza por el alto grado de descomposición. La turba alisal es mas rica en nitrógeno debido al desarrollo de nódulos en las raíces del aliso. Ella tiene alto grado de descomposición y sirve como fertilizante inmediatamente después de haberse extraído y aireado sin necesidad de recurrir a la previa elaboración del "compost".

En la evaluación de la turba como material para la obtención de abonos tienen importancia la composición y correlación en ella entre distintos compuestos orgánicos. Tales sustancias como lignina, bitumen, brea, cera y ácidos grasos que entran en la composición de la turba, son muy resistentes a la descomposición microbiana. Su elevado contenido en la turba retarda la descomposición de ésta en el suelo. Los compuestos proteicos y otros con contenido de nitrógeno de la turba se descomponen con mayor facilidad por los microorganismos.

La turba esfagnínea de alta turbera es rica en celulosa, liemicelulosa (en conjunto cerca de un 40%) y muy pobre en materia gumífera (no mas de un 20%). Contiene también mucho bitumen. La turba ciperácea de baja turbera es rica en materia gumífera (cerca de un 50%), siendo esta materia cualitativamente muy distinta de la turba de alta turbera. La materia gumífera en la turba de baja turbera es mas estrechamente asociada con el calcio que en la turba de alta turbera.

**2.3.2** *Grado de putrefacción de la turba.* Con 5 al 25% de sustancias humificadas se llama turba de descomposición ligera. Conviene emplearla para cama, pasándola por los establos, y después como abono en forma de estiércol de turba.

Con grado de putrefacción de 25 al 40% se llama turba de descomposición moderada. Esta turba es mejor emplearla como abono en forma de compost.

Con grado de putrefacción mayor del 40% se llama turba fuertemente descompuesta. Se puede emplear como abono después de su extracción y aireación incluso sin la preparación previa de compost, pero junto con otros fertilizantes orgánicos y minerales. La turba musgosa de los tres tipos de turbera (alta, transitoria y baja) posee el menor grado de putrefacción (5 al 25%). La turba herbácea tiene alto grado de putrefacción (20 al 40%), y la arbórea alcanza el máximo (35 al 70%).

Un grado aproximado de putrefacción se determina por el aspecto exterior de la turba. La turba bien descompuesta por su aspecto exterior es marrón oscura, casi negra; una bola de esta turba al apretarla con la mano se pega a esta, la ensucia y pasa a través de los dedos. La turba de descomposición moderada es de color marrón claro. En ella se puede observar a simple vista los filamentos no descompuestos de los restos vegetales; al apretar tal turba con la mano, su masa no pasa entre los dedos y no ensucia la mano.

**2.3.3** *Cantidad de ceniza en la turba.* Existen turbas de normal cantidad de ceniza y de alta cantidad. Se llama normal la turba que contiene hasta el 12% de ceniza y alta cuando tiene más del 12%. La turba de alta cantidad de ceniza se encuentra entre la turba de baja turbera. La turba de alta turbera contiene hasta un 5% de ceniza, la de turbera transitoria de 5 a 10% y la turba de contenido normal de ceniza de baja turbera de 8 a 12%, a veces esta última alcanza hasta un 30% de ceniza.

Entre los elementos cenizosos de la turba lo que mas importancia agronómica tiene son el calcio y el fósforo.

**2.3.4** *El contenido de nutrientes.* La turba lo mismo que el estiércol, contiene todos los elementos nutritivos indispensables para las plantas, pero en otra proporción. De los tres elementos de nutrición (N, P, K) el que mas se encuentra en ella es el nitrógeno (En la masa absolutamente seca de turba de alta turbera de 0.7 a 1.5%, en la de baja turbera de 2.5 al 3.5%).

Sin embargo la parte fundamental de nitrógeno en la turba se mantiene en forma orgánica y se hace accesible para las plantas a medida de la mineralización que sucede mucho más lentamente que la descomposición del estiércol. En la turba con contenido normal de ceniza hay mucho menos fósforo que nitrógeno. La turba más rica en fósforo es la de baja turbera, con alta cantidad de ceniza ella contiene más fósforo, calcio, hierro y menos nitrógeno. En la turba hay poco potasio.

En general la turba con contenido normal de ceniza es rica en nitrógeno, pobre en fósforo y muy pobre en potasio y micro elementos (particularmente en cobre).

**2.3.5** *La capacidad de retención de humedad y absorción.* Tiene mucha importancia, la turba de alta turbera con pequeño grado de descomposición es la que posee mayor capacidad de retención de agua. La capacidad de absorción de la turba es considerablemente superior que la del suelo más humidificado.

En general, las propiedades agroquímicas de la turba con contenido normal de ceniza de distintos tipos es la más recomendable para su uso.

La turba de alta turbera se distingue por su menor grado de descomposición, mayor acidez y menor ceniza, ella es mas pobre en la materia nutritiva.

Para la turba de baja turbera es característico su alto grado de descomposición mayor contenido en Nitrógeno y elementos cenizosos, menor acidez. La turba de turbera transitoria posee propiedades intermedias entre la de alta y baja turbera; en las capas superiores de las turberas transitorias la turba por sus propiedades se aproxima a la de alta turbera, y en capas mas profundas, a la de baja turbera.

## **2.4 Empleo de la turba en la agricultura**

**2.4.1 Usos de la turba.** BUCKMAN Y BRADY.- Señalan que la turba tiene diferentes usos como en semilleros, invernáculos y prados. Se usa la turba para un conjunto de aplicaciones, según la naturaleza del material. Cuando se incorpora como fuente de materia orgánica con el suelo mineral en cantidades suficientes, la turba no solo asegura una buena condición física, sino que aumenta notablemente la capacidad de agua para la mezcla. Los suelos para hortalizas y otros fines se benefician básicamente con su uso. En los Estados Unidos la industria de las hortalizas ha sido revolucionada por la extraordinaria calidad favorable, cuando la turba esta descompuesta hasta el punto que no se puede identificar las especies que la contribuyeron en su formación.

EDMOND y otros, expresan que: El floricultor comercial ha encontrado ventajoso el uso de la turba en la producción de ciertas plantas de invernadero. En su forma comercial la turba es un material de color café, esponjoso y semigranular, seco y fácil de manejar. Se encuentra comparativamente libre de enfermedades y tiene una alta capacidad de retención del agua. Pruebas efectuadas en la Universidad de Ohio demostraron que los suelos con turba como acolchado produjeron flores más grandes y mejores en la mayoría de los cultivos florales de invernadero que los suelos sin turba como acolchado.

Figura 2. Usos de la turba



Fuente: [www.galería.fundego.com](http://www.galería.fundego.com)

*Empleo de la turba como cama.* La turba es un excelente material para cama del ganado. Su alta capacidad de retención de humedad condiciona la máxima absorción de las deyecciones líquidas de los animales, la acidez y alta capacidad absorbente favorecen la conservación del nitrógeno amoniacal..

*Empleo de la turba como compost.* La preparación de compost de turba es un modo importante de producción de fertilizantes orgánicos de alta calidad. Para el compost se recomienda turba con grado de putrefacción mayor del 20% cantidad de ceniza hasta un 25% y contenido de partículas leñosas hasta un 10%. En la fabricación de compost añaden a la turba cal, harina de fosforita, fertilizantes minerales solubles o componentes biológicamente activos (estiércol, purín, masas fecales, etc.).

*Preparación de macetas de turba y humus.* La turba en la horticultura se emplea para la preparación de cubos nutritivos y macetas para plantones. En la composición de las mezclas que se utilizan para su preparación entran distintos materiales orgánicos y terrosos (turba, compost, humus, gallinazo, tierra de césped), fertilizantes minerales (nitrogenados, fosfóricos potásicos y microabonos) y enmiendas neutralizantes (cal).

*Empleo de la turba como abono.* Para esto solo sirve la turba fuertemente descompuesta de baja turbera con alta cantidad de ceniza, rica en cal o fósforo. La turba destinada para la aplicación directa como abono es aireada escrupulosamente

después de su extracción, el objeto del aireamiento consiste en liquidar el exceso de humedad de la turba y oxidación de los compuestos protoxídicos que en ella se encuentran. La turba pura aireada es un buen material de cobertera, particularmente, para el cultivo de frutales y hortalizas. El objeto de la cobertera es mantener en la capa superior del suelo mejores condiciones de los regímenes ácuo, aéreo, nutritivo y térmico. La cobertera se utiliza también para evitar la formación de corteza de tierra y el desarrollo de malas hierbas.

## **2.5 Triturado de la tierra [4]**

**2.5.1** *Procedimiento tradicional y modificado.* La trituración y el desmenuzamiento son procesos de disminución de las dimensiones de los trozos de los minerales mediante la destrucción de los mismos por la acción de fuerzas exteriores que superan las fuerzas interiores de cohesión, las que unen entre sí las partículas del cuerpo sólido. Comúnmente se considera que de la trituración se obtiene un producto preferentemente grueso, y del desmenuzamiento más fino de 5 mm. Para la trituración se emplean trituradoras y para el desmenuzamiento molinos.

El grosor de los granos hasta el que hay que triturar o desmenuzar el material inicial antes del enriquecimiento se establece por la dimensión de esparcimiento de los minerales y según el proceso adoptado para el enriquecimiento del material dado.

**2.5.1.1** *Características del producto a moler.* Para seleccionar el tipo de máquina a moler hay que conocer las características del material a moler, así tenemos la dureza, resistencia, humedad y sensibilidad a la temperatura.

- *Dureza.* La dureza del material a moler es muy importante para seleccionar el aparato de trituración. En general los productos más duros son más difíciles de triturar; se necesita en ese caso más energía y los tiempos de residencia en la zona de acción son mayores.
- *Resistencia.* Conociendo la resistencia se puede determinar la clase de fuerza con que se efectuará la trituración. Si los productos son frágiles o poseen estructura cristalina, la fractura puede ocurrir a lo largo de los planos de unión, siendo las partículas mayores las que se romperán más fácilmente. En tales casos se utiliza la trituración con fuerzas de compresión. Si hay pocos planos de unión y se han de crear nuevos puntos de partida de grietas es posible que sean mejores las fuerzas de impacto y cizalla. Muchos productos

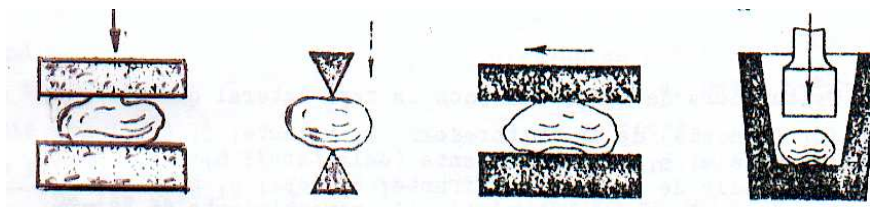
tienen una estructura fibrosa, no pudiéndoseles desintegrar por fuerzas de compresión o impacto, por lo que es necesario desgarrarlas o cortarlas.

- *Humedad.* La presencia de agua puede facilitar o complicar el proceso de trituración. Para la mayoría de las sustancias el contenido en humedad mayor de 2 o 3% puede producir el embotamiento del molino. La capacidad de producción y la eficiencia de la molienda pueden resultar afectadas. En presencia de humedad puede tener lugar también una aglomeración de los productos que es indeseable si lo que se quiere es un producto fino que fluya libremente. En el caso de la turba no necesitamos un producto fino, es por eso que con el 50% de humedad con las propiedades del material hace que sea más desmenuzable y de fácil trabajo.
- *Sensibilidad a la temperatura.* En la zona de acción del molino hay fricción entre las partículas, estas pueden resultar elongadas mas allá de su límite elástico sin que tenga lugar una fractura y al cesar el esfuerzo aplicado se desprende en forma de calor la energía de deformación absorbida. Este calor puede conducir a una elevación considerable de la temperatura del producto procesado y producir la degradación del mismo, entonces se hace necesario tener medios de refrigeración alrededor de la zona de acción si se están manipulando sustancias sensibles al calor.

### 2.5.1.2 Métodos de trituración

Por método de trituración se entiende una especie de acción de una fuerza destructiva del material triturado en trozos. Se conocen cuatro métodos principales de trituración: por aplastamiento, por hendimiento, por frote y por choque.

Figura 3. Métodos de trituración



Fuente: Andréiev. Procesos de trituración y desmenuzamiento

Los esfuerzos necesarios para destruir pedazos de material se desarrollan en aparatos de trituración cuyas construcciones aseguran un método determinado de trituración.

El método de trituración se escoge en dependencia de las propiedades físico-químicas del material que se tritura y el grosor de sus pedazos.

La trituración gruesa media y fina de las rocas duras y frágiles es oportuno efectuarlas por aplastamiento y las duras y viscosas por aplastamiento con la participación del frote.

### 2.5.2 *Grado de trituración*

La relación de las dimensiones de los trozos o granos del material inicial antes de la trituración y del desmenuzamiento con respecto a la dimensión de los trozos o granos del producto triturado o desmenuzado se llama grado de trituración o grado de desmenuzamiento.

El grado de trituración es una característica cuantitativa del proceso, que indica en cuantas veces a disminuido la dimensión de los trozos o granos del material durante la trituración o el desmenuzamiento. Con el grado de trituración se vinculan el gasto de energía y el rendimiento de las trituradoras y de los molinos.

El grado de trituración se define como la relación de las dimensiones de los trozos de máximo grosor del material antes y después del triturado.

$$i = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} \quad (1)$$

Siendo:  $D_{\max}$  el diámetro del trozo máximo de material antes de la trituración

$d_{\max}$  el diámetro de trozo máximo después de la trituración



## CAPÍTULO III

### 3. TIPOS DE MOLIENDA Y TRITURADORAS

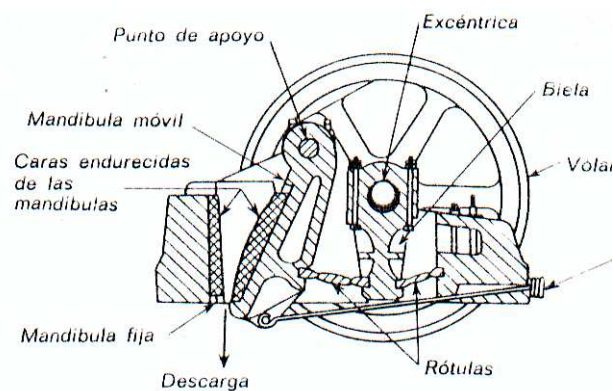
El diseño de las trituradoras depende del material a triturar y del tipo de molienda, los equipos de reducción de tamaño se dividen en trituradoras, molinos, molinos de ultra finos y máquinas cortadoras.

#### 3.1 Trituradoras [5]

Las trituradoras son máquinas de baja velocidad para la reducción de grandes cantidades de sólidos. Los tipos principales son las trituradoras de mandíbulas, las trituradoras giratorias, las trituradoras de rodillos lisos y las de rodillos dentados. Las tres primeras operan por compresión y pueden romper grandes trozos de rocas y minerales. Las trituradoras de rodillos dentados trabajan con alimentaciones menos duras, como carbón, huesos y pizarra blanda.

**3.1.1 Trituradora de mandíbulas.** En las trituradoras de mandíbulas el material se aplasta entre dos mandíbulas, una de las cuales es inmóvil y la otra, oscilante. La mandíbula móvil esta colgada con articulación de los ejes móvil e inmóvil y alternativamente se aproxima y aleja de la mandíbula inmóvil. Durante la aproximación de las mandíbulas los pedazos de material que se tritura y que se encuentra entre estas se aplasta. Los movimientos de oscilación de las mandíbulas se crean con ayuda de un árbol excéntrico giratorio a través del mecanismo de transmisión.

Figura 4. Trituradora de mandíbulas

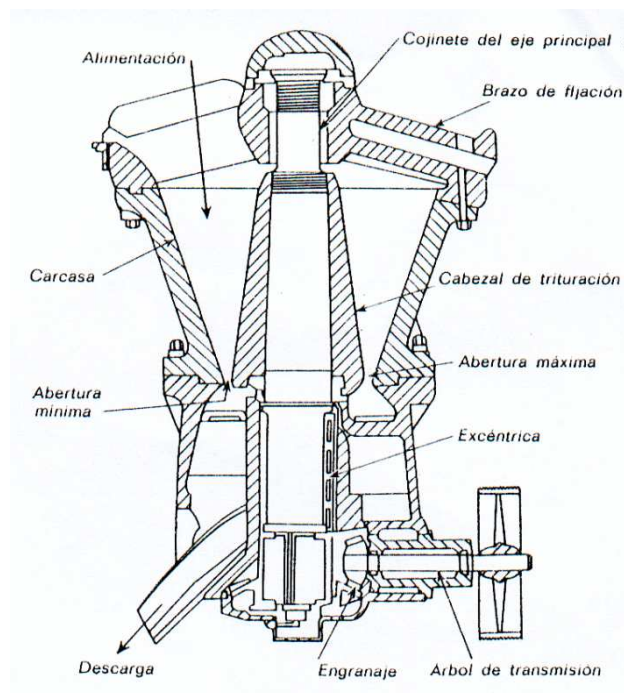


Fuente: Andréiev. Trituradoras de mandíbulas

El material inicial ingresa desde arriba al espacio entre las mandíbulas. El producto triturado se descarga abajo cuando se aleja la mandíbula móvil. El grosor de los pedazos máximos en el producto se determina por el ancho de la hendidura de salida entre la mandíbula móvil e inmóvil.

**3.1.2 Trituradoras giratorias.** Una trituradora giratoria puede considerarse como una trituradora de mandíbulas circulares, entre las cuales se tritura el material en varios puntos. Un cabezal cónico de trituración gira dentro de una carcasa de forma de embudo y abierta por la parte superior. El cabezal de trituración está soportado en un fuerte eje, pivotado en la parte superior de la máquina. Una excéntrica mueve el extremo inferior de dicho eje y por consiguiente el extremo inferior del cabezal de trituración se acerca y se aleja de la pared estacionaria, en cualquier punto de la periferia de la carcasa. Los sólidos que quedan aprisionados entre el espacio en forma de V formado por el cabezal y la carcasa, se rompen varias veces hasta que salen por el fondo.

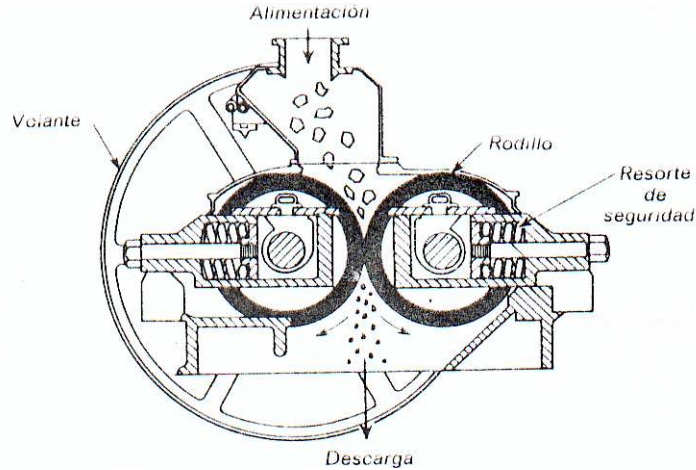
Figura 5. Trituradora giratoria



Fuente: Andréiev. Trituradoras giratorias

**3.1.3 Trituradora de rodillos.** Estas trituradoras existen de rodillos lisos y dentados. En la trituradora de rodillos lisos, dos rodillos metálicos pesados de superficies lisas, giran sobre ejes horizontales paralelos, las partículas de la alimentación aprisionadas entre los rodillos se rompen durante la compresión y descargan por abajo.

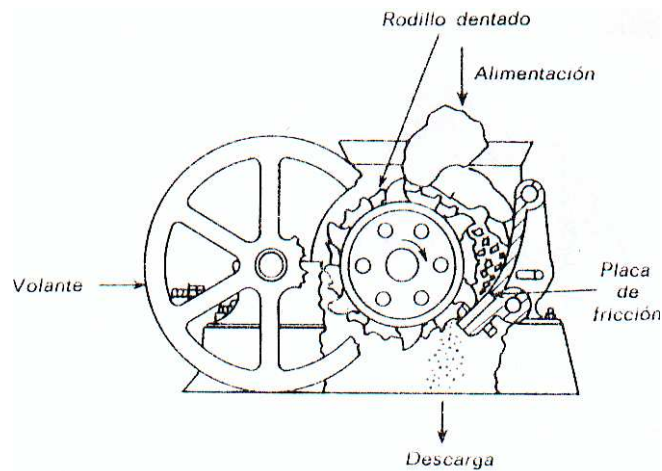
Figura 6. Trituradora de rodillos lisos



Fuente: Andréiev. Trituradoras de rodillos

En las trituradoras de rodillos dentados las superficies de los rodillos llevan estrías, barras rompedoras o dientes, pueden tener dos rodillos como las trituradoras de rodillos lisos, o un rodillo que trabaja frente a una placa estacionaria curvada como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Trituradora de un solo rodillo dentado



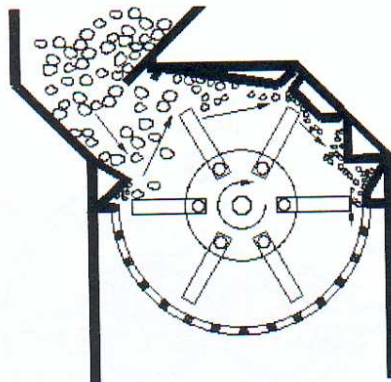
Fuente: Andréiev. Trituradoras de rodillos

### 3.2 Molinos

El término molino comprende una variedad de máquinas de reducción de tamaños para trabajo intermedio. Generalmente el producto de una trituración se lleva a un molino, donde se reduce a polvo. Los tipos principales de molinos son los de martillos, impactores, giratorios y de ultrafinos.

**3.2.1 Molinos de martillos.** Todos estos molinos tienen un rotor de alta velocidad que gira dentro de una carcasa cilíndrica. El eje es generalmente horizontal. La alimentación se introduce por la parte superior de la carcasa, se rompe y sale por la abertura del fondo. Las partículas son rotas por grupos de martillos móviles conectados a un disco giratorio. Las partículas que entran a la zona de molienda no pueden escapar, son golpeadas por los martillos y los trozos se proyectan contra una placa estacionaria dentro de la carcasa donde se rompen en fragmentos más pequeños, estos a su vez son convertidos en polvo por los martillos que los empujan a través de un tamiz que cubre la abertura de descarga.

Figura 8. Molino de martillos

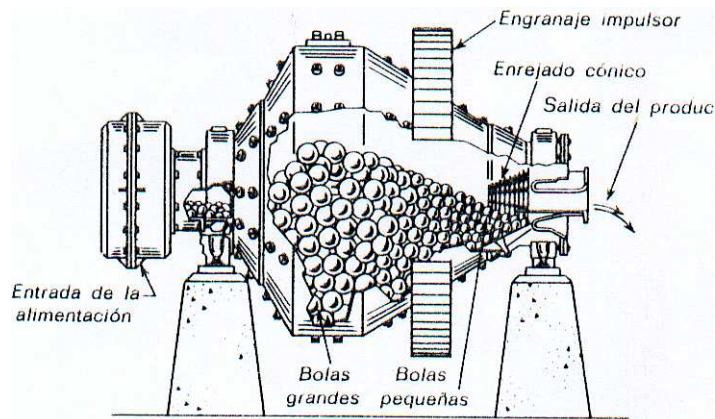


Fuente: Mc. Cabe. Molinos

**3.2.2 Molinos giratorios.** Un molino giratorio típico consta de una carcasa cilíndrica que gira lentamente alrededor de un eje horizontal y que esta llena hasta la mitad de su volumen con un elemento sólido de molienda. La carcasa es generalmente de acero, cubierta con una placa de acero con alto contenido de carbono, porcelana, sílice o de caucho. El material sólido de molienda esta constituido de barras metálicas en un molino de barras; trozos de cadena o bolas de metal, goma o madera, es un molino de bolas; guijarros de pedernal o porcelana, o esferas de zirconio es un molino

de gujarros. Para la reducción intermedia y fina de materiales abrasivos son insustituibles los molinos giratorios.

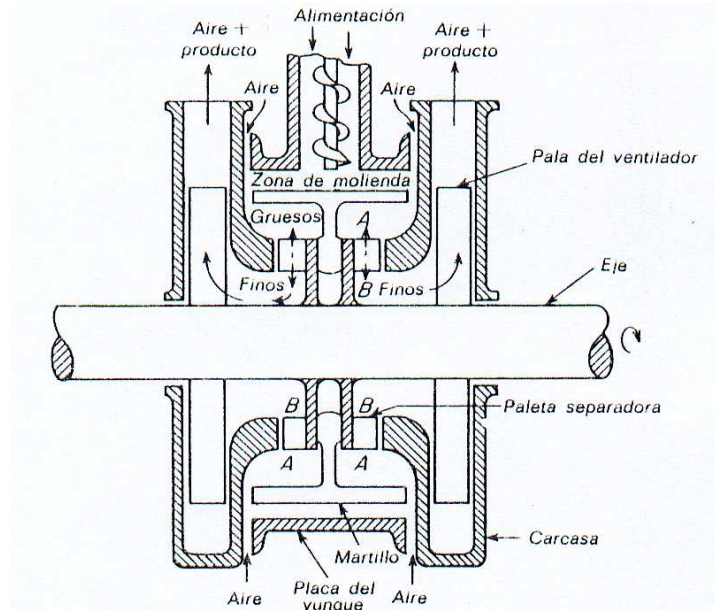
Figura 9. Molino de bolas cónico



Fuente: Mc. Cabe. Molinos

**3.2.3 Molinos de ultrafinos.** Muchos polvos comerciales deben tener partículas de tamaño medio entre 1 y 20 micrones que han de pasar a través de un tamiz patrón de 325 mallas con abertura de 44 micrones. Los molinos que reducen los sólidos a partículas de ese tamaño se llaman molinos de ultrafinos. La molienda de polvos secos se hace por medio de molinos tales como los molinos de martillos de alta velocidad, provistos de clasificación interna o externa, y por molinos que aprovechan la energía del fluido.

Figura 10. Esquema de un molino de martillos con clasificación interna



Fuente: Mc. Cabe. Molinos

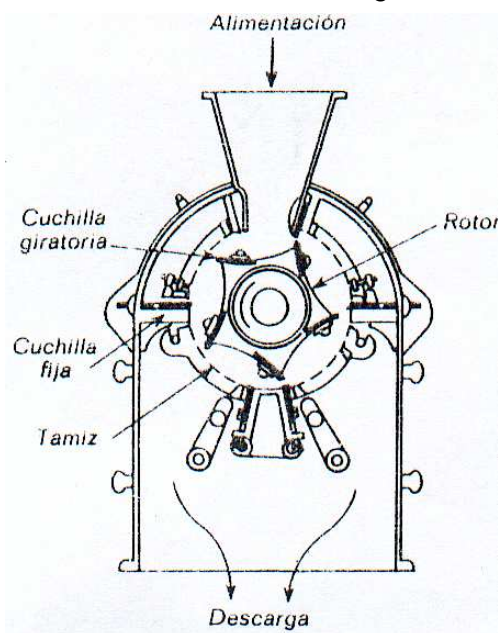
La figura 10 muestra un molino de martillos con clasificación interna. Un grupo de martillos oscilantes está colocado entre dos discos giratorios, igual que en los molinos de martillos convencionales. Además de los martillos el eje del motor lleva dos ventiladores que mueven el aire a través del molino en la dirección que se indica en la figura, y descarga en unos canales que conducen a los colectores del producto.

### 3.3 Máquinas cortadoras

En algunos problemas de reducción de tamaño la alimentación es demasiado tenaz o demasiado elástica para romperse por compresión, impacto o frotamiento. En otros casos la alimentación debe reducirse a partículas de dimensiones fijas. Estos requisitos los cumplen los aparatos que cortan, desmenuzan o desgarran la alimentación dando un producto de las características deseadas.

**3.3.1 Cortadora giratoria de cuchillas.** Estos aparatos se emplean en una variedad de procesos. Una cortadora de cuchillas contiene un motor que gira de 200 a 900 rpm en una cámara cilíndrica. Sobre el rotor se encuentran de 2 a 12 cuchillas flotantes con filo de acero templado que pasan con pequeña abertura sobre una a siete cuchillas estacionarias. Las partículas de alimentación que entran en la cámara por arriba son cortadas varios cientos de veces por minuto y salen por el fondo a través de un tamiz de 0.5 a 0.8 cm de abertura. Unas veces las cuchillas flotantes son paralelas a las cuchillas fijas; otras dependiendo de las propiedades de la alimentación, cortan con un ángulo dado.

Figura 11. Cortadora de cuchillas giratorias



Fuente: Mc. Cabe. Molinos



### 3.4 Selección de alternativas

La trituradora seleccionada debe cumplir ciertos requerimientos que están sujetos a las necesidades del vivero.

Tabla 1. Selección de la trituradora

CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR	MÁQUINAS DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO						
	TRITURADORAS			MOLINOS			CORTAR
	Mandíbulas	Giratorias	Rodillos	Martillos	Giratorios	Ultrafinos	Giratorias
Especificaciones de diseño	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Facilidad de operación	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Seguridad al operador	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Adaptabilidad al vivero realidad y productividad	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Fácil mantenimiento y replazo de las partes	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI
Permite alimentación en exceso	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Bajos costos de construcción	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Fácil instalación con respecto a su masa	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Bajo consumo de energía	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Tiene pocas partes que se desgastan	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Requiere de dispositivos auxiliares	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO

Es así que los requerimientos del vivero entre los principales son:

- Obtener un producto completamente desmenuzado.
- Que el costo de construcción sea bajo.
- Fácil mantenimiento.
- El producto final no necesite un posterior desmenuzado.

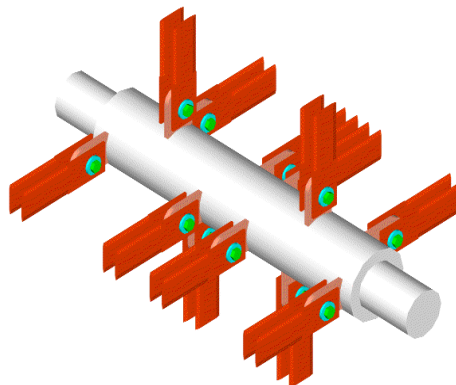
Para seleccionar la trituradora se ha efectuado un análisis, tomando en cuenta los requerimientos del vivero y del mercado nacional. En la tabla 1 se realiza un análisis de alternativas, tomando en cuenta los tipos de máquinas de reducción de tamaño y sus principales características[6].

Del análisis de la tabla 1 en primera instancia se llegó a seleccionar la trituradora de martillos como la mejor alternativa. Luego en pruebas previamente realizadas en un molino de martillos existente se encontró como inconveniente que al ser golpeados los trozos de turba contra las paredes del molino, el material se adhiere a estas y va formándose una capa dura muy difícil de remover lo que provoca una considerable pérdida en la eficiencia de la máquina y un trabajo de limpieza de la máquina diario el mismo que no está dentro de los requerimientos del vivero[7].

### 3.5 Selección de la mejor alternativa

Basándome en el molino de martillos y teniendo como segunda mejor alternativa la máquina cortadora giratoria, se procede a plantear otra alternativa como es la Desmenuzadora de cuchillas la cual tiene cuchillas móviles que van distribuidas a lo largo del eje en forma radial como se indica en la figura 12.

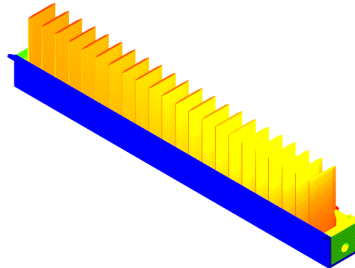
Figura 12. Conjunto de cuchillas móviles





Las cuchillas distribuidas en el eje al girar pasan a través de un grupo de cuchillas fijas las mismas que permitirán que los trozos se desmenucen completamente sin llegar a pegarse en las paredes o en las mismas cuchillas.

Figura 13. Conjunto de cuchillas fijas



Para seleccionar la mejor alternativa hacemos una evaluación de soluciones tomando como criterios de valoración:

- *Funcionalidad.* De acuerdo a las condiciones del vivero, su productividad y funcionamiento.
- *Costos.* Ya que es un aparato prescindible que será adquirido si la relación utilidad-precios es aceptable.
- *Peso.* Dado que la máquina debe ser transportable y debe ser manejada por un operador.

A partir de estos datos iniciales se procede a través de los siguientes pasos mediante un análisis con el método ordinal corregido con los criterios ponderados[8].

1. Evaluación del peso específico de cada criterio.

**1** si criterio de filas es  $>$  que la columna

**0.5** si criterio es = al de las columnas

**0** si el criterio es  $<$  al de las columnas

Peso  $>$  Funcionalidad = Costo

Tabla 2. Evaluación del peso específico de cada criterio

<b>Criterio</b>	<b>Peso</b>	<b>Funcionalidad</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\sum</math> +1</b>	<b>Ponderada</b>
Peso		1	1	3	0.75
Funcionalidad	0		0.5	0.5	0.125
Costo	0	0.5		0.5	0.125
			Suma	4	1

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones de cada criterio

2. Evaluación del peso específico del criterio peso.

**Solución A** = Molino de martillos

**Solución B** = Cortadora de cuchillos giratoria

**Solución C** = Desmenuzadora de cuchillas

Solución B > Solución A < Solución C = Solución B

Tabla 3. Evaluación del peso específico del criterio peso

<b>Peso</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	<b><math>\sum</math> +1</b>	<b>Ponderada</b>
Solución A		0	0	1	0.166
Solución B	1		0.5	2.5	0.417
Solución C	1	0.5		2.5	0.417
			Suma	6	1

3. Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad.

Solución C < Solución A = Solución B

Tabla 4. Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad.

<b>Funcionalidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	<b><math>\sum</math> +1</b>	<b>Ponderada</b>
Solución A		0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5		0	1.5	0.25
Solución C	1	1		3	0.5
			Suma	6	1

4. Evaluación del peso específico del criterio costos.

Solución C > Solución B > Solución A

Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio costos

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum_{+1}$	Ponderada
Solución A		0	0	1	0.167
Solución B	1		0	2	0.333
Solución C	1	1		3	0.5
			Suma	6	1

5. Tabla de conclusiones.

Tabla 6. Tabla de conclusiones

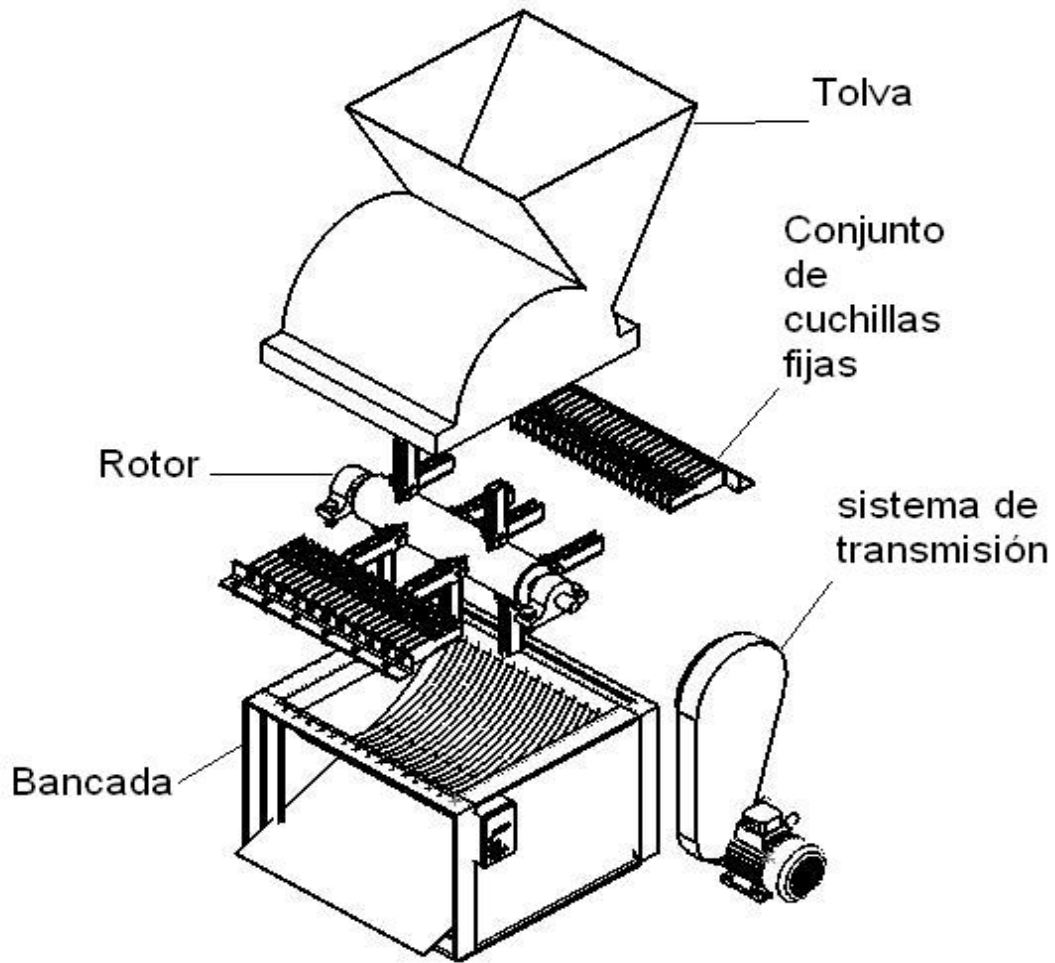
Conclusión	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum_{+1}$	Ponderada
Solución A	$0.166 \cdot 0.5$	$0.25 \cdot 0.125$	$0.166 \cdot 0.125$	0.1766	3
Solución B	$0.417 \cdot 0.75$	$0.25 \cdot 0.125$	$0.333 \cdot 0.125$	0.3853	2
Solución C	$0.417 \cdot 0.75$	$0.25 \cdot 0.125$	$0.5 \cdot 0.125$	0.4378	1

Fuente: Riva. Diseño concurrente

La Solución C es la mejor situada y por lo tanto la desmenuzadora de cuchillas es la mejor alternativa.

**3.4.2 Descripción general de la desmenuzadora de cuchillas.** En la figura 14, se puede observar los elementos principales de los que está constituida la desmenuzadora de cuchillas. El material a desmenuzar es alimentado por la tolva, para luego caer en la zona de acción del rotor, donde las cuchillas giratorias, golpean los trozos de turba contra un conjunto de cuchillas fijas; la destrucción de los trozos de turba es inmediata, el producto desmenuzado cae en una criba diseñada de tal manera que si algún trozo no se desmenuzó completamente sea golpeado contra otro conjunto de cuchillas fijas hasta conseguir un completo desmenuzado; el material desmenuzado cae en una tapa recolectora de material por el cual resbala para luego ser recogida en sacos.

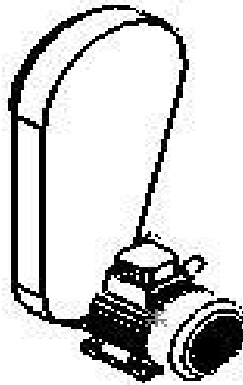
Figura 14. Esquema de la cortadora de cuchillas



#### 3.4.2.1 Elementos fundamentales de la desmenuzadora.

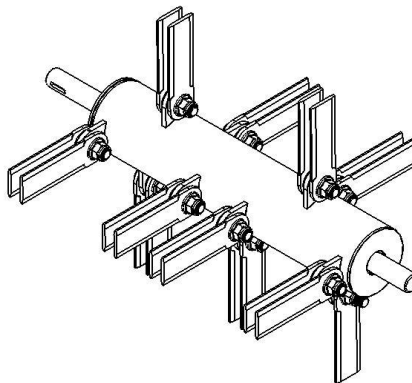
- *Sistema de transmisión.* Como se puede apreciar en la figura 15, está conformado por un motor trifásico que transmite una potencia de 5 Hp y 1750 rpm, mediante una transmisión por bandas y poleas se obtiene una velocidad de giro del rotor de 1000 rpm que es la ideal para realizar el desmenuzado deseado y que nos permite tener el diámetro y longitud del rotor requeridos.

Figura 15. Transmisión



- *Rotor.* El rotor está compuesto de un eje principal, un eje hueco, dos tapas de eje, placas base, cuchillas, pernos y rodelas tal como se indica en la figura 16. Sobre el eje hueco van soldadas placas distribuidas uniformemente que sirven de base para el montaje de cuchillas giratorias, estas van empernadas con rodelas con la finalidad de que al ser colocadas no puedan chocarse en el eje portacuchillas. La separación entre cuchilla y cuchilla es exacta de tal manera que estas pasen entre las cuchillas fijas.

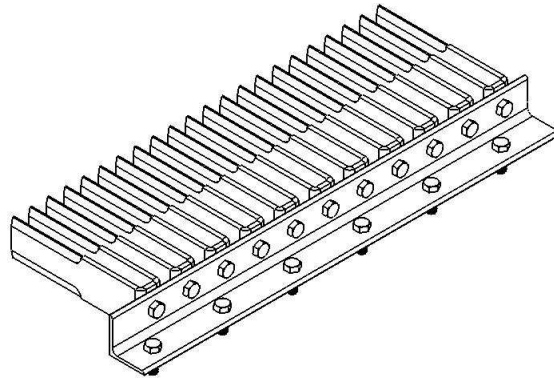
Figura 16. Rotor



- *Conjunto de cuchillas fijas.* En la figura 17 se observa un conjunto de cuchillas que van empernadas sobre una base que será montada sobre la bancada. El conjunto de cuchillas fijas permite que las cuchillas giratorias pasen a través de ellas haciendo que los trozos de turba sean desmenuzados completamente. La finalidad de utilizar cuchillas para este tipo de trabajo es

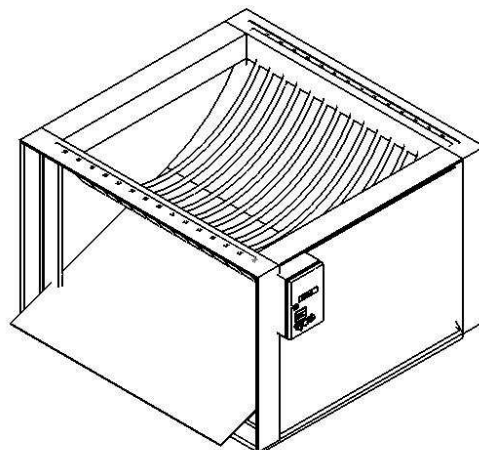
no permitir que cuando el material ingresa húmedo este no se adhiera a las paredes de la máquina.

Figura 17. Conjunto estático de cuchillas



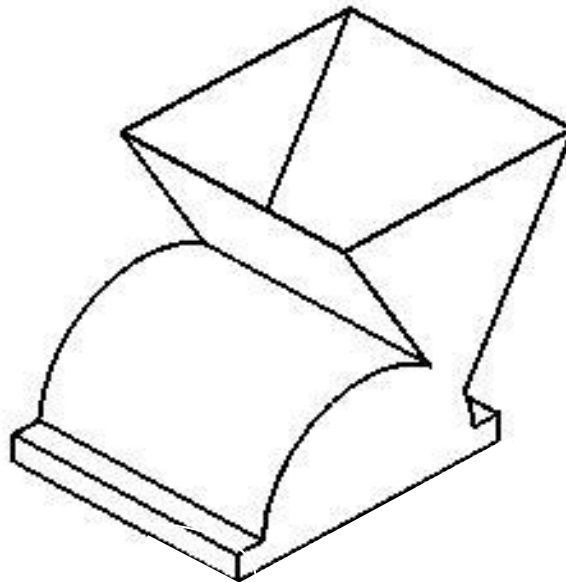
- *Bancada.* La bancada es el elemento que soporta todas las reacciones que se producen durante el funcionamiento de la máquina. El aspecto dimensional permite la revisión e intercambiabilidad de sus partes, resistencia y acondicionamiento mecánico. Como se puede observar en la figura 16 sobre la bancada van montadas partes como la criba, la tapa recolectora del material, tapas laterales y la caja térmica. La criba tiene la función de restringir la descarga total del producto con el fin de que el material desmenuzado permanezca en la zona de acción del rotor hasta que la turba tenga la granulometría adecuada para su uso.

Figura 18. Bancada



- *Tolva.* Su principal función es retener el material que va a ser desmenuzado para abastecer de una forma continua al rotor. Su fabricación se la hizo en forma sistemática, tomando en cuenta la forma del rotor y la ubicación de los conjuntos de cuchillas fijas; su ángulo de inclinación fue escogido de tal manera que exista resbamiento del material hacia el interior y evite la salida del material desmenuzado por la entrada de la tolva, la altura es ideal para que el operario pueda colocar fácilmente el material. Es de fácil construcción y esta compuesta de 4 partes: 2 tapas laterales, una frontal y una posterior. En la figura 19 se muestra el esquema de la tolva.

Figura 19. Tolva



## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO

#### 4.1 Diseño de la desmenuzadora seleccionada

##### 4.1.1 Parámetros de diseño y funcionales

**4.1.1.1 Volumen de turba a desmenuzar.** Dado que la turba llega hasta el lugar en que va a ser instalado el molino en volquetas, al momento se hace la descarga de 2 volquetas diarias, teniendo cada una un peso de 3.5 ton de turba.

Entonces la capacidad de producción de la desmenuzadora por día deberá ser de 7 ton por día. El vivero tiene la posibilidad de aumentar la producción, entonces se ha considerado realizar el diseño de la desmenuzadora con el doble de la capacidad de producción diaria actual.

El tiempo que va a trabajar la desmenuzadora es de 8 horas diarias, entonces la capacidad de producción del molino deberá ser:

$$Q = \frac{Q_d}{H} \quad (2)$$

$Q$  = capacidad real por hora

$Q_d$  = capacidad real de trabajo

$H$  = número de horas de trabajo por día

$$Q = \frac{7 \frac{tn}{día}}{8 \frac{horas}{día}} = 0.875 \frac{tn}{hora} * \frac{1 hora}{60 min} = 0.014583 \frac{tn}{min}$$

Como existe la posibilidad de duplicar la producción, entonces tenemos:

$$Q' = 0.02917 \frac{tn}{min}$$



**4.1.1.2 Velocidad de rotación de la desmenuzadora.** Para calcular este parámetro se aplica la siguiente hipótesis:

“La energía potencial de una pesa de masa M que se necesita para la trituración de un cuerpo de masa m, es igual a la energía cinética con la que debe chocar dicho cuerpo contra una superficie suficientemente rígida para obtener el mismo resultado”.

$$E_p = k \quad (3)$$

$$M * g * h = \frac{1}{2} m * v^2 \quad (4)$$
$$v = \sqrt{\frac{2 * M * g * h}{m}}$$

$E_p$  = energía potencial

$k$  = energía cinética

$g$  = gravedad

$h$  = altura

$v$  = velocidad de impacto de la piedra.

La masa m del trozo de turba la obtenemos, tomando en cuenta que los trozos de mayor diámetro son de 15 cm., entonces se obtuvo un peso equivalente a 0.5kg.

La masa M de la barra de acero se la obtuvo después de hacer las siguientes pruebas de trituración:

- Se toma diferentes muestras de turba todas de tamaños aproximadamente iguales con diámetros de hasta 15 cm.
- Las muestras se colocan en una base de acero, dejando caer sobre estas, barras de acero con diferentes pesos, hasta encontrar el peso adecuado para obtener una adecuada trituración del material. Los resultados se presentan en la tabla 7:

Tabla 7. Pruebas de trituración

	M (Kg)				
Altura =1m	5	10	15	20	25
Resultados	*	**	***	****	*****

- (\*) Los trozos de turba solo llegan a romperse
- (\*\*) Se obtiene mayor número de pedazos
- (\*\*\*) Todavía se obtiene pedazos un poco grandes
- (\*\*\*\*) Se obtiene el material desmenuzado, pero quedan pedazos pequeños
- (\*\*\*\*\*) Se obtiene la turba totalmente desmenuzada.

Al obtener el peso adecuado de las barras de acero para desmenuzar completamente el material, se aplican los valores de las masas en la fórmula para encontrar la velocidad lineal de la piedra.

$$v = \sqrt{\frac{2 * 25 * 9.8 * 1}{0.5}} = 31.3 \frac{m}{s} \quad (5)$$

El material y la cuchilla van a tener un movimiento uniforme, siendo la suma de las 2 velocidades la velocidad obtenida en el cálculo anterior.

$$v = v_m + v_c \quad (6)$$

$v_m$  = velocidad del material

$v_c$  = velocidad de la cuchilla

$$v_c = \sqrt{2 * g * h} \quad (7)$$

$$v_c = \sqrt{2 * 9.8 * 1} = 4.43 \frac{m}{s}$$

$$v_c = v - v_m \quad (8)$$

$$v_c = 26.87 \frac{m}{s}$$

#### 4.1.1.3 Velocidad angular del rotor.

$$W = \frac{V_c}{R} \quad (9)$$

W = velocidad angular del rotor

R = radio de rotación

Para calcular este valor nos basamos en el tamaño del material a ser triturado, considerando el diámetro del rotor alrededor de los 50 cm. Los resultados se dan en la tabla 8:

Tabla 8. Velocidad de rotación del rotor

R (m)	0,20	0,25	0,2575	0,2675	0,28
W (rpm)	1282.95	1026.36	996.5	959.2	916.3

Se ha seleccionado un radio de rotación de 0,2575m obteniéndose una velocidad angular del rotor de 996.5 r.p.m.

#### 4.1.1.4 Potencia del motor.

##### 4.1.1.4.1 Leyes de la trituración[9]

Se entiende por Leyes de la trituración la dependencia del trabajo empleado en la trituración (desmenuzamiento) con respecto al resultado de la trituración esto es el grosor del producto.

LEY DE P. RITTINGER (1867) Consideró que durante la trituración de un cubo en otros mas pequeños, la energía debe ser proporcional a la superficie formada.

$$\frac{\partial E}{\partial X} = -\frac{E}{X^2} \quad (10)$$

Integrando se tiene:

$$E = K \left[ \frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right] \quad (11)$$

$X_1$  = tamaño inicial del trozo a desintegrar

$X_2$  = tamaño final del producto.

K = constante de Rittinger

E = energía necesaria por unidad de masa para producir una nueva superficie

LEY DE KICK KIRPICHOV (1875) Corresponde a la Ley de semejanza, consideró que la energía necesaria para producir una reducción de tamaño requiere un cambio en el coeficiente de la ecuación de Rittinger.

$$\frac{\partial E}{\partial X} = -\frac{E}{X} \quad (12)$$

Integrando se tiene:

$$E = K * \ln \left( \frac{X_1}{X_2} \right) \quad (13)$$

K = constante de Kick

$\frac{X_1}{X_2}$  = relación de reducción de tamaño.

LEY DE F. BOND (1951) [10]. Bond propone un método para estimar la potencia requerida para la trituración y la molienda, basado en un razonamiento semiteórico, propuso que el trabajo requerido para formar partículas de tamaño  $X_p$  a partir de alimentaciones muy grandes es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie-volumen,  $\frac{S_p}{V_p}$  del producto, esto se expresa así:

$$\frac{S_p}{V_p} = 6 \frac{\lambda}{X_p} \quad (14)$$

$\lambda$  = factor de forma

$S_p$  = superficie de una partícula

$V_p$  = volumen de la partícula

Luego tenemos:

$$\frac{H}{Q} = \frac{K_p}{\sqrt{X_p}} \quad (15)$$

$\frac{H}{Q}$  = trabajo requerido para formar partículas de tamaño  $X_p$

$K_p$  = constante que depende del tipo de máquina y del material a triturar.

Al índice de trabajo  $W_i$  Bond lo llama gasto específico de energía en Kw.h/Tm que es necesario para triturar desde un macizo infinito hasta un producto tal que el 80% del producto pase a través de un tamiz de 100 micrones. Esta relación nos lleva a una relación entre  $K_p$  y  $W_i$ . Si  $X_p$  está en m, H en Cv y Q en Tm/min.

El índice de trabajo incluye la fricción en el molino y la potencia H que vamos a obtener es la potencia bruta. El anexo 1 comprende los índices de trabajo típicos para algunos materiales comunes. Estos no varían mucho para diferentes máquinas del mismo tipo y se aplican en la molienda en seco, así como por vía húmeda. Para molienda en seco, la potencia calculada en la ecuación se multiplica por 4/3. Mientras que para molienda húmeda se multiplica por 1.

$$\frac{60W_i}{0.736} = K_p \sqrt{10^4} \quad (16)$$

$$K_p = 0.815W_i \quad (17)$$

$$\frac{H}{Q} = 0.815 * W_i \left[ \frac{1}{\sqrt{X_{p2}}} - \frac{1}{\sqrt{X_{p1}}} \right] \quad (18)$$

$W_i = 12.5$  (Ver anexo A)

$X_{p2} = 0.005$  m Diámetro aproximado del producto a obtenerse.

$X_{p1} = 0.15$  m = diámetro aproximado del tamaño máximo de turba

$Q' = 0.02917Tm/ \text{ min} = \text{capacidad real de trituración por hora}$

$$H = 0.815 * Q' * W_i \left[ \frac{1}{\sqrt{X_{p2}}} - \frac{1}{\sqrt{X_{p1}}} \right] \quad (19)$$

$$H = 3.53C_v$$

$$H = 3.48H_p$$

La Ley de Bond es la mas real por la estimación de las necesidades de energía en las trituradoras y molinos industriales. Esta teoría es cierta para muchas sustancias en moliendas groseras, intermedias y finas.

**4.1.1.4.2 Selección del motor.** Para seleccionar la potencia requerida en el motor debemos tomar en cuenta los Coeficientes de rendimiento tanto del motor como de la transmisión.

$$H_{motriz} = \frac{H}{\eta_{trans} * \eta_{motor}} \quad (20)$$

$H = 3.48 \text{ Hp}$  potencia bruta

$H_{trans} = 0.8$  para bandas

$\eta_{motor} = 0.85$  para motores eléctricos

$H_{motriz} = 4.98 \text{ Hp}$

**4.1.2 Diseño y selección de sus elementos.**

El diseño de la desmenuzadora se basa principalmente en el dimensionamiento del rotor, para lo cual debemos tomar muy en cuenta el tamaño del material a desmenuzarse, y el tipo de trituración.

**4.1.2.1 Diseño del sistema desmenuzador**

Los elementos que forman parte del rotor son:

- Eje principal
- Cuchillas fijas
- Cuchillas móviles
- Bridas

El diámetro del rotor está determinado por la medida del trozo máximo de material inicial y por el rendimiento de la machacadora. El diámetro del rotor debe ser de 3.2 a 4 veces mayor que el diámetro del trozo máximo[11].

$$D_r = k \cdot D_{\max} \quad (21)$$

El valor de k tiene un rango para el diseño de 3.2 a 4.

$$D_r = 3.4333 \cdot 0.15$$

$D_r$  = Diámetro del rotor

Se toma un valor de  $k = 3.43$

Entonces:

$$D_r = 0.515 \text{ m.}$$

La longitud del rotor se recomienda que sea igual de 1 a 1.5 la medida de su diámetro.

$$L = 1.1 \cdot 0.515$$

$$L = 0.57 \text{ m}$$

Por la disposición de las cuchillas en el eje portacuchillas, se toma un valor de longitud

$$L = 0.55 \text{ m}$$

**4.1.2.1.1 Diseño de las cuchillas.** Las cuchillas son las piezas golpeadoras que van a realizar el mayor trabajo ya que van a estar sometidas al impacto de la turba, por lo tanto son las que se desgastan más rápidamente, lo que hace imprescindible el diseño de estas con un material que proporcione las condiciones adecuadas para soportar el esfuerzo, tomando en consideración el costo del material.

#### Desgaste[12]

Se conoce como desgaste al proceso de separación de parte de la superficie de un cuerpo a causa del rozamiento o aumento de sus deformaciones residuales, influenciando constantemente en el cambio de medida o forma del cuerpo.

#### Tipos de desgaste

- *Desgaste de picadura.* Este se produce por efecto eléctrico.
- *Desgaste mecánico.* Este puede ser abrasivo, hidroabrasivo (gasoabrasivo), erosivo, hidroerosivo, por cavitación, por fatiga, de contacto por vibración y desgaste adhesivo.
- *Desgaste por fatiga.* Se produce una destrucción producto de las tensiones repetidas, surge durante la deformación repetida de microvolúmenes de la superficie en fricción.
- *Desgaste erosivo.* Resulta del impacto de una partícula de material con la superficie de un sólido, en nuestro caso la cuchilla, parte del material de la cuchilla es removido, la intensidad del desgaste depende del tipo de material, velocidad de impacto, ángulo de impacto y tipo y tamaño de las partículas.
- *Desgaste mecánico corrosivo.* Puede ser desgaste oxidante y corrosivo de contacto por vibración.

Existen otros tipos de desgaste que son combinaciones de los citados antes.

### Prevención del desgaste

El desgaste es un proceso complejo de remoción de material, en el cual muchos eventos toman lugar independientemente o simultáneamente. Para prevenir o reducir el desgaste, se debe primero entender los factores que contribuyen a este proceso. Las propiedades que son relevantes para controlar el desgaste están resumidas en la tabla 9.

*Reducción de desgaste por fatiga.* El desgaste por fatiga de materiales puede ser minimizado rebajando o suprimiendo la formación de microfisuras. Incrementando la dureza del material se reduce la deformación subsuperficial y por lo tanto la velocidad de nucleación de las fisuras. Incrementando la resistencia disminuye la velocidad de crecimiento de las fisuras, desafortunadamente no es posible conseguir dureza y resistencias altas.

Otra forma de incrementar la resistencia al desgaste es colocando una capa superficial muy dura, o someterlo a un tratamiento superficial de forma que la deformación plástica no pueda tomar lugar en él. La capa puede ser consistente y libre de microfisuras, ya que la propagación de fisuras es posible aún en ausencia de deformación plástica si hay fisuras antes de este proceso.

Tabla 9. Tipos de desgaste



<b>Modo de desgaste</b>	<b>Propiedades del material que impone resistencia al desgaste</b>
Adhesivo	Presenta baja solubilidad entre las superficies de los materiales en contacto. Resistencia al ablandamiento térmico en una interfaz de temperatura durante el rozamiento. Baja Energía superficial.
Abrasivo	Mayor dureza superficial que el medio abrasivo Bajo coeficiente de trabajo de dureza.
Fatiga	Resistencia a la deformación subsuperficial y a la nucleación de fisuras y su velocidad de crecimiento por ejemplo alta dureza y resistencia.
Corrosivo	Resistencia al medio corrosivo
De contacto por vibración	Resistencia a la corrosión del medio ambiente Capacidad de formar productos corrosivos suaves Total inmiscibilidad con la superficie de contacto Alta resistencia a la abrasión
Erosión por partículas sólidas	Alta dureza para bajos ángulos de colisión Alta resistencia para grandes ángulos de colisión Tratamientos térmicos no tienen influencia sobre la resistencia a la erosión.

Fuente: Medina. Tesis de grado

*Reducción del desgaste erosivo.* Se produce como resultado de la colisión de sólidos, líquidos o gases provocando la erosión de las superficies. El desgaste erosivo depende de:

- La energía cinética del medio erosivo.
- El ángulo de impacto.
- La energía de unión metal-metal de la superficie, un valor alto de esta significa que los átomos de un metal se mantienen juntos en la estructura cristalina y no abandonarán la estructura fácilmente.
- La resistencia última de la superficie, esto es la cantidad de energía que puede ser absorbida antes que ocurra la deformación o fisuramiento.

### Diseño de las cuchillas

Mc = Masa sistema de corte

$$Mc = Mcuchilla + M \text{ placa} \quad (22)$$

$$Mc = (0.28 + 0.24) \text{Kg.} = 0.52 \text{Kg} \text{ (Ver anexo B)}$$

$$Fc = Mm * W^2 * r \quad (23)$$

$$Fc = 0.52 \text{Kg} * 104.72 \text{rad/s} * 0.2575 \text{m}$$

$$Fc = 1468.38 \text{ Kr} * \text{m/s}^2$$

$$Fc = 149.84 \text{ Kgf.}$$

El material que se selecciona es un acero ASTM A 36

$$Sy = 248 \text{ MPa} \text{ (Ver anexo C)}$$

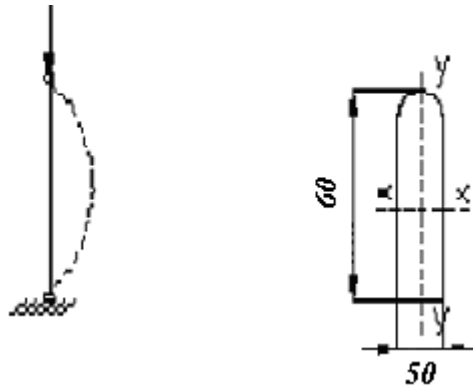
$$E = 200 \text{ GPa} \text{ (Ver anexo D)}$$

E = módulo de elasticidad

Diseño a columna de la placa fija.

Figura 20. Carga en la placa

$F_c = 150 \text{ Kg}$



$$L_p = 0.707L_r \quad (25)$$

$$L_p = 42.42 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{xx} &= \frac{1}{12} b * h^3 & I_{yy} &= \frac{1}{12} h * b^3 \\ r_{xx} &= \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}} & r_{yy} &= \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}} \\ r_{xx} &= \sqrt{\frac{1}{12}} * h & r_{yy} &= \sqrt{\frac{1}{12}} * b \\ r_{xx} &= 17.32 & r_{yy} &= 2.31 \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} & \lambda &= \frac{L_p}{r_{yy}} \\ \lambda_0 &= 127.89 & \lambda &= 18.36 \end{aligned} \quad (27)$$

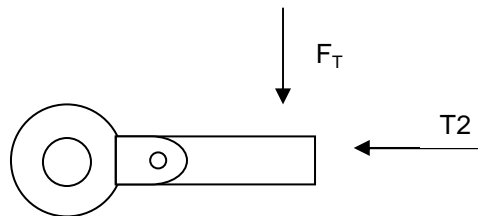
Si:  $\lambda < \lambda_0$ .

$$\begin{aligned} \frac{P}{A} &= \frac{S_y}{n} - \frac{k}{n} \lambda^2 \\ A &= h * t \\ A &= 480 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \begin{aligned} P &= 117 \text{ KN} \\ n &= 80 \end{aligned} \quad (28)$$

#### Diseño de la cuchilla móvil

Las fuerzas que se producen en la cuchilla son el resultado de la acción centrífuga y la fuerza tangencial producida por los impactos.

Figura 21. Cargas en la cuchilla



La fuerza tangencial será igual a la fuerza producida por el motor.

$$T = \frac{63000 * Hp}{\eta} \quad (29)$$

$$T = 35.5 \text{ N*m}$$

$$F_T = \frac{T}{R} \quad (30)$$

$$F_T = 138 \text{ N.}$$

Dónde:

T= torque del motor

R= radio del golpe

F<sub>T</sub>= fuerza tangencial debido al impacto

Como actúan 4 cuchillas entonces:

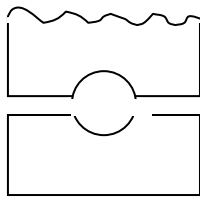
$$F_{T1} = 34.56 \text{ N.}$$

$$F_{T2} = 0 \quad (\text{Después del impacto})$$

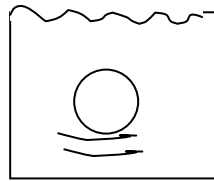
### Diseño estático

Esfuerzos en las cuchillas

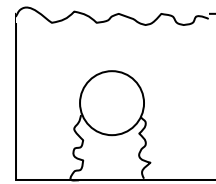
Figura 22. Esfuerzos en las cuchillas



a) Falla por tensión  
en las Placas



b) Por aplastamiento  
del martillo



c) Desgarre por cortante

Fuente: Medina. Tesis de grado

Con un acero ASTM A36 (Ver anexo C)

$$S_y = 248 \text{ MPa}$$

$$SS_y = 0.5 S_y \quad [13]$$

$$SS_y = 124 \text{ MPa}$$

$$a.) \quad \sigma = \frac{Fc}{A_1} \quad (31)$$

$$\sigma = 9.8 \text{ MPa}$$

$$nt = \frac{SS_y}{\sigma} \quad (32)$$

$$nt = 12.65$$

$$b) \quad \sigma' t = \frac{Fc}{(a-d)e} [14] \quad (33)$$

$$\sigma' t = 15.3 MPa$$

$$n' t = 8.1$$

$$c) \quad \sigma_c = \frac{Fc}{d * e} \quad (34)$$

$$\sigma_c = 27.19 MPa$$

$$n_c = 4.6$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo por tensión

$\sigma' t$  = Esfuerzo por aplastamiento

$\sigma$  = Esfuerzo por cortante

$n_t$  = Coeficiente de seguridad por tensión

$n'_t$  = Coeficiente de seguridad por aplastamiento

$n_c$  = Coeficiente de seguridad por cortante

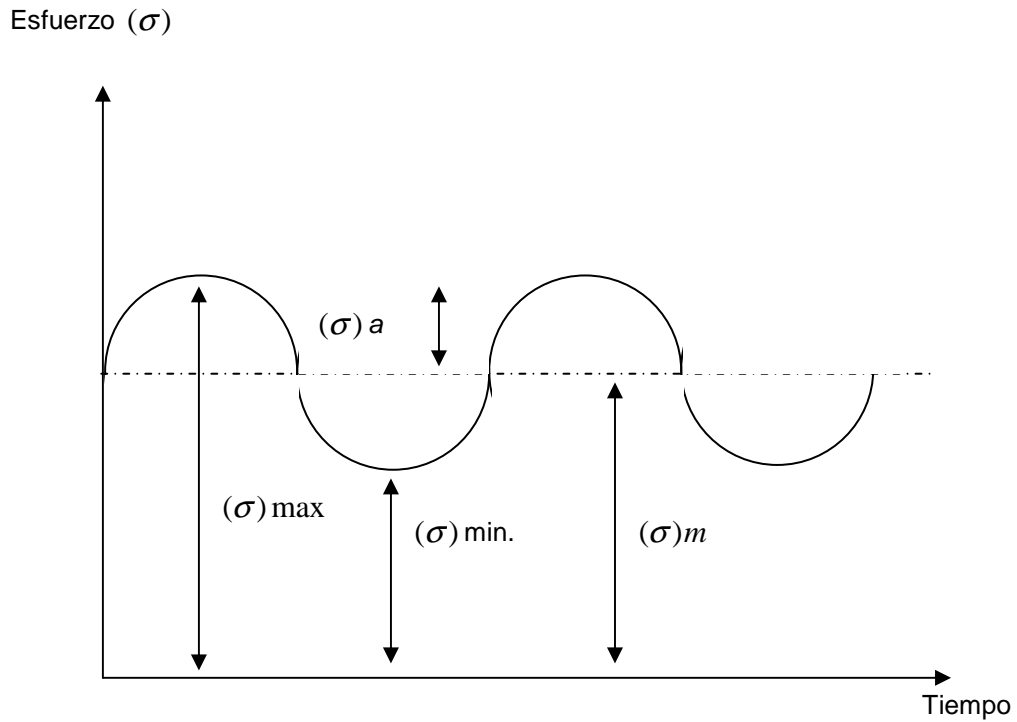
### *Diseño a fatiga*

Las acciones combinadas de las fuerzas tangenciales centrífugas se puede asumir que se presenten  $F_c$  y  $FT_1$  en el momento del impacto y solo  $FC_2$  después del impacto.

$$F_{c1} = 1468 \text{ N.}$$

$$F_{c2} = 979 \text{ N.}$$

Figura 23. Esfuerzos fluctuantes



$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (35)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (36)$$

a)

$$\sigma_{\max} = 9.8 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{\min} = 6.5 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_m = 8.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 1.65 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

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

$Se'=200 \text{ MPa}$

$$Se=K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_e \cdot Se' \quad (37)$$

$K_a=0.84$  para maquinado (Ver anexo E)

$K_b=0.68$  (Ver anexo F)

$K_c=0.897$  para confiabilidad del 90% (Ver anexo G)

$K_d=1$

$K_e=0.2667$  (Ver anexo G)

$Se=0.135(200)=26.9 \text{ MPa}$

$$S_m = \frac{Se}{\frac{\sigma_a}{\sigma_m} + \frac{Se}{S_{ut}}} \quad (38)$$

$S_m=99.85$

$$n = \frac{S_m}{\sigma_m} \quad (39)$$

$n=12.25$

b)

$\sigma_{\max} = 15.3 \text{ MPa}$

$\sigma_{\min} = 10.2 \text{ MPa}$

$\sigma_m = 17.25 \text{ MPa}$

$\sigma_a = 2.55 \text{ MPa}$

$S_m=122$

$n=7$

c)

$\sigma_{\max} = 27.19 \text{ MPa}$

$\sigma_{\min} = 18.13 \text{ MPa}$

$\sigma_m = 22.66 \text{ MPa}$



$$\sigma_a = 4.53 \text{MPa}$$

$$S_m = 99.63$$

$$n = 4.4$$

#### 4.1.2.2 Diseño de la tolva y criba

**4.1.2.2.1 Diseño de la tolva.** Las paredes laterales de la Tolva no sufren mayor carga, no así la placa inclinada que es donde se apoya la mayor parte del peso del material, por lo que el elemento a diseñar será la placa, para esto es necesario calcular el volumen de material que puede contener la tolva, luego de con la densidad del producto se procederá a calcular el peso total.

Las dimensiones de la tolva se pueden (Ver Anexo S), por su geometría su volumen será igual al área de un trapecio por el ancho.

$$V_{\text{Tolva}} = \frac{B+b}{2} * h * a \quad (40)$$

$$W_{\text{mat}} = \delta * V_{\text{Tolva}} \quad (41)$$

$$W_D = \frac{W_{\text{mat}} * \text{sen}(45)}{R * r} \quad (42)$$

$V_{\text{Tolva}}$  = volumen de la tolva

$B$  = base mayor del trapecio = 0.61 m (Ver anexo P)

$b$  = base menor del trapecio = 0.15 m

$h$  = altura del trapecio = 0.34 m

$a$  = ancho de la tolva = 0.60 m

$\delta$  = densidad del material = 1600 Kg / m<sup>3</sup> [15]

$W_{\text{mat}}$  = peso del material en la tolva

$W_D$  = Peso distribuido sobre la placa inclinada

$R$  = longitud mayor de la placa inclinada = 0.41 m

$r$  = longitud menor de la placa inclinada = 0.39 m

$$V_{\text{Tolva}} = 0.078 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{mat}} = 124.8 \text{ Kg} = 1223 \text{ N}$$

$$W_D = 6620 \text{ N/m}^2$$

Los esfuerzos máximos se calculan mediante:

$$S_M = k \frac{W_D * r^2}{t^2} \quad \mathbf{[16]} \quad (43)$$

$$S_M = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{0.5 * S_y}{n} \quad (44)$$

Donde:

$S_M$  = esfuerzo máximo de una placa

$k$  = factor que depende de la geometría de la placa y del estado de esfuerzos

$t$  = espesor de la placa

$S_y$  = esfuerzo de fluencia del acero (ASTM A36;  $S_y = 248 \text{ MPa}$  (Ver Anexo B))

$n$  = factor de seguridad (se asume 2)

$$S_M = 62 \text{ MPa}$$

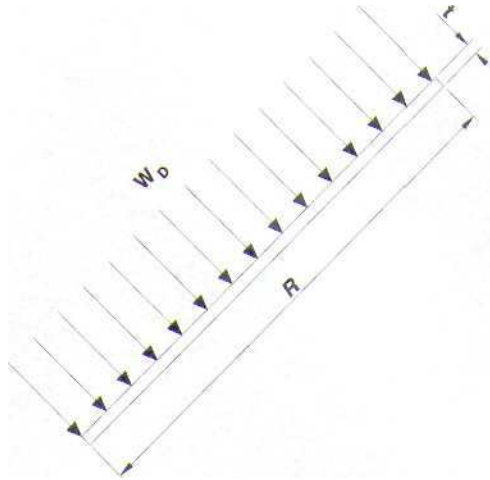
Para una placa rectangular fija en dos extremos opuestos y simplemente apoyada en los otros dos y con una relación de  $R/r = 0.95$  se tiene:

$$k = 0.287$$

Despejando  $t$  de la ecuación 43 se tiene:

$$t = 0.0023 \text{ m}$$

Figura 24. Cargas en la tolva



Para el diseño de la criba se seleccionó varilla cuadrada de 9 mm dispuesta tal como se indica en el anexo Q

#### 4.1.2.3 Diseño de la transmisión

DATOS DE DISEÑO:

Potencia a transmitirse:	5 HP
Revoluciones potencia motriz:	1750 RPM
Revoluciones potencia conducida:	1000 RPM
Horas de funcionamiento diarias:	Funcionamiento de 6 hasta 16 horas por día
Tipo de motor:	Motor Eléctrico
Tipo de transmisión:	Trapezial / Trapezial
Disposición de la banda:	Banda normal
Ángulo de contacto:	34°

#### 4.1.2.3.1 Procedimiento de selección

Determinación del factor de potencia.

En la tabla 1 determinamos el factor de potencia con el número de horas de funcionamiento y el tipo de motor (Ver anexo H)

Obtenemos un factor de servicio de FS = 1.2

Elección del tipo de correa.

En el gráfico 1 determinamos el tipo de correa con la potencia corregida PC y el número de revoluciones de la polea menor (Ver anexo H)

$$PC = FS \times P \times 1,016 \text{ (CV)}(45)$$

Revoluciones polea menor = 1750 rpm

PC = 6.096 CV

Obtenemos una banda tipo A.

Para el proceso de selección utilizo una banda tipo A.

Determinación del diámetro primitivo en función del ángulo de garganta.

En la tabla 2 con el ángulo de garganta y tipo de banda obtengo un diámetro mínimo:

Dmin = de 75 a 118mm (Ver anexo H)

Determinación del diámetro primitivo.

En la tabla 3 selecciono un diámetro para k polea conducida (D2): (Ver anexo I)

D2 = 88.9mm. (Diámetro recomendado)

$$K = \frac{Rpm \text{ (motriz)}}{Rpm \text{ (conducida)}} \text{ (Relación de transmisión)} \quad (46)$$

D3 = K x D2 (Diámetro polea motriz)

K = 1.71

D3 = 152.4 mm.

Cálculo de la distancia entre centros.

Si la relación de transmisión K es < 3, entonces la distancia entre centros es:

$$C = \frac{(K+1)D2}{2} + D2 \quad (47)$$

$$C = 209.36 \text{ mm}$$

Cálculo de la longitud de banda.

Para banda normal:

$$Lb = 2C + 1.57(D2 + D3) + \frac{(D3 - D2)^2}{4C} \text{ (mm)} \quad (48)$$

Según la fórmula obtenemos una longitud de banda  $Lb = 802.37 \text{ mm}$

Corrección de la distancia entre centros.

En la tabla 4 con la longitud de banda busco una banda que tenga la longitud aproximada a la necesaria (Ver anexo J)

Tipo: A33

Longitud LP = 871 mm

Para banda normal:

$$\begin{aligned} C1 &= C + 0.5 \times (LB - LP) \quad \text{si } LP \geq LB \\ C1 &= C - 0.5 \times (LB - LP) \quad \text{si } LP < LB \end{aligned} \quad (49)$$

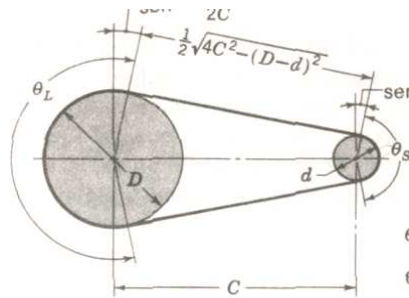
Según la fórmula obtenemos una distancia entre centros corregida de: 175 mm

Determinación de los arcos de contacto.

Para banda normal:

$$\begin{aligned} OS &= 180 - \frac{57 \times (D3 - D2)}{C1} \\ OC &= 180 + \frac{57 \times (D3 - D2)}{C1} \end{aligned} \quad (50)$$

Figura 25. Arco de contacto para banda normal



Según la fórmula obtenemos los arcos de contacto:

$$OS = 161.892^\circ$$

$$OC = 198.108^\circ$$

Calculo de la prestación útil (PU).

$$PU = [P_b + P_a] \times C\lambda \times CL \quad (51)$$

En la tabla 5 con el número de revoluciones de la polea menor y el diámetro primitivo de la polea menor determino la prestación base  $P_b$  y con la relación de transmisión determino  $P_a$ . (Ver anexo K)

$$\text{Rpm polea menor} = 1750$$

$$\text{Diámetro primitivo} = 88.9 \text{ mm}$$

$$\text{Relación de transmisión} = 1.71$$

Los datos obtenidos son:

$$\text{Prestación base } P_b = 1.36$$

$$\text{Velocidad lineal } V = 10 \text{ m/s.}$$

$$\text{Prestación adicional } P_a = 0.08$$

En la tabla 6 con el arco de contacto de la polea menor OS y el tipo de transmisión determino el factor de corrección por arco  $C\lambda$  (Ver anexo L)

$$\text{Arco de contacto} = 161.892^\circ$$

$$\text{Transmisión} = \text{Trapezoidal} / \text{Trapezoidal}$$

Obteniéndose:

$$C\lambda = 0.954$$

En la tabla 7 con el número de banda y el tipo de banda determino el factor de corrección por el tipo de correa CL (Ver anexo L)

$$\text{Tipo de banda} = A$$

$$\text{Número de banda} = 35$$

Obteniéndose:

$$CL = 0.87$$

Efectuando el cálculo con la formula anterior descrita obtenemos una potencia útil de:

$$PU = 3.099 \text{ CV}$$

Cálculo del número de bandas y velocidad periférica real.

$$\# \text{ Bandas} = \frac{PC}{PU} \quad (52)$$

$$\# \text{ Bandas} = 2$$

$$V = \frac{0.052 \times D2 \times N2}{1000} \quad (53)$$

$$V = 8.1 \text{ m/s}$$

Como la velocidad periférica  $V \leq$  velocidad critica  $V_c$  tabulada, entonces el proceso de selección esta OK.

Cálculo de las fuerzas transmitidas al eje.

$$n2a = \frac{T1}{T2} = e^{0.28 \times OC \times \frac{\pi}{180} \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (54)$$

$$n2b = T1 - T2 = 33000 \times \frac{HP}{V \times 196.85} \quad (55)$$

$$T2 = \frac{n2b}{(n2a - 1) \times 2.205} \quad [\text{kg}]$$

$$T1 = \frac{n2b}{2.205} + T2 \quad [\text{kg}] \quad (56)$$

$$TY = (T1 + T2) \times \cos \left[ \frac{OC - 180}{2} \right]$$

$$TX = (T1 - T2) \times \sin \left[ \frac{OC - 180}{2} \right] \quad (57)$$

Realizando los cálculos obtengo:

$$n2a = 19.564$$

$$n2b = 83.736$$

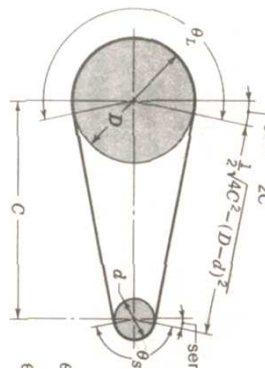
$$T1 = 40.021 \text{ Kg.}$$

$$T2 = 2.046 \text{ Kg.}$$

$$TX = 5.976 \text{ Kg.}$$

$$TY = 42.243 \text{ Kg.}$$

Figura 26. Fuerzas debido a la transmisión



Dimensionamiento de las poleas.



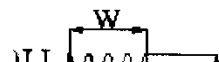
En las tablas de poleas con el tipo de banda, número de bandas y diámetro primitivo de cada polea determino una polea con el diámetro primitivo más cercano al requerido.  
(Ver anexo M)

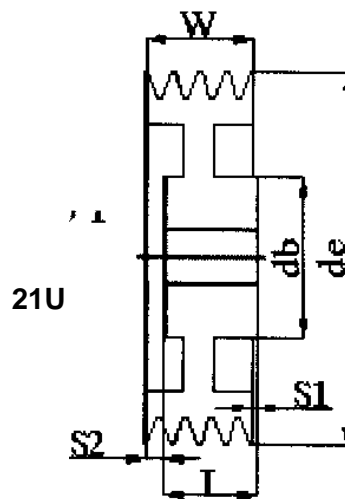
Tipo de banda:	A
Número de bandas:	2
Diámetro polea motriz:	88.9 mm
Diámetro polea conducida:	152.4 mm

#### POLEA MOTRIZ

Identificación catalogo:	$3\frac{1}{2}$ A2
Diámetro primitivo:	79.9 mm
Diámetro exterior:	88.9 mm
Tipo:	21U
Diámetro base (eje máx.):	47 mm
Ancho de chaveta I:	30 mm
Altura cubo S1:	19 mm
Ubicación centro S2:	25 mm
Ubicación centro chaveta:	24 mm
Ancho de banda W:	36 mm
Peso de la polea:	1 Kg.

Figura 27. Polea motriz

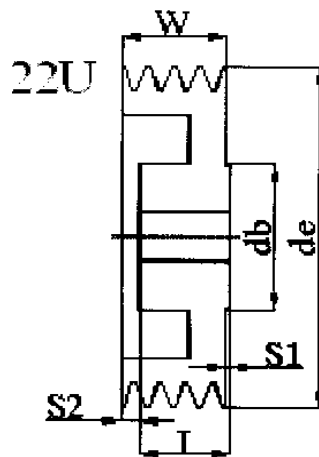




### POLEA CONDUcida

Identificación catalogo:	6 A2
Diámetro primitivo:	143.4 mm
Diámetro exterior:	152.4 mm
Tipo:	22U
Diámetro base (eje máx.):	63 mm
Ancho de chaveta l:	30 mm
Altura cubo S1:	19 mm
Ubicación centro S2:	25 mm
Ubicación centro chaveta:	24 mm
Ancho de banda W:	36 mm
Peso de la polea:	2.2 Kg.

Figura 28. Polea conducida



## BANDA

Tipo: A

Ancho Mínimo ap: 11 mm

Altura de garganta mínima b: 3.3 mm

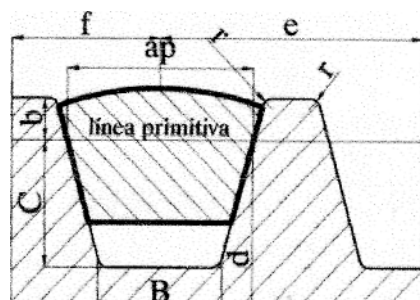
Profundidad de garganta C: 8.7 mm

Distancia de garganta e: 15 mm

Tolerancia d: 0.3

D. garganta borde polea f: 10 mm

Figura 29. Banda



Determinación de la velocidad final obtenida.

$$K = \frac{D3}{D2} \text{ (Relación de transmisión)} \quad (58)$$

$$N3 = N2 / K$$

$$K = 1.714$$

$$N3 = 1021 \text{ rpm}$$

#### 4.1.2.4 Diseño del eje

##### 4.1.2.4.1 Determinación de fuerzas actuantes en el eje

###### Fuerzas producidas por las bandas

$$Fz = 6 \text{ Kg.}$$

$$Fy = 42.2 \text{ Kg.}$$

###### Fuerza debida al peso del rotor

El peso total del rotor se lo obtuvo realizando la siguiente suma:

$$W_R = \sum V_{oe} \cdot \rho_a \quad (59)$$

Donde:

$W_R$  = peso total del rotor

$\sum V_{oe}$  = volumen de cada uno de los elementos

$\rho_a$  = densidad del acero {  $7.85 \text{ E}3 \text{ Kg./m}^3$  }

Las dimensiones de los elementos se encuentran en el anexo Q, y en forma resumida se tiene que:

$W_C$  = peso de las cuchillas = 1.45 Kg.

$W_B$  = peso de las placas base = 2,33Kg.

$W_{e_e}$  = peso del eje = 7Kg.

$W_{e_{portac}}$  = peso del eje portacuchillas = 16.5 Kg.

$W_T$  = peso de las tuercas = 2.3 Kg.

$W_{\text{polea}} = \text{peso de la polea conducida} = 3.8 \text{ Kg.}$

$W_{\text{st}} = \text{peso de separadores y pernos} = 5 \text{ Kg.}$

$W_{\text{R}} = 38,4 \text{ Kg.} = 376 \text{ N}$

#### 4.1.2.4.2 Determinación de los esfuerzos en el eje principal

Necesitamos calcular los esfuerzos que se producen en este eje se encuentran ubicados en dos planos diferentes (esto es X-Y y X-Z).

Para lo cual se tiene:

Plano X-Y

$$F_{\text{P}} = F_{\text{Y}} + W_{\text{P}}$$

$$F_{\text{D}} = W_{\text{R}} + F_{\text{C}}$$

Resolviendo las ecuaciones  $\sum F_{\text{Y}} = 0$  y  $\sum M = 0$ , en el punto A se obtiene:

$$R_{\text{B}} = 3332 \text{ N}$$

$$R_{\text{F}} = 3260 \text{ N}$$

Aplicando el cálculo de fuerzas cortantes y momentos flexionantes se obtiene los siguientes diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores.

Figura 30. Fuerza cortante XY

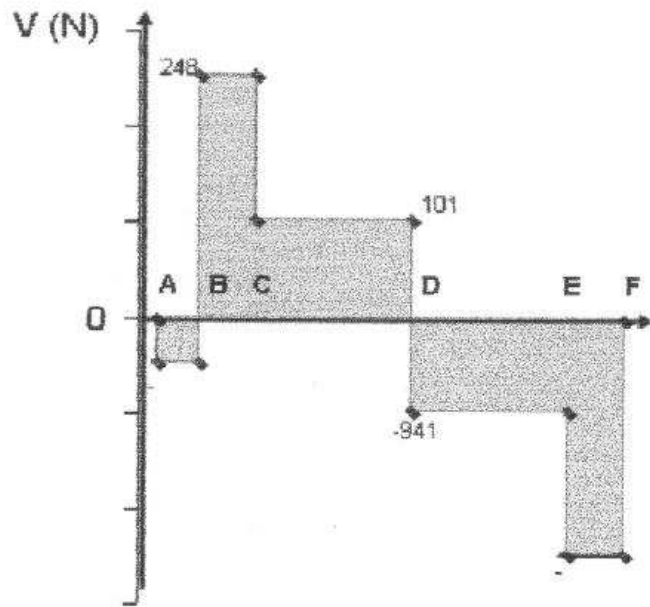


Figura 31. Fuerza cortante XZ

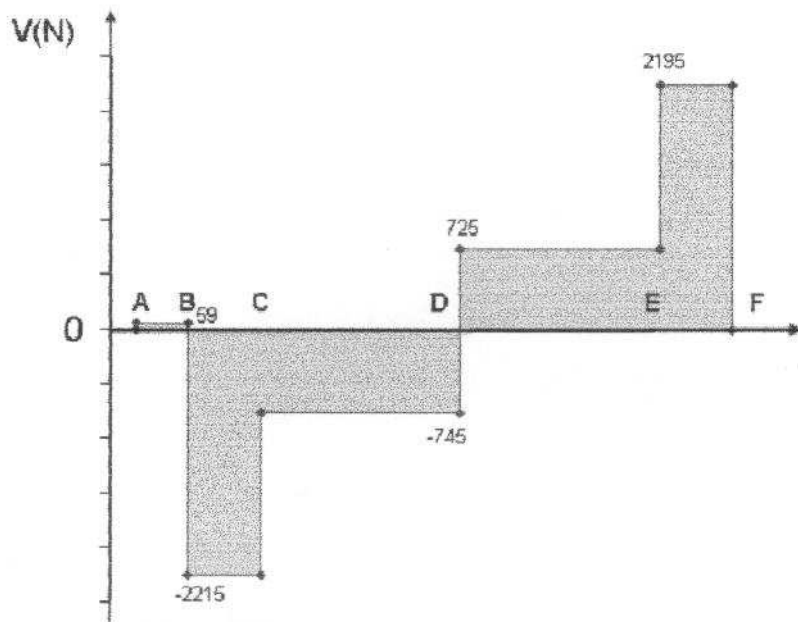


Figura 32. Fuerza cortante resultante

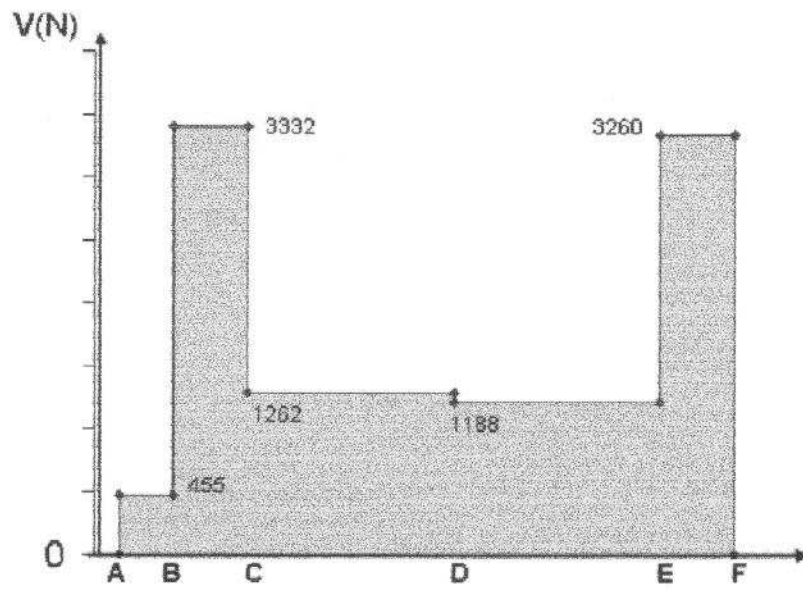


Figura 33. Diagrama de momento flector XY

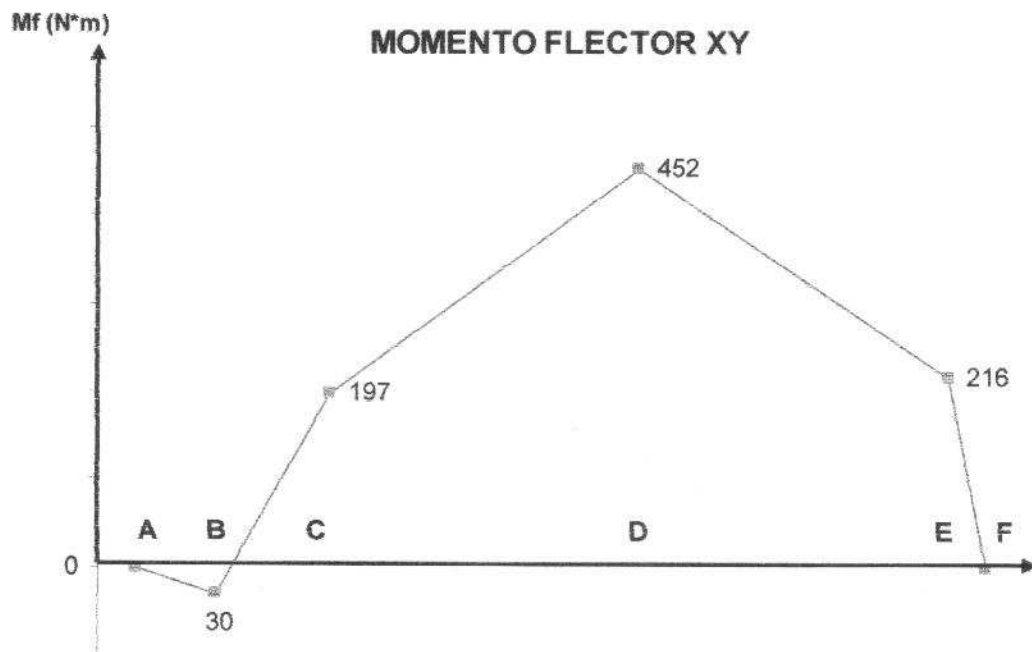


Figura 34. Diagrama de momento flector XZ

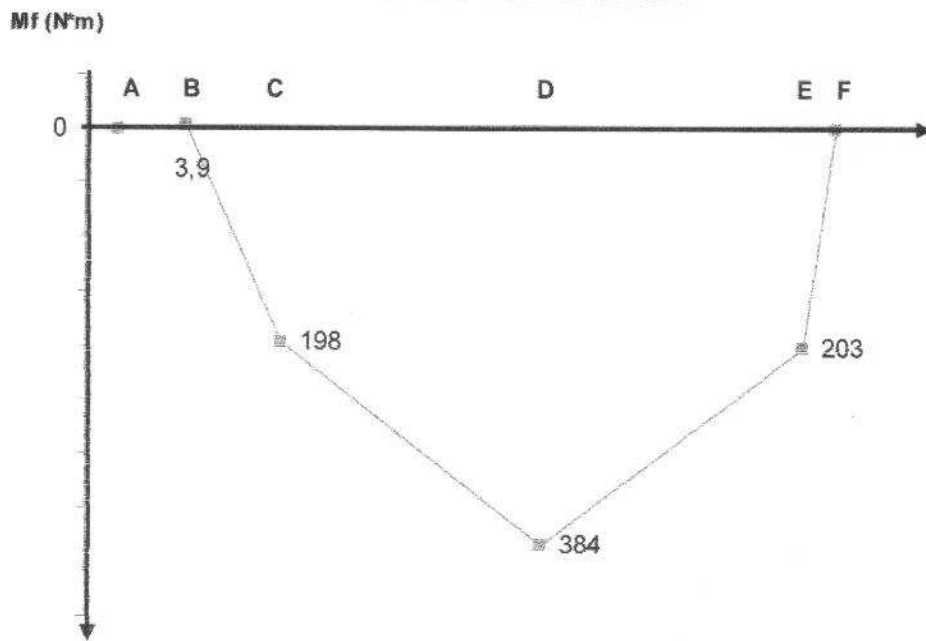
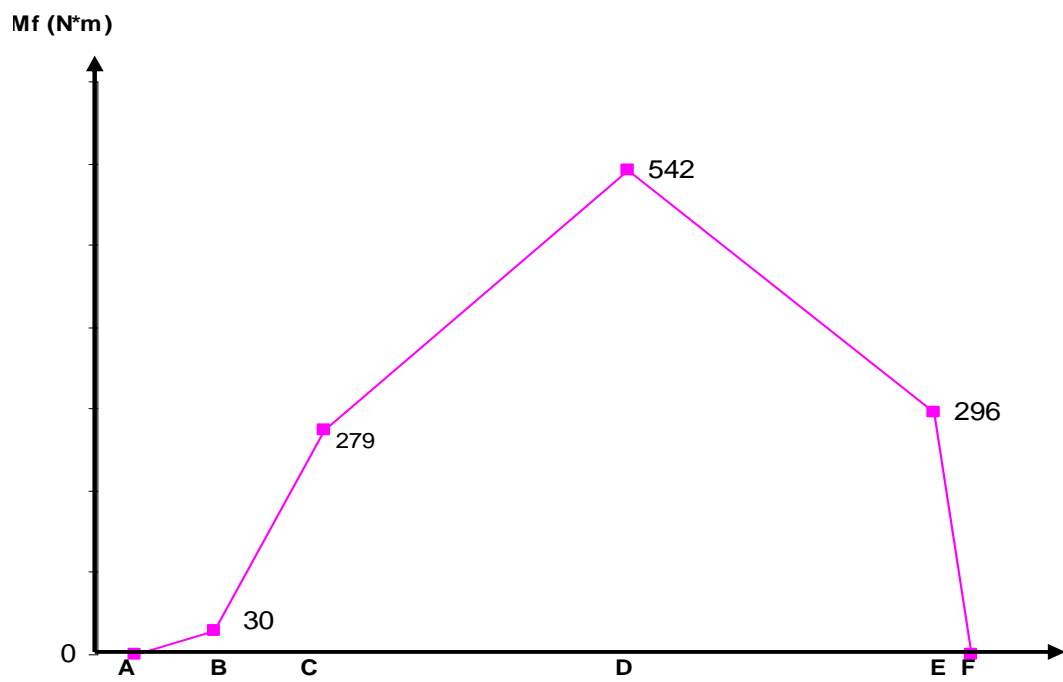


Figura 35. Diagrama de momento flector resultante





En la figura 35 de momento flector resultante vemos que el punto D es el punto que se considera crítico por tener el mayor valor de momento flector.

Se selecciona un acero ASSAB 705 (BOHMAN) con las siguientes propiedades(Anexo N)

$$S_{ut} = 90 \text{Kg/mm}^2 = 882 \text{MPa} \quad S_y = 70 \text{Kg/mm}^2 = 686 \text{MPa}$$

$$S_{Sy} = 343 \text{MPa}$$

#### 4.1.2.4.3 Diseño estático[17]

$$d = \left[ \frac{32 * n}{S_y} \sqrt{\left( M^2 + \frac{3T^2}{4} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (62)$$

Donde:

d = diámetro del eje

M = momento flector

T = torque del motor

n = coeficiente de seguridad

Para n = 3, se tiene:

$$d = 0.03 \text{ m}$$

#### 4.1.2.4.4 Diseño A fatiga [17]

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad (63)$$

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e' \quad (64)$$

$$S_{se} = 0.5 * S_e \quad (65)$$

Donde:

Se' = resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

Se = límite de la resistencia a la fatiga del elemento mecánico

Ka = factor de superficie = 0.6 (Ver Anexo E)

Kb = factor de tamaño - 0,842 (Ver Anexo F)

Kc = factor de confiabilidad = 0.753 con R 0.999 (Ver Anexo G)

Kd = factor de temperatura = 1

Ke = factor de modificación por concentración de esfuerzos = 1 (En este punto no existen cambios de sección, agujeros ni chaveteros)

Luego:

Se = 280 MPa

Sse = 140 MPa

En la ecuación de Soderberg

$$n = \frac{\pi * (di)^3}{16 \sqrt{\left(\frac{T}{Ssy}\right)^2 + \left(\frac{M}{Sse}\right)^2}} \quad (66)$$

n = 2.2

#### 4.1.2.4.5 *Calculo de la velocidad crítica del eje*

A ciertas velocidades, conocidas como velocidades críticas, los árboles en rotación se vuelven dinámicamente inestables con grandes amplitudes laterales. Este fenómeno se debe a la frecuencia de resonancia cuando la velocidad de rotación en revoluciones por segundo corresponde a las frecuencias naturales de vibración lateral del árbol.

Cuando un árbol de un solo claro está cargado con varios pesos  $W_1, W_2, W_3, \dots$  el método de la energía de RAYLEIGH conduce a la ecuación [18]:

$$N_c = 187.7 \sqrt{\frac{W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3 + \dots}{W_1 Y_1^2 + W_2 Y_2^2 + W_3 Y_3^2 + \dots}} \quad (67)$$

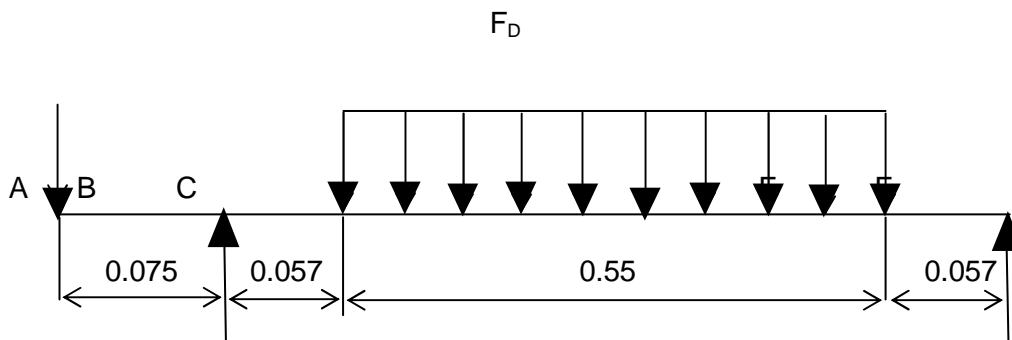
Donde:

$N_c$  = velocidad crítica (rpm)

$Y_1, Y_2, \dots$  = deflexiones

Procedemos a calcular las deflexiones en los puntos donde están ubicados los pesos. En este caso habrá 2 curvas elásticas debido a que hay 2 condiciones de carga. Primero se determinan las ecuaciones para la pendiente y la deflexión y después se calcula las constantes de integración.

Figura 36. Puntos donde las cargas producen deflexiones



Para el tramo AE se tiene:

$$M = -F_P * X + R_1(X - 0.075) - \frac{F_D}{2} * (X - 0.132)^2 \quad (68)$$

$$EI\theta_A = -\frac{F_P * X^2}{2} + \frac{R_1(X - 0.075)^2}{2} + \frac{F_D * (X - 0.132)^3}{6} + C_1 \quad (69)$$

$$EIY_A = \frac{F_P * X^3}{6} + \frac{R_1(X - 0.075)^3}{6} + \frac{F_D * (X - 0.132)^4}{24} + C_1 * X + C_2 \quad (70)$$

Para el tramo EF se tiene:

$$M = -F_P * X + R_1(X - 0.075) - \frac{F_D}{2} * (0.55)(X - 0.407) \quad (71)$$

$$EI\theta_B = -\frac{F_P * X^2}{2} + \frac{R_1(X - 0.075)^2}{2} - \frac{0.275F_D * X}{6} + 0.407F_D + C_3 \quad (72)$$

$$EIY_B = \frac{F_P * X^3}{6} + \frac{R_1(X - 0.075)^3}{6} - \frac{0.275F_D * X^3}{6} + \frac{0.407F_D * X^2}{2} C_3 * X + C_4 \quad (73)$$

Para este caso se tienen 3 pesos que son:

$W_p$  = peso de la polea = 39.2 N (ubicado en  $X = 0$  m)

$W_e$  = peso del eje principal = 67 N (ubicado a  $X = 0.407$  m)

$W_{portac}$  = peso del rotor = 16 1 .7 N (ubicado a  $X = 0.407$  m)

$E$  = módulo de elasticidad = 200 GPa

$I$  = momento de Inercia del eje

$$I = \frac{\pi * (di)^4}{64} \quad (74)$$

$$I = 3.98 E^{-4} m^4 \text{ para } d = 0.03m$$

Utilizando las ecuaciones anteriores las deflexiones en los dos planos son:

Tabla 10. Deflexiones en el eje principal

Plano	Distancia X (m)		
		0	0.132

$Y_{x-y}(m)$	-7.34 E-5	1.23 E-5	3.55 E-6
$Y_{x-z}(m)$	-4.70E-5	1.64 E-5	1.29 E-5
$Y_T(m)$	-8.71 E-5	2.06 E-5	1.34 E-5

Aplicando la ecuación (67) se tiene que la velocidad crítica es:

$$N_c = 19700 \text{ rpm.}$$

Este valor está demasiado alejado del valor de la velocidad real del rotor por lo que no existe riesgo de daño por efecto de las frecuencias de resonancia.

#### 4.1.2.5 Selección de partes[19]

Uno de los elementos principales para la rotación del eje son los rodamientos para lo cual seguimos el siguiente proceso de selección.

a) Vida deseada para diferentes clases de máquinas

Tabla 11. Selección de las horas de servicio de los rodamientos

Clase de máquina:	$L_{10}$ h (horas de servicio)
Motores eléctricos para uso industrial	10.000-25.000

b) Carga radial equivalente

$$P = F_r + y \cdot F_a \quad (75)$$

Donde:

$F_a$  = Carga axial

$F_r$  = Carga radial

Si  $F_a = 0$

$F_r$  = Fuerza Resultante de los 2 planos de aquella reacción que tenga mayor valor, en este caso es la reacción  $R_B$ .

$$P = F_r = 3332 \text{ N}$$

b) Tipo de cojinete

$$V = 1000 \text{ rpm.}$$

$$F_R = 3.3 \text{ KN}$$

d) Seguridad de carga

$$C/P$$

(76)

$$C/P = 6.8$$

e) Selección

Con los que tenemos disponibles en el mercado, tomando como datos el diámetro del eje y la carga dinámica selecciono el rodamiento NU207 aplicable en un soporte SN207C con una capacidad de carga dinámica de 32 KN del catálogo NSK. (Ver Anexo R)

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y COSTOS

#### 5.1 Generalidades del proceso

En el diseño y selección de materiales los parámetros indicados anteriormente deben ser prioritarios para su compra, maquinado y los diferentes procesos llevados a cabo para la construcción de las piezas de la máquina, para que en el momento de ensamblar los elementos, no existan problemas. Los detalles de cada una de los elementos deben ser cuidadosamente maquinados.

La tabla 12 muestra los elementos y materiales de las partes de la desmenuzadora.

Tabla 12. Elementos constitutivos de la desmenuzadora

MÁQUINA	PARTE	ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL
DESMENUZADORA DE TURBA	ROTOR	Eje Principal	1	ASSAB 705
		Eje porta cuchillas	1	ASSAB 705
		Placas fijas	12	ASTM A36
		Cuchillas móviles	24	ASTM A36
		Cuchillas fijas	22	ASTM A36
		Rodelas	22	ASTM A36
		Bancada	1	ASTM A36
	BASTIDOR	Rejilla	1	ASTM A36
		Poleas	2	AISI 1018
		Tolva	1	ASTM A36
		Tapa recolectora	1	ASTM A36

En las tablas 13 y 14 se da el listado de las máquinas, equipos y herramientas utilizadas para la construcción de todos los elementos que forman parte de la desmenuzadora de turba

Tabla 13. Maquinaria y equipo utilizado

MÁQUINA O EQUIPO	MARCA	DESIGNACIÓN	ESPECIFICACIÓN
Sierra mecánica	ABC	MH1	14in
Tomo	ALPIN	MH2	400 MM (Volteo)
Prensa	WANDERER	MH3	UNIVERSAL
Limadora	ATLAS	MH4	500 mm (Carrera)
Esmeril	RONG LONG	MH5	1750 RPM
Amoladora	BLACK DEKER	MH6	3500 RPM
Dobladora	RONG LONG	MH7	Brazo 650 mm
Taladro Manual	ISKRA PERLES	MH8	1750 RPM
Baroladora	SEGMA	MH9	Semiautomática
Oxicorte	AGA	E1	
Soldadura Eléctrica	HOWARD	E2	300 A. (AC-DC)
Pintura		E3	

Tabla 14. Herramientas utilizadas en la construcción

HERRAMIENTA	DESIGNACIÓN
Escuadra metálica	H1
Arco de Sierra	H2
Flexómetro	H3
Calibrador	H4
Regla Metálica	H5
Rayador	H6
Punzón	H7
Mazo de Goma	H8
Martillo	H9
Escuadra Universal	H10
Limas (Plana, triangular, etc)	H11
Entena] la	H12
Prensas de Tornillo	H13
Destornilladores	H14
Llaves Hexagonales	H15
Llaves (boca-corona)	H16
Llaves de Copa	H17
Machuelos	H18
Comparador de Reloj con pedestal	H19
Playos de Presión	H20



## 5.2. Operaciones tecnológicas

En la Tabla 15 se indica las diferentes operaciones tecnológicas realizadas y sus respectivos cursogramas de construcción de cada uno de los elementos construidos, el tipo de maquinado, máquina usada, tiempo empleado, hasta llegar a obtener la máquina.

Tabla 15. Operaciones tecnológicas

No.	OPERACIÓN TECNOLÓGICA
1	Trazado y corte mecánico
2	Trazado y corte oxiacetilénico
3	Torneado: centrado, refrentado y
4	Fresado
5	Taladrado
6	Doblado
7	Prensado
8	Limado
9	Soldadura
10	Barloado
11	Esmerilado
12	Amolado
13	Masillado y lijado
14	Pintura

### 5.2.1 Cursograma del proceso de la construcción

En los siguientes cursogramas se presentan las operaciones tecnológicas que se siguen en las diferentes etapas de construcción de la desmenuzadora.

Las operaciones de construcción no tienen un orden de seguimiento estricto, se ejecutan de acuerdo a la necesidad de avance requerida.

El tiempo empleado en cada operación se indica en horas y se encuentra a la izquierda de cada operación.

Para una mayor comprensión de los cursogramas a continuación se detalla la nomenclatura utilizada en la elaboración de los mismos.


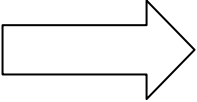




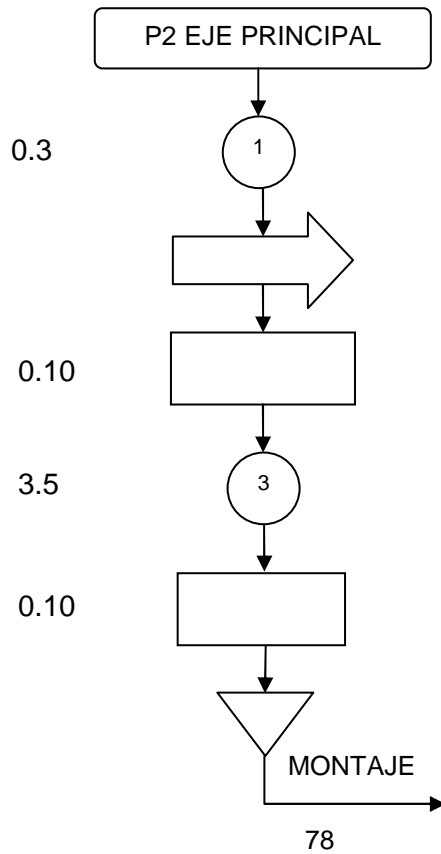
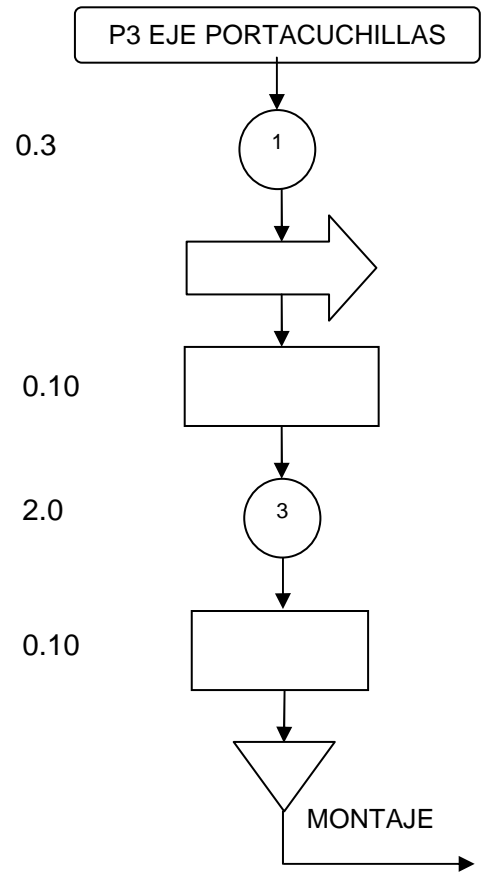
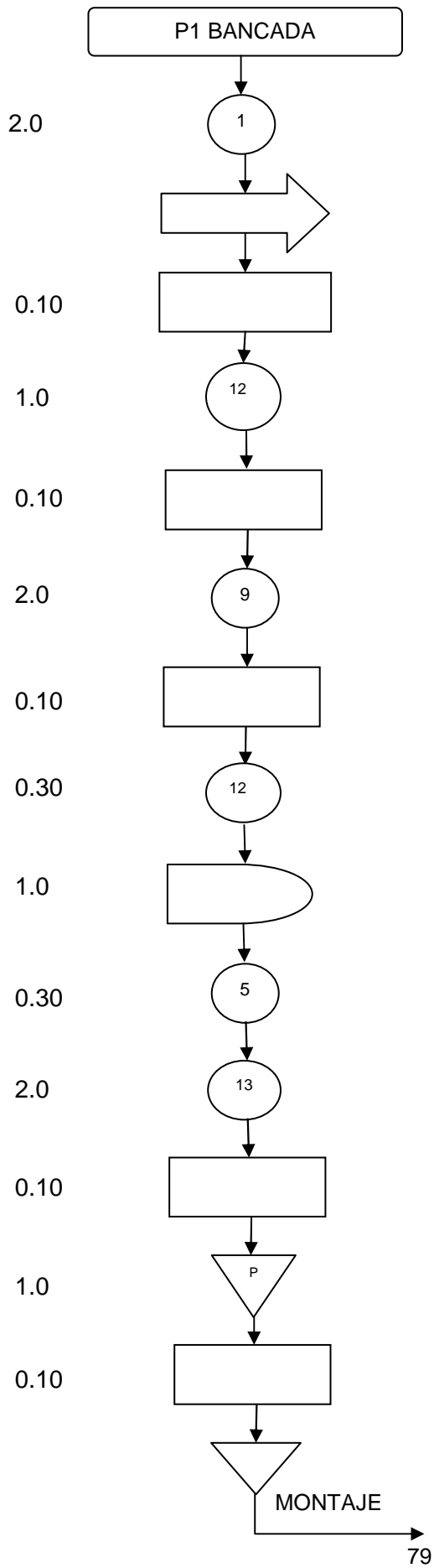
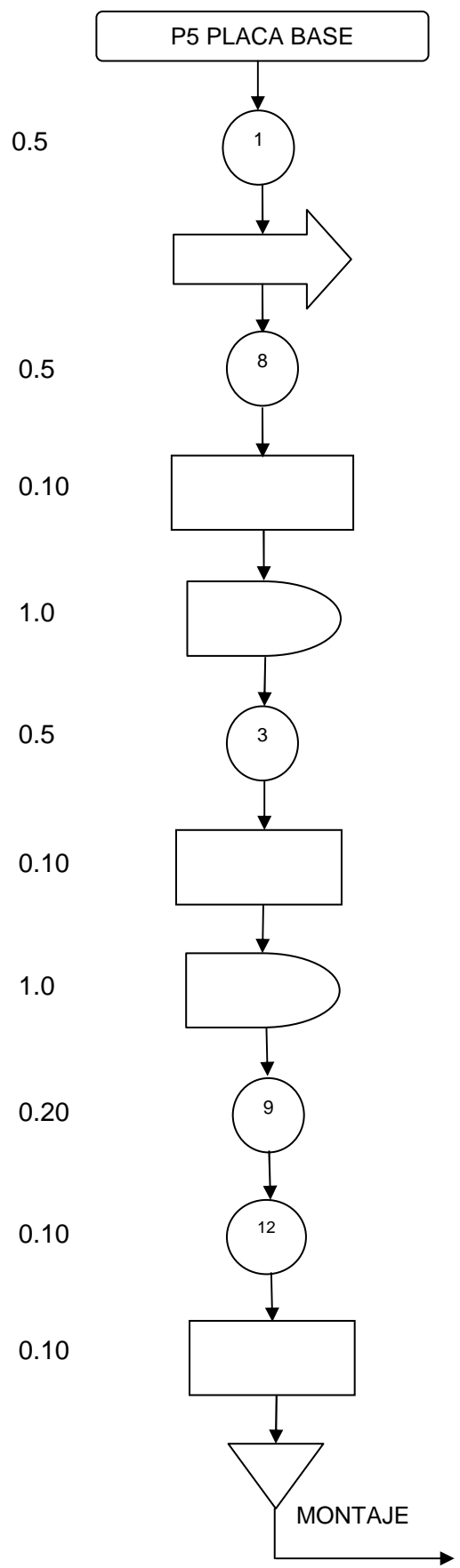
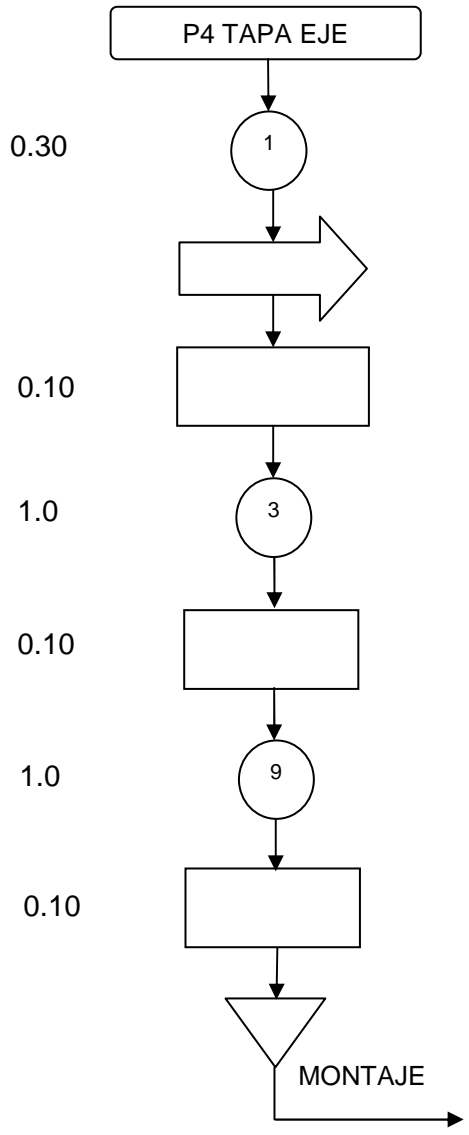
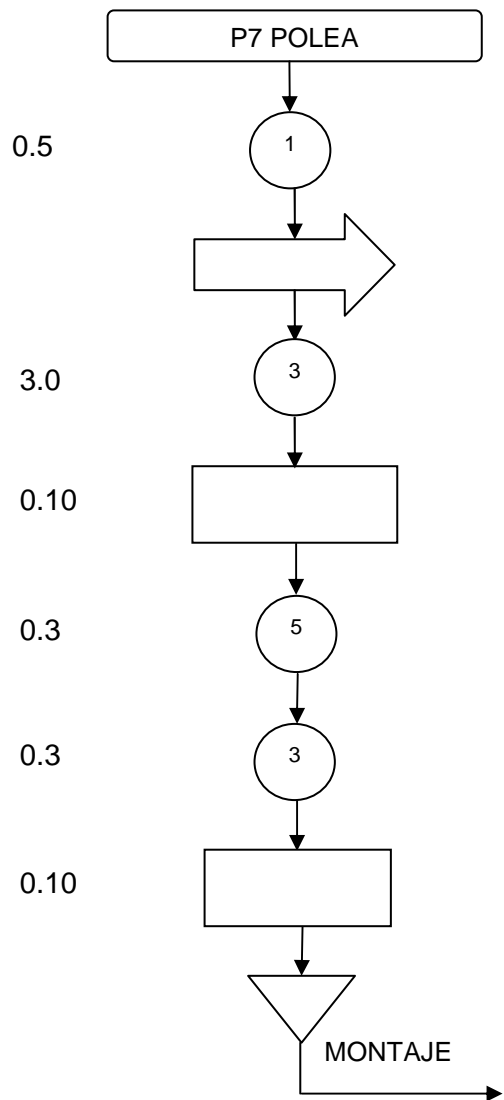
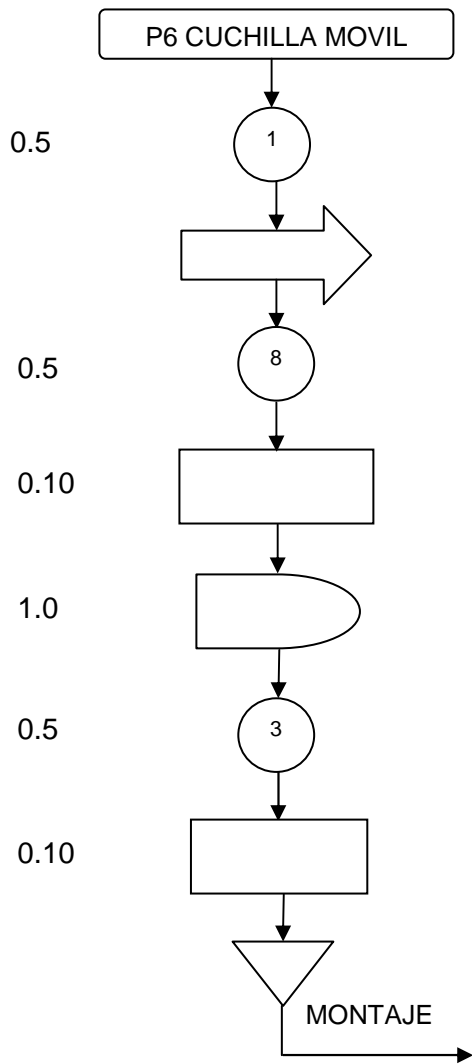
Simbología	Significado
	Operación tecnológica
	Traslado o transporte
	Inspección
	Espera
	Pintura
	Almacenamiento

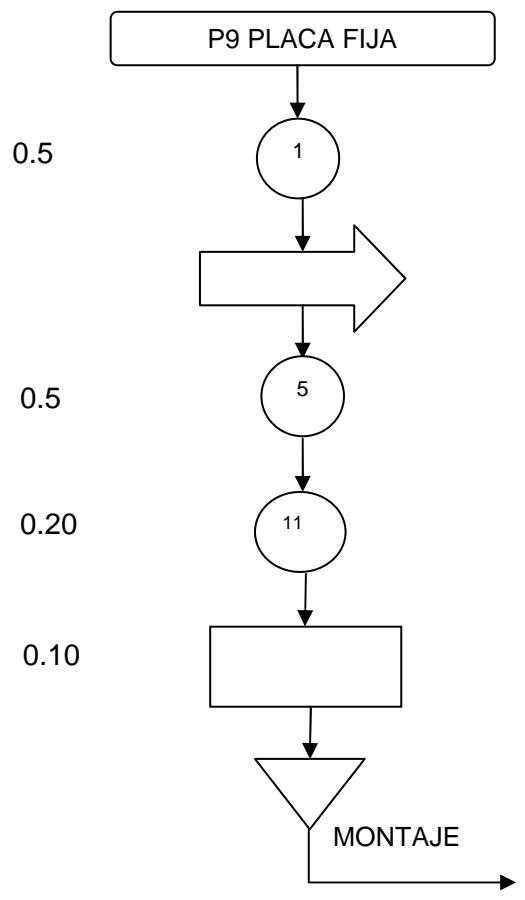
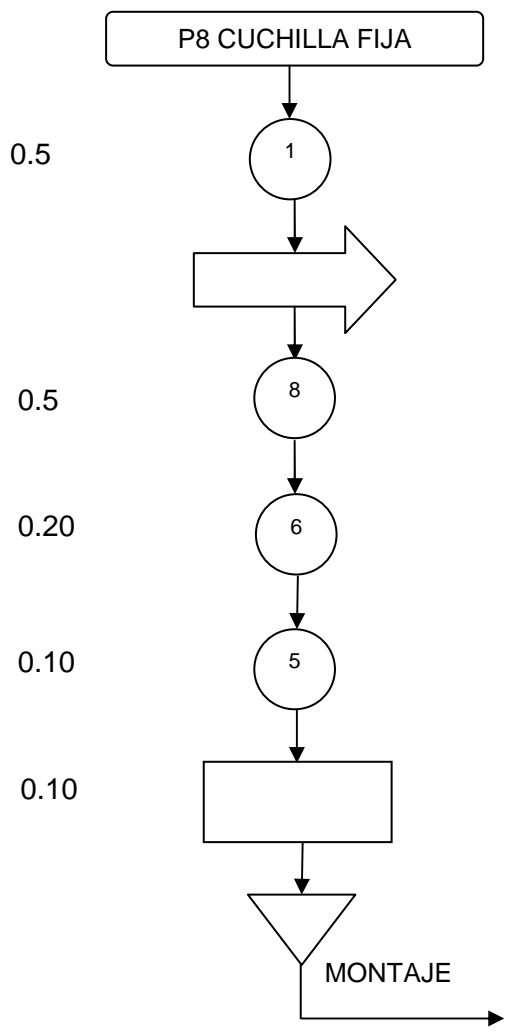
Figura 37. Cursograma de la construcción

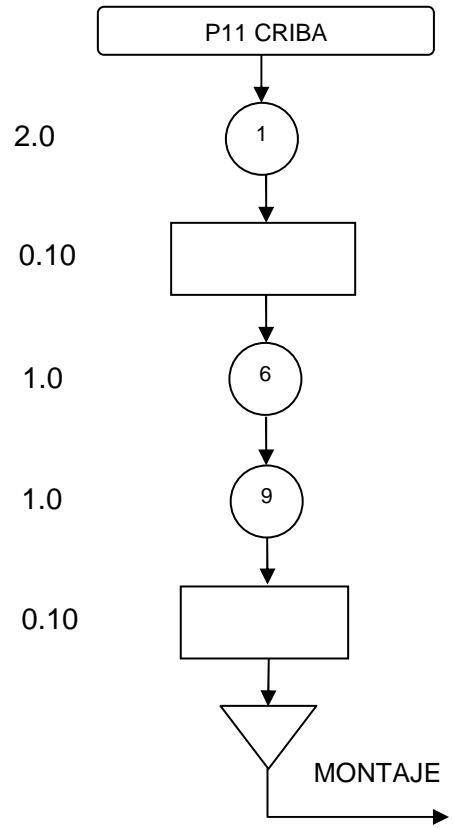
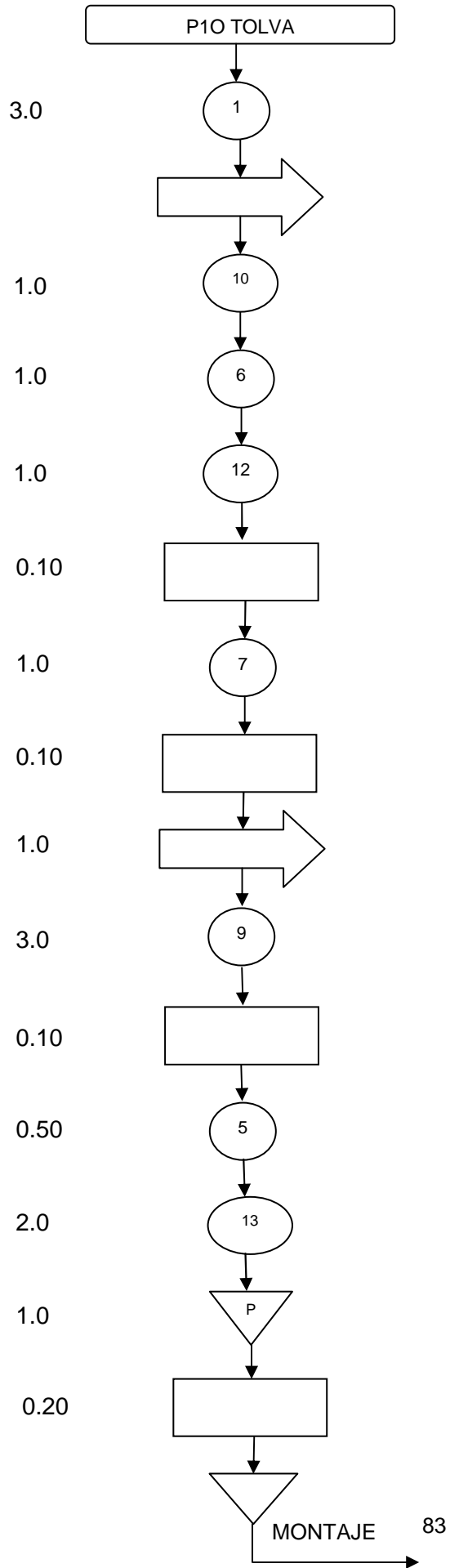


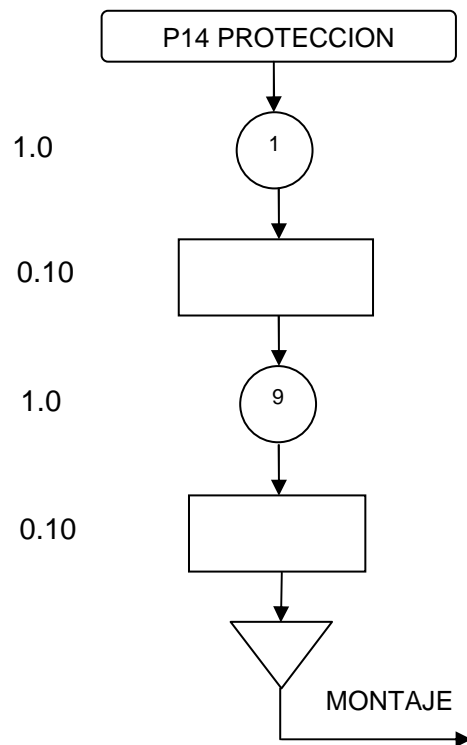
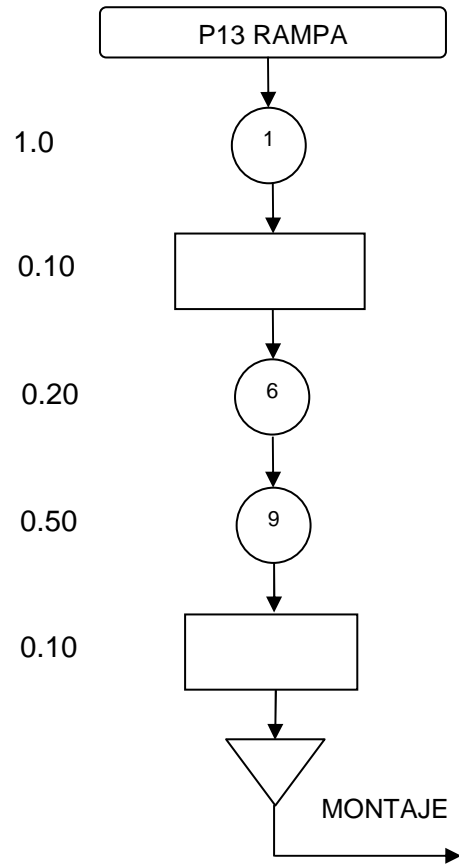
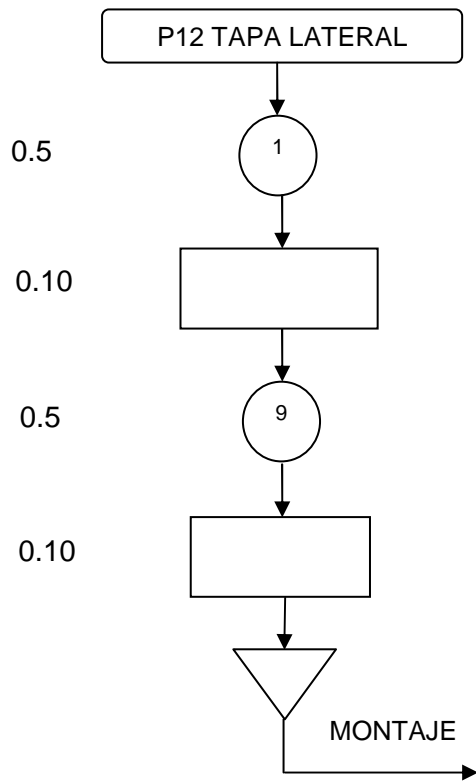














### 5.2.2 Tiempo empleado de las maquinas, equipos y herramientas en la construcción.

En la tabla 16 se detallan los tiempos de empleo y utilización de las máquinas, equipos y herramientas utilizadas en la construcción de la desmenuzadora.

Tabla 16. Tiempos empleados de las máquinas, equipos y herramientas  
(Tiempos cronometrados)

PIEZA	CA	TIEMPO (HORAS)									TOTAL				Horas
		MH1	MH2	MH3	MH4	MH5	MH6	MH7	MH8	MH9	E1	E2	E3	H	
P1	1	2.0					1.0		0.3			2.0	1.0	3.0	9.30
P2	1	.0.3	3.5											1.0	4.8
P3	1	0.3	2.0											1.0	3.30
P4	2	0.3	1.0									0.5		0.5	4.6
P5	12	0.5	0.5			0.5	0.1					0.2		0.5	27.6
P6	24	0.5	0.5			0.5								0.5	48.0
P7	2	0.5	3.3						0.3					0.5	9.20
P8	11	0.5			0.5			0.2	0.1					0.2	16.5
P9	1	0.5				0.2			0.5					0.5	1.7
P10	1	3.0		1.0			1.0	1.0	0.5	1.0		3.0	1.0	2.0	13.5
P11	1	1.0						1.0				1.0		0.5	3.5
P12	2	0.5										0.5			2.0
P13	1	1.0						0.2				0.5		0.5	2.2
P14	1	1.0										1.0		1.0	3.0
TOTAL		35.2	32.1	1.0	5.5	18.2	3.2	4.4	3	1		12	2.0	32	149.2

### 5.3 Montaje

Una vez que los elementos mecánicos han sido construidos en base a los diseños realizados y a los procedimientos tecnológicos planteados, así como los elementos seleccionados hayan sido adquiridos, se procede a las operaciones de ensamblado de las partes, para formar el conjunto de los mecanismos de los que se hayan constituido la desmenuzadora de turba.

La desmenuzadora tiene un bastidor que está dividido en dos partes: parte inferior y parte superior, las cuales sirven como base para el montaje de los elementos que componen la máquina.

Se debe de tener mucho cuidado en el montaje del rotor sobre el bastidor ya que de esto depende la correcta alineación en los rodamientos, como también su correcta nivelación, de no hacerlo así muchos de estos elementos sufrirán grandes desgaste en tiempos relativamente cortos, además la desmenuzadora trabajará en condiciones de vibración y desbalanceo.

### 5.3.1 Operaciones tecnológicas

En el montaje de cada uno de los elementos de la máquina se detalla a continuación las siguientes operaciones tecnológicas en la tabla 17.

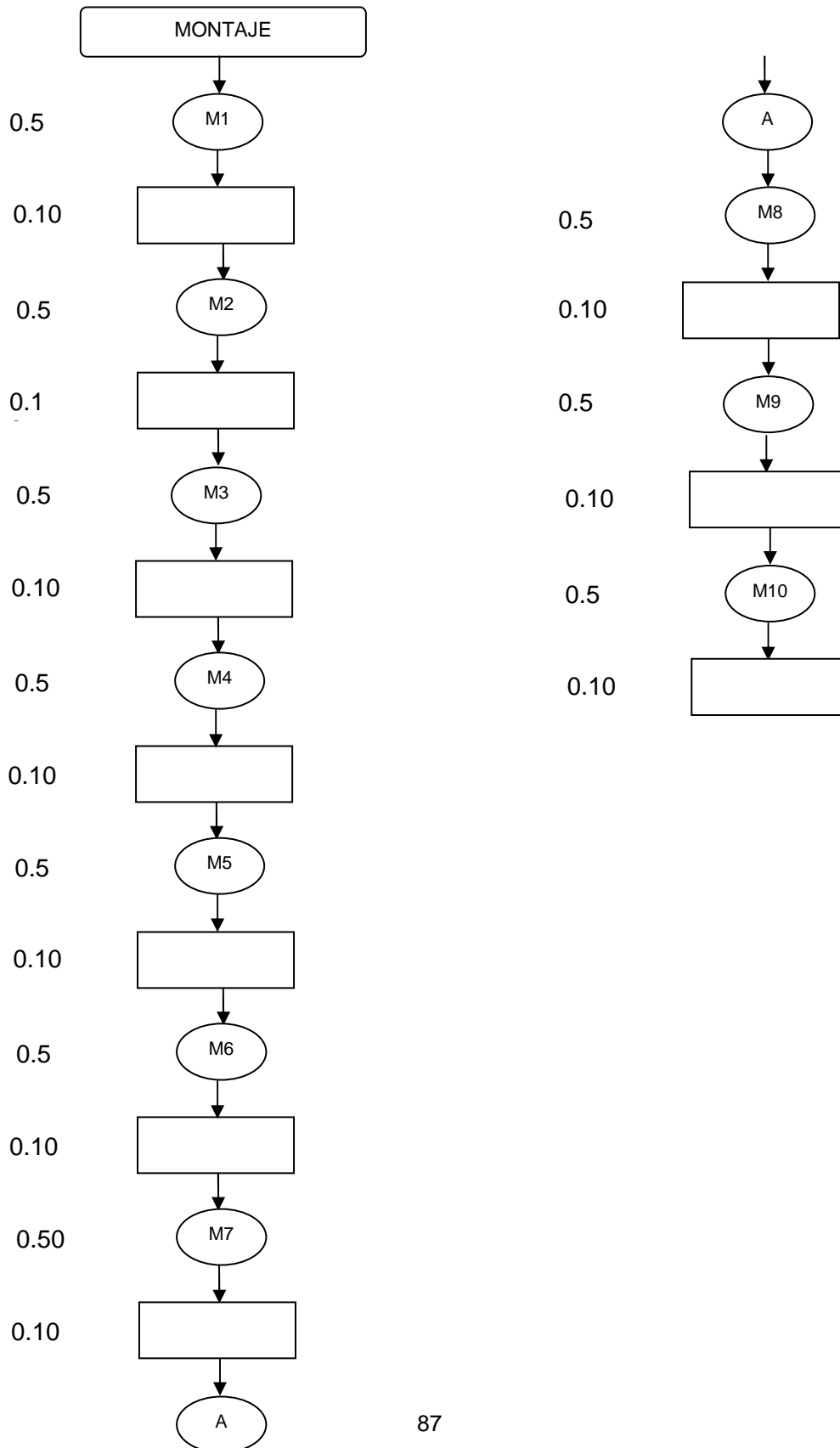
Tabla 17. Operaciones tecnológicas en el montaje

	OPERACIONES
M1	Montaje de los soportes y rodamientos sobre el rotor.
M2	Montaje de la polea conducida y chaveta sobre el eje principal.
M3	Montaje del rotor sobre la bancada.
M4	Montaje de las cuchillas sobre el rotor.
M5	Montaje de cuchillas fijas sobre la placa fija.
M6	Montaje del conjunto fijo sobre la bancada.
M7	Montaje de la tolva.
M8	Montaje de la polea motriz y chaveta sobre el eje del motor.
M9	Montaje del motor sobre su base guía.
M10	Montaje de las bandas y protección.

### 5.3.2 Cursograma del montaje de la máquina

En la figura 38 se detalla el cursograma del montaje de la máquina, relacionando las operaciones tecnológicas M con el tiempo en horas de cada actividad.

Figura 38. Cursograma del Montaje



### 5.3.3 *Tiempo empleado en el montaje.*

El tiempo empleado en el montaje de los elementos y accesorios de la máquina es:

Tiempo en horas = 6.5 h (Cronometrado)

El tiempo total empleado en la construcción y montaje de los elementos constitutivos de la máquina es:

$$T_t = T_c + T_m \quad (77)$$

Donde:

$T_t$  = tiempo total

$T_c$  = tiempo empleado en la construcción de los elementos (150 h)

$T_m$  = tiempo empleado en el montaje (6.5 h)

$T_t = 156.5$  h

## 5.4 **Análisis de costos [20]**

El análisis del costo total de la máquina se lo hace en base a los costos directos e indirectos

**5.4.1 *Costos directos.*** Los costos directos son aquellos que intervienen directamente en la construcción de la máquina, estos son: materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transporte.

$$C_D = C_M + C_{MO} + C_{EH} + C_t + C_F \quad (78)$$

Donde:

$C_M$  = costos de materiales

$C_{MO}$  = costos de mano de obra

$C_{EH}$  = costos de equipos y herramientas

$C_t$  = costos de transporte.

$C_F$  = costo financiero

### Costo de mano de obra[21]

Para la construcción de la desmenuzadora de turba se necesitaron tres trabajadores con conocimientos en mecánica industrial.

- OPERARIO (Torno, prensa, limadora, dobladora, baroladora)
- SOLDADOR (Soldadora)
- AYUDANTE (Taladradora, amoladora, esmeril, cierra mecánica y pintura)

Tabla 18. Costo mensual al patrono de trabajadores

Trabajador	Cargo	SUM	13vo Sueldo	14vo Sueldo	Vacaciones	Aporte patronal IESS	Costo real trabajador
Rodrigo Padilla	Operario	180	15	15	7.5	20.07	237.57
Julio Chicaiza	Soldador	150	12.5	12.5	6.25	16.73	197.98
Cristian Paucar	Ayudante	90	7.5	7.5	3.75	10.35	119.10

Tabla 19. Costo de mano de obra en construir la máquina

Trabajador	Cargo	Horas laboradas	Costo trabajador
Rodrigo Padilla	Operario	44	65.33
Julio Chicaiza	Soldador	11.9	14.72
Cristian Paucar	Ayudante	93.6	69.67
		Total:	149.73

CMOD = 149.73 USD.

*Costo de equipos y herramientas.*

Tabla 20. Costo de equipos y herramientas

<b>E/H</b>	<b>MH1</b>	<b>MH2</b>	<b>MH3</b>	<b>MH4</b>	<b>MH5</b>	<b>MH6</b>	<b>MH7</b>	<b>MH8</b>	<b>MH9</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>H</b>
Número de horas	35.2	32.1	1.0	5.5	18.2	3.2	4.4	3.0	1.0	11.9	2.0	32
Costo por hora	0.10	0.75	0.25	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.05
Costo total:	3.5	24.1	0.25	1.65	4.55	0.80	1.1	0.75	5.95	0.50	0.25	1.60

CEH = 45 USD.

*Costos de materiales.*

Los costos correspondientes a materiales, que se dan a continuación son actualizados, del presente año.

La tabla 21 muestra los costos de cada uno de los materiales empleados en la máquina, así como los costos de los elementos que han sido seleccionados y comprados.

La primera columna indica la cantidad de cada uno de los elementos, la segunda el tipo de material empleado, la tercera indica la unidad en que se puede adquirir el material, la cuarta el costo unitario y la última indica el costo total.

Tabla 21. Costos de los materiales

DESMENUZADORA DE TURBA				
CANTIDAD	MATERIAL	UNIDAD	COSTO	COSTO TOTAL
0.8	Acero ASSAB 705 d = 40mm	M	4	4
0.5	Acero SAE 1024 d = 112*90mm	M	85	43
3.8	Acero AISI 1020 d = 152.4mm	J<g	1	12
2	Acero AISI 1020 d = 88.9mm	Kg	1	4
2	Bandas en "V" A 57		4.50	9
1	Broca d-8 mm		0.50	0.50
1	Broca de centro		1	1
8	Discos abrasivos		1	8
30	Electrodos 6011	Lbs	0.50	15
30	Electrodos 7018	Lbs	0.60	18
5	Electrodos TIMAN	Lbs	0.80	4
5	Hoja de sierra		0.50	2.50
1	Motor [3 Hp)		220	220
1	Oxígeno (200 psi)		15	15
42	Pernos M10x25 RG		0.15	6.30
4	Pernos M12x50RF		0.50	2
1	Pintura anticorrosivo	Lt	1	1
1	Plancha de acero de 2.8 mm		55	55
0.5	Plancha de acero de 2 mm		20	20
2	Platina de .3 mm		10	20
2	Platinas de 6 mm		18	36
2	Chumaceras SN306 NSK		22	44
12	Rodelas Planas ½		0.05	0.60
42	Rodelas planas 3/8		0.05	2.10
1	Switch de 3x100		5	5
1	Tiñher	Lt	1.20	1.20
42	Tuercas M10RG		0.10	4.20
4	Tuercas M12 RF		0.20	0.80
1	Angulo de 60*60 mm		32	32
2	Varillas redondas d = 8 mm		4	10.70
	<b>TOTAL</b>			596.59

$C_M = 597$  usd.

Peso total de la máquina= 180 Kg.

# de horas total = 156.5 h

# de horas de construcción= 150 h

# de horas de montaje = 6.5 h

$$C_F = 0.01 * C_M \quad (82)$$

$C_F = 6$  USD

$C_t = 50$  USD

$C_D = 847.73$  USD

#### 5.4.1 Costos indirectos.

Los costos indirectos que intervienen son los costos de ingeniería que involucran el diseño, planos, supervisión y utilidad; estos costos se recomienda que sean el 30% de los costos totales.

$$C_i = 0.3 \cdot C_D \quad (83)$$

$$C_i = 254.32 \text{ usd.}$$

*Costo total.* Es la suma de los costos directos más los costos indirectos.

$$C_T = C_D + C_i \quad (84)$$

$$C_T = 1100 \text{ usd.}$$

#### 5.5 Tiempo de recuperación de la inversión [22]

Para conocer el tiempo de recuperación de la inversión se podría partir del análisis del punto de equilibrio, el cuál se puede realizar mediante la siguiente fórmula:

$$VPE = \frac{Gft}{1 - \frac{Gvt}{Vtv}} \quad (85)$$

Donde:

VPE = volumen de ventas en el punto de equilibrio

Gft = gastos fijos totales

Gvt = gastos variables totales

Vtv = volumen total de ventas

*Gastos fijos totales.* Es la sumatoria de los gastos: por la inversión en la máquina, en materiales, mano de obra, energía eléctrica.

$$Gft = C_v + C_{m1} + C_{m0} + C_{ee} \quad (86)$$



Donde:

$$C_v = 1100 \text{ usd}$$

$C_{m1} = 50 \text{ usd}$  que es el costo de la volqueta de turba.

$C_{mo} = 100 \text{ usd}$  (se necesita un operario y este es el valor mensual que se paga en el vivero)

$C_{ee} = 10 \text{ usd}$  (valor aprox. mensual que se paga por consumo de un motor de 3 Hp)

Analizando en un periodo de producción de un año se tiene:

$$G_{ft} = 14420.1 \text{ usd}$$

*Gastos variables totales.* Es el costo de la producción que altera su medida económica según la fluctuación de la producción. Los cuales pueden ser: el costo de venta del producto, los costos de materiales para embalaje, el consumo de repuestos, lubricantes, transporte. El cuál se puede hallar mediante la siguiente fórmula:

$$G_{vt} = C_{t1} + 0.5 * H_{mod} \text{ (en dólares)} \quad (87)$$

Donde:

$H_{mod} = \text{Horas de mano de obra directa} = 1920 \text{ Hr}$  (en un año trabajando 8 Hr por día)

$C_{t1} = 12000 \text{ usd}$  (costo aproximado de transporte en volquete de turba en un año)

$$G_{vt} = 21600 \text{ usd}$$

*Volumen total de ventas.* El tiempo en días de las horas de mano de obra directa es de 240 días, la producción de turba es de 7000 Kg. /día, lo que nos da una masa total de 1680000 Kg.

$$V_{tv} = 1680000 \text{ Kg} * 1 \text{ dolar} / 45 \text{ Kg} = 37333.33 \text{ usd.}$$

Obteniéndose:

$$VPE = 34333.6 \text{ usd.}$$

Si a este valor se le divide para el costo por unidad se tiene un volumen de turba a desmenuzar de 1545010.7 Kg. y esto dividido para la producción diaria, nos da un tiempo de 221 días, que representa el tiempo en el cual se recuperaría la inversión inicial.

## CAPÍTULO VI

### 6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El presente capítulo trata de la instalación, operación y mantenimiento que debe realizarse para obtener del molino un rendimiento y durabilidad óptima.

#### 6.1 Instalación de la máquina

La máquina se asentará sobre una base de hormigón por medio de pernos guías, los cuales nos darán una mayor rigidez y evitarán vibraciones innecesarias.

El motor eléctrico debe instalarse alineado con el eje principal sobre una base regulable, y finalmente se realizará el montaje de las bandas, las cuales deberán tener una adecuada tensión para su correcto funcionamiento.

Figura 39. Instalación de la máquina



### 6.1.1 *Conexión eléctrica*

El motor eléctrico de la máquina es trifásico por lo que para su instalación se deberá disponer de una red adecuada; se deberá comprobar si el voltaje y la intensidad de la red son los correctos para evitar el daño y mal funcionamiento del motor.

## 6.2 **Pruebas y evaluación del equipo**

Antes de realizar las pruebas de la desmenuzadora es necesario realizar ciertas verificaciones, del montaje de los elementos, para garantizar que los mismos tengan un funcionamiento normal.

### 6.2.1 *Verificación del montaje de los elementos*

Previo a proceder a la verificación del montaje de los elementos, se debe poner en marcha la máquina por lo menos de 15 a 20 minutos, para lograr de esta manera que todos los elementos se acoplen.

### 6.2.2 *Pruebas en vacío*

En este tipo de pruebas se deduce, si el ajuste de los elementos es el correcto.

Datos obtenidos en el arranque sin carga.

- Corriente consumida en menos de 3s 12.5A
- Corriente de régimen 4A
- Revoluciones motor 1750 rpm
- Voltaje 212 V

#### 6.2.2.1 *Determinación de la velocidad en el rotor.*

Para la determinación de la velocidad en el rotor se utiliza un tacómetro con una capacidad de hasta 9000 rpm, con el cual se mide el número de revoluciones.

$$n_{\text{Diseño}} = 1000 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{Real}} = 1038 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{Diseño}} = \text{velocidad angular de diseño}$$

$$n_{\text{real}} = \text{velocidad angular medida en el rotor}$$

$$\% E = \frac{n_{Diseño} - n_{Real}}{n_{Real}} * 100 \quad (88)$$

Donde:

$$\%E = \text{porcentaje de error} = 3,66$$

Este porcentaje es el resultado de los márgenes de tolerancia en la construcción de sus elementos.

#### **6.2.2.2** *Determinación de la potencia del motor en vacío.*

$$P = \sqrt{3} E . I . \text{Cos}\varphi \quad (89)$$

Donde:

$$E = 212 \text{ V}$$

$$I = 4 \text{ A}$$

$$\text{Cos}\varphi = 0.84$$

$$P = 1233,74 \text{ watts [1,67Hp].}$$

#### **6.2.2.3** *Potencia de consumo (Pa)*

La potencia de consumo se obtiene con la intensidad del motor al momento de la carga, por lo cual se procedió de la siguiente manera:

- Colocamos en una lona 50 libras de turba.
- Alimentamos a la máquina con esta cantidad, cronometrando el tiempo del vaciado del recipiente.
- Con un voltamperímetro medimos la intensidad en el motor en cada tiempo de carga.

Los resultados se exponen en la siguiente tabla 22:

Tabla 22. Valores de carga y potencia durante las pruebas

CARGA (Lb/min)	VOLTAJE (V)	INTENSIDAD (A)	Cos $\phi$	POTENCIA	
				W	Hp
50	212	5	0.84	1542	2.09
100	212	6	0.84	1851	2,5
150	212	6.5	0.84	2005	2,71

Los valores obtenidos en la tabla 22 no son tan exactos ya que el Cos  $\phi$  es variable con la variación de la carga. Un valor mas exacto se obtiene tomando el tiempo y el consumo de kilowatios en el medidor obteniéndose un valor de 3 Hp a plena carga.

Figura 40. Pruebas y Evaluación del Equipo



### 6.3. Operación

Antes de poner en funcionamiento la desmenuzadora deben efectuarse las siguientes observaciones:

- Verificar que todos los pernos se encuentren bien ajustados.
- Verificar la alineación de las poleas.
- Comprobar la tensión correcta de las bandas y su protección adecuada.
- Comprobar que la conexión eléctrica es la correcta y la protección debida del motor.
- Antes de realizar la primera carga, la máquina debe estar en funcionamiento.
- No hacer funcionar la máquina a sus valores nominales.
- Luego de realizada la primera carga, esta debe ser continua para poder obtener un rendimiento óptimo de la máquina

### 6.4 Resultados

De las pruebas realizadas se pudo observar que los terrones de turba presentaron uniformidad en su tamaño inicial, siendo su variación de 5 a 15 centímetros de diámetro inicial tal como se indica en la figura 41.

Figura41. Terrones de turba



Al finalizar las pruebas se obtiene un producto totalmente desmenuzado con un desmenuzado homogéneo con un grosor máximo de 1 centímetro, tal como se puede observar en la figura 42.

Figura 42. Turba desmenuzada



Con estos resultados hemos suplido una necesidad grande para los viveros forestales, se ha conseguido disminuir la mano de obra y realizar el trabajo que realizaban 6 personas en 1 semana a 2 días y con solo dos personas.

Obteniéndose de esta manera un producto totalmente homogéneo, desmenuzado y sin haber perdido sus propiedades de nutrientes.

Figura 43. Resultados del desmenuzado





## 6.5 Mantenimiento

La máquina con el pasar del tiempo y del uso está sujeta a un proceso irreversible de desgaste, envejecimiento y disminución de la eficiencia, para lo cual se requiere realizar un mantenimiento en los elementos que con el paso del tiempo se deterioran o desgastan por su uso.

Para lograr un buen funcionamiento de la máquina y alargar su vida útil se realizará un mantenimiento preventivo, por lo que a continuación se dan algunas instrucciones en la siguiente tabla.

Tabla 23. Tabla de mantenimiento

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	OBSERVACIÓN
Limpieza de canales de las poleas y del motor	Diaria	Al finalizar la jornada de trabajo, se sugiere usar aire comprimido
Controlar la tensión en las bandas, su estado y ubicación	Diaria	Antes de empezar a trabajar
Ajuste de pernos de anclaje y partes e la máquina	Trimestral	Verificar su apriete o reajustarlos
Limpieza y revisión de cuchillas fijas y móviles	Diaria	Al terminar la jornada de trabajo, con un cepillo o escoba
Verificar conexiones eléctricas	Diaria	Estado de cables y térmico
Lubricación de Rodamientos del motor y chumaceras	Trimestral	Aplicar grasa a base de litio en los graseros o en el rodamiento
Cambio de rodamientos	5 años, 10000h	Rodamiento NU207, 32KN, NSK
Cambio de cuchillas móviles	Semestral	Cambiar las de mayor desgaste
Cambio de cuchillas fijas	Anual	Acero ASTM A 36, e = 6mm
Cambio de banda	Anual	Tipo A 33

Cómo se ve en la figura 40 la desmenuzadora es de fácil mantenimiento por su forma, tamaño y facilidad de desmontaje y facilidad para realizar la limpieza.

#### **6.5.1** *Ventajas del mantenimiento*

Es necesario tomar en cuenta que los procedimientos dados en la tabla de mantenimiento son para dar seguridad en la operación de la desmenuzadora, además de alargar la vida útil de la máquina. A continuación se explica las ventajas de las acciones tomadas.

Verificando que los pernos de anclaje se encuentren en buenas condiciones para evitar vibraciones durante el trabajo de la misma ya que estos son los que sujetan la máquina al suelo.

Controlando la tensión de las bandas y correcta ubicación de las mismas, la alineación de las poleas, limpiando el polvo de los canales, se evita el desgaste del sistema de transmisión y daño de las bandas.

Controlando el desgaste de las cuchillas móviles y cuchillas fijas se logra dar seguridad al operario, se evita destrucción de las partes de la máquina, un mejor rendimiento y se evita un consumo de energía innecesario.

Al verificar que las chumaceras se encuentren alineadas y lubricadas correctamente se logra un mejor desempeño del sistema desmenuzador, se evita vibraciones y ruidos innecesarios, si se dispone de un estetoscopio se recomienda realizar pruebas de ruido para saber las condiciones de los rodamientos.

Al limpiar el polvo del motor con aire comprimido y verificar que gire libremente en sus soportes se aumenta la vida útil del motor y se evita el recalentamiento del mismo.

Se debe tomar mayor importancia en el hecho del desgaste de los elementos, ya que de esto depende el tiempo entre cada período de reparación y mantenimiento, a su vez el costo que significa esta operación para la pequeña industria. Los primeros periodos se los recomienda darlos en intervalos de tiempos cortos, para poder realizar un registro adecuado del estado de la máquina y en el futuro poder realizar un programa de mantenimiento preventivo.

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

El diseño y construcción de la máquina Desmenuzadora de Turba no es complicado, está diseñado en base a los requerimientos de los viveros, hay que tomar en cuenta factores como la humedad y la granulometría de los cuales depende la selección de la potencia del motor y el diseño del rotor.

La Desmenuzadora se construyó con materiales disponibles en nuestro medio y de bajos costos, lo que permite que su adquisición sea rápida y fácil.

La máquina está en la capacidad de desmenuzar todo tipo de material orgánico, turba, terrones o todo tipo de abonos de animales.

El grado de finura se obtiene tan sólo cambiando el tamaño de la criba o rejilla, el recomendado para la turba es de 5mm como grosor mínimo.

Para obtener un óptimo rendimiento de la máquina, el flujo del material que se va a desmenuzar debe ser continuo, evitando de esta manera un gasto de energía innecesario.

La máquina es de fácil mantenimiento, por su construcción y acople de sus elementos, todos son desmontables con herramientas comunes en nuestro medio.

El bajo costo de la máquina hace que sea accesible para el agricultor, el pequeño y mediano empresario.

La potencia en vacío va a ser igual al valor teórico calculado, por lo que si se desea calcular la potencia de consumo será necesario tomar resultados del número de kilowatios consumidos y en que tiempo; esto se hará en el medidor trifásico, dado que con carga el  $\text{Cos } \varphi$  es variable.

## 7.2 Recomendaciones

El material que se va a desmenuzar debe estar completamente libre de piedras y materiales duros que pongan en peligro el normal funcionamiento de la máquina. Antes de poner la primera carga del material a moler, la máquina debe estar en funcionamiento.

Verificar la tensión de las bandas, para evitar su desgaste.

Verificar que los pernos de anclaje se encuentren en buen estado, para evitar vibraciones innecesarias y deterioro de sus partes.

Revisar el desgaste de las cuchillas, ya que deben estar en perfecto estado para realizar el desmenuzamiento.

Lubricar regularmente las chumaceras, para obtener un rendimiento óptimo.

Verificar la protección de las bandas, para evitar accidentes en los operarios.

Limpiar antes de cada jornada los canales de las poleas, para evitar el desgaste de las bandas.

En caso de que el desgaste de las cuchillas se produzca en periodos de tiempo muy cortos se recomienda fabricarlos con acero DIN X120 Mn12, el cual es un acero específico para cuchillas.

La criba o rejilla debe estar rediseñada cuantas veces sean necesarias hasta lograr un desmenuzamiento adecuado.

Si se produce acumulación de material en la criba o rejilla, se recomienda colocar resortes, para que se produzca el movimiento de la rejilla con el golpe del material.

Se recomienda antes de realizar pruebas en la máquina colocar un térmico para evitar daños en el motor o el sistema eléctrico, sea por sobrecarga o por algún cortocircuito.

Para futuros estudios se recomienda profundizar en temas como desgaste del material de las cuchillas, efectos del impacto de materiales al ser desmenuzados contra las paredes de la máquina y leyes de desmenuzamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PENNINGEFELD, Kurzmann. Cultivos Hidropónicos y en Turba. Alemania: 1992. Pág. 122.
- [2] SILVA, Edison. Estudio de la Turba como Fuente de Materia Orgánica. Ecuador: 2001. Pág.8-15.
- [3] JAGODIN, B. A. Agroquímica II. México: 1986. Pág. 123-132, 125-128, 128-132.
- [4] ANDRÉIEV, S. Trituración, Desmenuzamiento y Cribado de Materiales. 1era ed. Editorial Pueblo y Educación, La Habana. 1987. Pág. 145-147, 169–176.
- [5] CABE, Mc. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Editorial Reverte, España. 1975. Pág. 863–868, 872-875.
- [6] ANDRÉIEV, S. Desintegración, Trituración y Cribado de Minerales. 1era ed. Editorial Pueblo y Educación. 1987. Pág. 394-399.
- [7] [http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas\\_desmenuzadoras/01-turba.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_desmenuzadoras/01-turba.pdf)
- [8] RIBA, Romera Carles. Diseño Concurrente. Ediciones 1era ed. Barcelona. 2002. Pág. 58-63.
- [9] BRENAM, B. Operaciones de la Ingeniería en Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. 1970. Pág. 60-62.
- [10] CABE, Mc. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Editorial Reverte, España. 1975. Pág. 823–825, 853.
- [11] ANDRÉIEV, S. Trituración, Desmenuzamiento y Cribado de Materiales. 1era ed. Editorial Pueblo y Educación, La Habana. 1987. Pág. 395.
- [12] MEDINA, W. Tesis de Grado. ESPOCH. 1996. Pág. 5.
- [13] SHIGLEY, Joshep E. Diseño de Elementos de Máquinas. 3ra.ed. México: McGraw – Hill, 1985. Pág. 247.
- [14] FAYRES, V. Diseño de Elementos de Máquinas. Montaner y Simón Editores. Barcelona: 1977. Pág. 33-39.

- [15] HAMROCK, Bernard J. Elementos de Máquinas. 2da.ed. México: McGraw-Hill, 2000. Pág. 257.
- [16] MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico. Tomo I. México: McGraw – Hill, 1985. Pág. 5-56.
- [17] SHIGLEY, Joseph E. Diseño de Elementos de Máquinas. 3ra.ed. México: McGraw – Hill, 1985. Pág. 307, 730.
- [18] MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico. Tomo I. México: McGraw – Hill, 1985. Pág. 58-72.
- [19] NSK, Catálogo General de Chumaceras y Rodamientos. Italia: 2002. Pág. B84, B278.
- [20] NORRIS, Clement. Economía. 4ta. Ed. México: 1999. Pág. 235-240.
- [21] SANCHEZ, Gilberto. La Tablita Dolarizada. Ediciones Edype. Quito-Ecuador. 2005. Pág. 2-6.
- [22] VEGA, Celio. Ingeniería Económica. Quito-Ecuador. 1983. Pág. 339,340.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDRÉIEV, S. Trituración, Desmenuzamiento y Cribado de Materiales 1era ed. Cuba: Editorial Pueblo y Educación, 1987.
- BOHMAN, Iván. Catálogo de Aceros, Herramientas de Corte y Soldadura, Aceros de Trasmisión SAE 1018. (Catálogo).
- CABE, Mc. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. España: Editorial Reverte, 1975.
- DUBBEL, H. Manual del Constructor de Máquinas. 3era. ed. España: Editorial Labor, 1969.
- FAG, K. Georg. S. Programa Standard FAG. Postfach 1260 D-8720 Schweinfurt. Alemania: (Catálogo 41500/2 SA).
- FAYRES, V. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Ed Hispanoamérica. McGraw-Hill, 1977.
- INEN. Código de Dibujo Técnico Mecánico. Quito: 1989.
- JAGODIN, B. A. Agroquímica II. Rusia: Mir Moscú, 1986.
- MORSE. Catálogo de Motores Eléctricos, Bandas, Poleas y Cadenas. U.S.A. 1990.
- NORRIS, Clement. Economía. 4ta. ed. México: 1999.
- NSK, Catálogo General de Chumaceras y Rodamientos. Italia: 2002.
- ORTIZ, Cañabate. Técnicas de Mecanización Agraria. 3era. ed. México: 1989.
- SANCHEZ, Gilberto. La Tablita Dolarizada. Ecuador: Ediciones Edype, 2005.
- SHIGLEY, Joshep. Diseño de Elementos de Máquinas. 3ra.ed. México: McGraw-Hill, 1985.
- SILVA, Edisson. Estudio de la Turba como Fuente de Materia Orgánica. Ecuador: 2001.
- VEGA, Celio. Ingeniería Económica. Ecuador: 1983.

## LINKOGRAFÍA

### **CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

<http://es.wikipedia.org/wiki/Turba>

2002-09-18

### **TIPOS DE SUSTRATOS DE CULTIVO**

<http://www.SuelosdeCultivo.html>

2002-10-18

### **TURBA**

<http://www.Turba.pdf>

2002-11-23

### **MÁQUINAS DESMENUZADORAS**

<http://www.google.com>

2004-01-11

### **MAQUINARIA AGRÍCOLA**

<http://www.biotrever.com>

2004-01-12

### **IMÁGENES DE TURBAS**

<http://www.canstockphoto.es>

2005-06-12

### **IMÁGENES DE TURBAS**

<http://www.galeríafundego.com>

2005-06-12