

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
DESPULPADORA DE TEMPATE PARA LA GENERACIÓN DE  
BIODIESEL**

PRESENTADO POR:

**AMILCAR EDUARDO FUENTES**

**ELVIS MAURICIO PAREDES ACEVEDO**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2011.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR

:

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO

:

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO

:

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNANDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

DIRECTOR

:

**ING. JUAN ANTONIO FLORES DIAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Titulo

:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
DESPULPadora DE TEMPATE PARA LA GENERACIÓN DE  
BIODIESEL**

Presentado por

:

**AMILCAR EDUARDO FUENTES  
ELVIS MAURICIO PAREDES ACEVEDO**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docentes Directores

:

**ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES  
ING. LUIS HUMBERTO GUIDOS SERRANO**

San Salvador, febrero de 2011.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES**

**ING. LUIS HUMBERTO GUIDOS SERRANO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero a DIOS ya que todo lo que pasa en la vida es gracias a él, a la virgen María que me guio y protegió en este difícil camino, especial dedicación a mis padres: Silvia y Ramón que me apoyaron sin condición en mi formación, mi madre y padre de sangre, a mis hermanos que siempre me apoyaron: Vero, Luis, Rodrigo a todos, mi familia abuelos, tíos y primos, a mis amigos que compartimos momentos muy duros y siempre demostramos nuestra amistad: Arnulfo, Apontes, Lic. Pérez, Israel, Elías, Farfán, Quique, Elvis a todos muchas gracias, los maestros que nos dieron todo su aporte y confianza y al Lic. Handal que nos confió un trabajo importante y difícil gracias.

Amilcar Eduardo Fuentes.

Quiero dedicar este logro a quienes realmente lo merecen y agradezco, mi padre y madre que me apoyaron hasta el final y que hoy junto a mi esfuerzo me dan el regalo de ser un ingeniero, quiero agradecer también al Lic. Salvador Handal y LA GEO en general por financiar nuestro proyecto ya que sin la ayuda de ellos no lo habríamos logrado, a los maestros que nos guiaron y estuvieron ayudándonos a lo largo de todo el trabajo de graduación, a mis amigos los Poma, a Ellie, a mis amigos y compañeros universitarios con quienes trabajé a lo largo de la carrera y me ayudaron de manera desinteresada muchas gracias.

Elvis Mauricio Paredes.

## **INDICE**

	Pág.
Introducción	i
1.0 El biodiesel (historia)	1
1.1 Formas de emplear los aceites vegetales como combustible	2
1.1.1 Mezcla aceite con queroseno (parafina), diesel o biodiesel	2
1.1.2 Uso directo del aceite vegetal	3
1.1.3 Conversión a biodiesel	4
1.2 Procesos de producción de biodiesel	6
1.3 Lavado del biodiesel.	10
1.4 Principales ventajas del biodiesel	11
1.5 Desventajas del biodiesel	13
1.6 Información técnica del tempate (jatropha curcas l.)	14
1.7 Fase agroindustrial	15
1.7.1 Recomendaciones fase agro industrial	17
1.8 Taxonomía	17
1.8.1 Morfología vegetal	18
1.8.2 Fisiología vegetal	20
1.8.3 Hábitat	20
1.8.4 Condiciones agro climáticas	21
1.8.5 Composición química	22
1.8.6 Las principales bondades de la planta jatropha curcas l.	22
2.0 Descripción de la máquina	23
2.1 Descripción general	23
2.1.1 Cámara receptora	27

2.1.2 Cámara de despulpado	28
2.1.2.1 Componentes estructurales	29
2.1.2.2 Componentes de transmisión	35
2.1.3 Separador	39
2.1.3.1 Elementos estructurales	40
2.1.3.2 Elementos de transmisión	43
2.1.3.3 Capacidad del separador	45
2.2 Sistema eléctrico de la maquina	46
3.0 Diseño, selección y fabricación de los componentes de la máquina	47
3.1 Variables de diseño	48
3.2 Diseño despulpadora	49
3.2.1 Diseño cámara de despulpado	49
3.2.2 Diseño de cuchillas	50
3.2.3 Selección de material de la cámara de despulpado	52
3.2.4 Selección de la velocidad de operación de la despulpadora	54
3.2.5 Dimensionamiento de la cámara de despulpado	54
3.2.6 Diseño del bushing	65
3.2.6.1 Dimensionamiento del bushing	66
3.2.6.2 Selección del material para el bushing	68
3.2.6.3 Análisis del desgaste en el bushing	69
3.2.7 Sistema de transmisión despulpadora	75
3.2.7.1 Dimensionamiento del sistema de transmisión	77
3.2.8 Capacidad teórica de la máquina	81
3.2.9 Selección de equipos	82

3.2.10 Selección faja despulpadora	83
3.2.11 Sistema de soporte y regulación del cono fijo	86
3.2.12 Dimensionamiento cámara receptora	88
3.2.13 Diseño estructura	91
3.3 Diseño del separador	92
3.3.1 Tela metálica	93
3.3.2 Llantas	93
3.3.3 Sistema de transmisión del separador	94
3.3.4 Dimensionamiento del sistema de transmisión	95
3.3.5 Diseño del eje del separador	98
3.3.6 Selección de faja del separador	101
3.3.7 Selección de cojinetes	103
3.3.8 Selección del sistema eléctrico de la máquina	105
3.3.8.1 Selección del conductor	106
3.3.8.2 Cálculos para la selección del tipo de cable	111
3.4 Estudio económico	113
3.5 Correcciones	114
3.5.1 Corrección cámara de despulpado	115
3.5.2 Corrección capacidad	117
4.0 Ensamble y mantenimiento	118
4.1 Ensamble	119
4.1.1 Ensamble de la estructura del separador	119
4.1.2 Ensamble de la estructura del separador y la estructura de la despulpadora	123
4.1.3 Mesa separador	125



4.1.4 Ensamble despulpadora	129
4.2 Mantenimiento preventivo periódico	138
4.2.1 Mantenimiento semanal despulpadora	138
4.2.2 Mantenimiento mensual despulpadora	139
4.2.3 Mantenimiento semestral despulpadora	140
4.2.4 Mantenimiento semanal separador	141
4.2.5 Mantenimiento mensual separador	141
4.2.6 Mantenimiento semestral separador	142
Plan de mantenimiento despulpadora de tempate	143
4.3 Recomendaciones	144
Conclusiones	145
Anexos	146
Bibliografía	155

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación aborda los detalles del “Diseño y construcción de una máquina despulpadora de tempate para la generación de biodiesel”, funcionamiento de cada parte y especificaciones de los equipos.

En la actualidad el alza en los precios de los energéticos derivados del petróleo se da debido a la sobrepoblación que hace que estos sean escasos y, por tanto, necesario buscar una alternativa de solución en los biocombustibles, para nuestro caso la generación de biocombustibles a partir del aceite extraído de la semilla de tempate.

Por lo que en el presente trabajo se realizó un estudio de la problemática que presenta el procesamiento del fruto de tempate específicamente en la etapa de despulpado; es por eso que se inicia caracterizando dicho fruto para conocer sus principales propiedades físicas, mecánicas y agroindustriales.

Una vez identificadas dichas propiedades se inicia el diseño general de las piezas que conformaran la máquina; evaluando y seleccionando los materiales más adecuados encontrados en el mercado nacional para definir los mecanismos de operación que realicen el trabajo de una mejor manera.

Usando como herramientas los conocimientos adquiridos y desarrollados en el área de diseño y selección de elementos de máquinas y procesos de fabricación se procede a identificar las variables de diseño y calcular los esfuerzos y condiciones de operación más críticas a los que va a estar sometida la máquina para dimensionar los equipos y el tamaño de la máquina. Una vez obtenidos los datos de diseño final se procedió con la construcción de la máquina, ensamblado, pruebas y correcciones de la misma hasta lograr el propósito para la cual esta fue creada.

## **1.0 EL BIODIESEL (Historia)**

El uso de aceites vegetales como combustible, comenzó con el diseño del primer prototipo de motor que Rudolf Diesel ideó cien años atrás; haciéndolo funcionar con aceite de maní. El consideraba que los motores diesel operarían a base de una variedad de aceites vegetales. Sin embargo; luego de su muerte la industria petrolífera se adueño del surgimiento del motor de diesel dando el nombre de “combustible diesel” a uno de los subproductos del proceso de destilación del petróleo, olvidando así que este motor podía funcionar con cualquier tipo de aceite. A mediados de la década de 1970, la escasez de combustible en los EE.UU. estimuló el interés en diversificar sus fuentes y con ello el interés en desarrollar biodiesel como una alternativa al fabricado con petróleo.

Teniendo en cuenta el crecimiento de la demanda energética, los problemas ambientales, las preocupaciones crecientes sobre la posibilidad de un cambio global del clima causado en gran parte por las emisiones gaseosas de los motores, se está agregando más ímpetu al desarrollo del biodiesel como una alternativa al producido por los derivados del petróleo.

Durante la década de 1980 se realizaron las primeras pruebas técnicas con biodiesel, estas se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester – metil ester aceite de semilla de colza).

Luego de Europa, el continente americano inició sus investigaciones sobre este tipo de combustible, basando sus experimentos en los resultados obtenidos por los europeos, los primeros en aventurarse fueron los EE.UU. y algunos países de América del Sur (Argentina, Uruguay, Ecuador y Brasil), obteniendo resultados favorables con diversos aceites.

Tanta fue la importancia en desarrollar y perfeccionar la producción que durante el periodo 2000-2003, EE.UU. y Argentina, tenían ya normalizada la producción y caracterización del biodiesel. En otros países de Sudamérica aun están en etapa de investigación y desarrollo, y otros como es el caso de Uruguay ya tienen en funcionamiento una planta de producción de biodiesel.

En Centroamérica y el Caribe el proyecto del biodiesel se encuentra en sus inicios, tienen investigaciones que datan desde el año 1993, investigando el uso potencial que posee el Tempate (Jatropha Curcas) para la elaboración de dicho combustible; este estudio proviene de Nicaragua quien en colaboración con organismos no Gubernamentales e instituciones educativas, realizaron estudios sobre el potencial energético del Tempate.

## **1.1 FORMAS DE EMPLEAR LOS ACEITES VEGETALES COMO COMBUSTIBLE**

Hoy en día el aceite vegetal puede usarse de tres formas para llevar a cabo la operación de los mismos como combustible:

- Mezcla de aceite con queroseno (parafina), diesel o biodiesel
- Uso directo. Combustible de aceite vegetal (CAV)
- Conversión a Biodiesel.

### **1.1.1 MEZCLA ACEITE CON QUEROSENO (PARAFINA), DIESEL O BIODIESEL**

Al realizar la mezcla de aceite vegetal con queroseno o con diesel indiscutiblemente se utiliza combustible fósil; aunque no proporciona el máximo beneficio ambiental, es importante considerar que por cada litro de aceite vegetal que se agrega a la mezcla se ahorra un litro de combustible fósil y se emite a la atmósfera menor cantidad de dióxido de carbono.

Regularmente se utiliza una mezcla de 70% de aceite y un 30% de queroseno; también es común la mezcla al 50%. Después de ser mezclado puede utilizarse directamente, sin embargo existen opiniones acerca de la necesidad de realizar un precalentamiento, o la adición de un sistema de dos depósitos.

Al realizar la mezcla de aceite con Biodiesel (generalmente suele mezclarse al 50%), no es conveniente utilizarlo en motores no aptos para mezclas de este tipo.

No es recomendable realizar y utilizar mezclas, pero en los países con clima frío resulta ventajoso. Al mezclar el aceite con queroseno o diesel fósil (derivado del petróleo) en combinación con el Biodiesel, evita que la mezcla se congele cuando se disminuye a una temperatura menor que 0°C.

Para esta problemática es necesario reducir la viscosidad del aceite agregando un disolvente. El disolvente de mayor uso es el disolvente de Stoddard (aguarrás mineral) un sucedáneo del aguarrás; empleándose generalmente un 3% del mismo; la mezcla de aceite vegetal con otros disolventes, como por ejemplo: butanol o etanol, aun se encuentra en fase experimental y por tanto no existe garantía que funcione eficientemente.

### **1.1.2 USO DIRECTO DEL ACEITE VEGETAL**

Para emplear aceite vegetal como combustible (CAV) primeramente se debe arrancar el motor con combustible ya sea fósil o biodiesel para luego hacer el cambio al aceite vegetal y volver a cambiar al diesel antes de parar el motor.

Al omitir este paso se formará una costra de restos quemados en los inyectores y en otras partes del motor. Por lo que es necesario un sistema de dos depósitos de combustible (es difícil en motores diesel pues su sistema de combustible es hermético); también es necesario un precalentamiento del aceite para reducir su viscosidad.

Usar aceite vegetal, con biodiesel para arrancar y parar, puede ser una alternativa limpia, económica y efectiva. Sin embargo, realizar los cambios del combustible al aceite vegetal resulta fastidioso cada vez que el motor arranque y pare.

### 1.1.3 CONVERSIÓN A BIODIESEL

También denominado biogasóleo o diester, constituye un grupo de biocarburantes que se obtienen a partir de aceites vegetales como: soya, colza girasol, *Jatropha curcas*. Los biodiesel son metilesteres de los aceites vegetales obtenidos por reacción de los mismos con metanol, mediante reacción de transesterificación, que produce glicerina como producto secundario. Los metilesteres de los aceites vegetales poseen muchas características físicas y físico-químicas muy parecidas al gasóleo con el que pueden mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diesel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor.

El biodiesel es un combustible sustituto del diesel para motores diesel, el cual puede ser producido partiendo de materias primas agrícolas y metanol o etanol puro (este puede ser producido a partir de residuos de la agricultura).

El biodiesel posee propiedades similares a las del combustible diesel y también puede ser utilizado en automóviles, camiones, autobuses y transporte marítimo entre otros; el biodiesel puede mezclarse en cualquier proporción con el diesel fósil, la más común oscila entre un 5-25% de biodiesel respecto al proveniente del petróleo o también puede utilizarse puro (biodiesel 100%).

La materia prima fundamental para la producción de biodiesel en Europa es la colza o canola (*Brassica juncea*), ya que es la oleaginosa más abundante y económicamente cultivable.

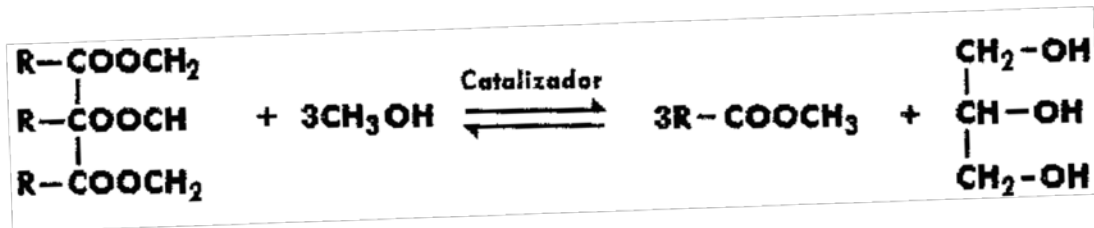
El proceso de elaboración del biodiesel está basado en la llamada Transesterificación de los triglicéridos, y para que su reacción sea efectiva es necesaria la adición de catalizadores. En los aceites vegetales hay una mezcla de ácidos grasos y triglicéridos.

En la reacción de Transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y una de glicerol;

obteniéndose así un aproximado del 10% de glicerina y un 90% de biodiesel del producto total.

El procedimiento más común para la producción de biodiesel es la transesterificación. Para llevar a cabo esta reacción, se mezclan en un reactor el aceite de extraído y un alcohol (metanol ó etanol generalmente), en presencia de un catalizador alcalino (NaOH ó KOH).

*La reacción general del proceso de Transesterificación es la siguiente:*



Triglicérido

Metanol

Metil ester

Glicerina

**R= Radical alquílico**

El glicerol producido en la reacción de transesterificación, una vez recuperado y refinado puede emplearse en distintos campos como son: industria química, cosmética, farmacéutica, explosivos.

Comparando las diferentes formas de emplear el aceite como combustible de motores, puede observarse que:

El biodiesel aventaja al aceite vegetal; dado que funciona en cualquier motor diesel sin mayor modificación; no requiere un sistema de doble almacenamiento y precalentamiento. Su uso y funcionamiento es adecuado en países con clima frío.

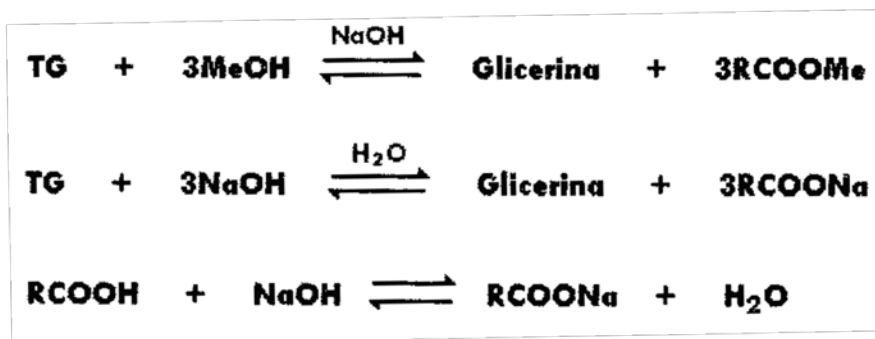
## 1.2 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Para lograr la conversión de los aceites vegetales (nuevos o usados) a metil o etil esteres existen 3 métodos:

### 1. *Conversión de una etapa a ester metílico o etílico en medio básico.*

Este proceso simple y económico, es la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal crudo de características conocidas el cual reacciona a temperaturas moderadas (máximo 65°C) con metanol o etanol en presencia de un catalizador alcalino. Típicamente se utiliza hidróxido de sodio o de potasio. A término de 2 horas bajo condiciones de constante agitación, los triglicéridos (moléculas complejas que forman el aceite y que le dan su consistencia viscosa), reaccionan completamente con el metanol para formar cadenas de metil-éster (biodiesel) y glicerina, un producto secundario de valor comercial.

Al emplear el método básico en aceites usados, se tendrá una disminución de los metil esteres, debido a que en estas materias primas existen principalmente una mezcla de triglicéridos, ácidos grasos libres y agua; dando lugar a que una parte de los triglicéridos sea convertida en sales metálicas debido a la reacción de saponificación (jabón) en presencia de agua, así mismo, los ácidos libres grasos neutralizados con el catalizador básico, obteniéndose como producto principal una sal metálica (jabón).



Donde:

**TG:** triglicérido



**RCOONa:** Sal metálica del ácido graso (jabón producido por la saponificación)

**RCOOH:** Ácido graso libre.

**MeOH:** Metanol

Para utilizar este método en aceites y grasas residuales, primeramente debe realizarse la neutralización de los ácidos grasos libres y luego eliminar los jabones remanentes, cuando este paso se haya realizado, entonces debe realizarse la transesterificación.

También existe el método básico en 2 etapas, esto es para garantizar una mayor conversión; sin embargo los ácidos grasos libres de los aceites usados constituyen un problema en la reacción puesto que requieren que el metanol y el catalizador básico se encuentren en exceso; es importante que los reactivos tengan una alta pureza para no disminuir la eficiencia de la reacción.

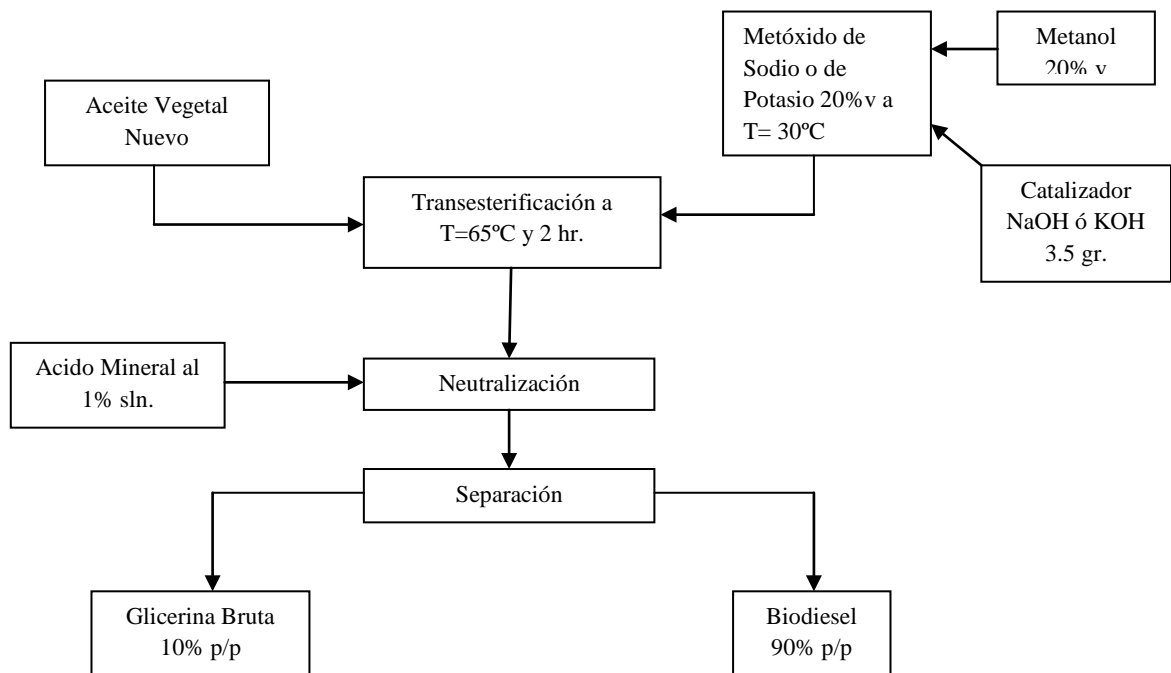


Figura 1.1, producción de biodiesel en un proceso por lotes a partir del aceite vegetal crudo.

Al final de la etapa del proceso tomando como insumo principal el aceite vegetal nuevo se logra lo siguiente:

- ✓ Elevada conversión (98%) con pocas reacciones secundarias y reducido tiempo de reacción.
- ✓ Conversión directa a Ester metílico sin pasos intermedios.
- ✓ Materiales de construcción estándar.
- ✓ 90% p/p de biodiesel y 10% p/p de glicerina bruta.

## ***2. Conversión de Ester Metílico en medio ácido***

En este método el proceso es similar que en la Transesterificación en medio básico, sin embargo, no es muy común el utilizarlo en la producción, ya que su proceso es muy lento por depender del equilibrio químico y consecuentemente aumenta el gasto del alcohol, provocando que el precio del biodiesel aumente significativamente; sin embargo constituye una etapa importante para el siguiente método.

## ***3. Conversión de Ester Metílico en dos etapas: Proceso Acido-Base***

Este método es una combinación de los 2 métodos anteriores, ya que proporciona mayor eficiencia en la conversión del biodiesel en materiales de elevada acidez.

- ***Primera etapa: FASE ACIDA***, empleándose normalmente, ácido sulfúrico como catalizador, el cual convierte los ácidos grasos libres a ésteres; en esta etapa se da la esterificación, evitando que los ácidos grasos se combinen con el metal del hidróxido que induce a la formación de jabón y ocasione problemas con la reacción, este proceso también puede utilizarse en grasas y aceites crudos, y el proceso no se modifica.
- ***Segunda etapa: FASE ALCALINA***, produciéndose la Transesterificación tal y como se describe en el método básico. La Transesterificación ácida puede darse sin embargo se requiere de alcohol en exceso para esterificar todos los ácidos grasos libres y debido a que la reacción es muy lenta (depende del equilibrio), el costo de

producción aumentaría significativamente, sin embargo este proceso ayuda a disminuir el requerimiento de hidróxido.

En la etapa básica es necesario neutralizar el catalizador ácido, y luego se da marcha a la transesterificación, las moléculas de agua se mezclan con ácido sulfúrico, formando sales sulfatadas de sodio solubles en agua, lo que favorece que el metal no intervenga en la reacción.

La ventaja principal que posee el método ácido-base, empleado en aceites usados y grasas animales, es que logra evitar o al menos disminuir la reacción de saponificación, debido a que en la etapa ácida, los ácidos grasos se transforman en metilesteres debido a la reacción de esterificación; en la etapa básica se da la transesterificación de los triglicéridos, disminuyendo es de esta manera la formación de sales metálicas, y logrando un aumento en el rendimiento del biodiesel.

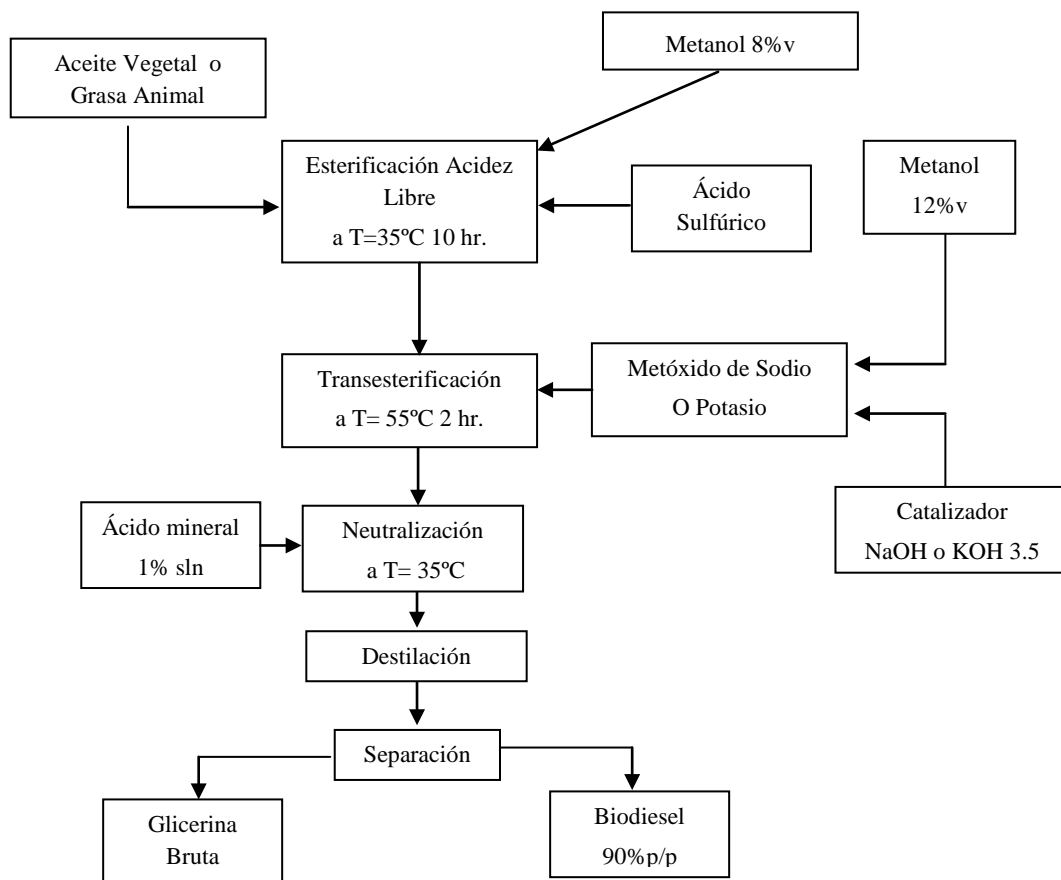


Figura 1.2 diagrama de flujo de proceso de fabricación de biodiesel

Estas son las tres formas en las cuales puede llevarse a cabo la conversión de un material graso a biodiesel, estos procesos pueden combinarse en procesos continuo o discontinuo, lo que permite una variedad de distribuciones en el diseño y construcción de una planta productora de biodiesel.

### **1.3 LAVADO DEL BIODIESEL.**

Al final del proceso de transesterificación, se hace necesario realizar una operación de lavado al biodiesel obtenido, dado que inicialmente tiene un pH entre 8-10, y al realizar esta operación el pH disminuye a 7, permitiendo que su uso no sea riesgoso en los motores (por la corrosión básica) y evitando su rápido desgaste.

Existen diferentes técnicas de lavado entre ellas están:

- ***Lavado con niebla***

Consiste en rociar el biodiesel con una nube de agua que cae en la superficie y no provoca perturbación del líquido, atravesándolo y llevando consigo las impurezas que acarrea a medida que caen las gotas a la base del recipiente; el proceso es aplicable, sin embargo, una desventaja es que para realizar este proceso se necesita mucha agua y aparte, el proceso es sumamente lento y para la producción comercial, el utilizarlo no sería económico.

- ***Lavado con burbujas***

Para realizarlo se emplea una bomba aireadora; en un recipiente se agrega agua y el biodiesel, teniendo en cuenta que debe haber un exceso del 75%. El agua permanece en el fondo mientras que el aireador empuja a las burbujas de aire que contienen gotas de agua hacia la superficie del biocombustible y luego el agua cae hasta la base arrastrando consigo las sustancias contaminantes (catalizador, alcohol no reaccionado, jabón formado), el proceso debe repetirse de tres a cuatro veces y con una duración de seis a ocho horas, al final de esta etapa el pH del biodiesel es

de 7. Entre sus desventajas están: consume mucho tiempo, no da evidencia de una reacción completa y se necesita mucha agua.

- ***Lavado por Agitación***

Consiste en colocar en un recipiente, la mezcla agua-biodiesel con un exceso del 75% de agua con un agitador de mezcla homogéneamente por cinco minutos, al final debe dejarse reposar por una hora. La temperatura del agua debe oscilar entre 35-40<sup>0</sup>C, para evitar el problema de emulsiones, ya que a temperatura muy frías, el lavado no se produce correctamente. Este es un método muy rápido y adecuado, puesto que puede observarse en una pequeña prueba si el aceite o grasa ha reaccionado completamente, de lo contrario conduce a la formación de una emulsión que puede ocasionar problemas a la hora de utilizarlo en el motor.

Al final se puede decantar y secar el biodiesel ya sea calentando a 70-85<sup>0</sup>C para evaporar el agua o se puede recurrir a la destilación, para la separación de la dos fases pueden realizarse de 2 a 3 operaciones.

Entre las desventajas están: puede provocar una formación de emulsiones y puede consumir mucho tiempo la separación de las fases.

#### **1.4 PRINCIPALES VENTAJAS DEL BIODIESEL**

- \* Los esteres metílicos de los ácidos grasos constituyen una importante base para la preparación de
  - Alcoholes grasos (materias primas para la preparación de detergentes aniónicos, emulsionantes, plastificantes, retardantes en la evaporación del agua en cosméticos)
  - Esteres de ácidos grasos que no es posible obtener por esterificación directa.
- \* Es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional sin ser necesaria una mayor modificación al motor. Puede ser

almacenado en cualquier lugar inclusive el mismo lugar donde se almacena el diesel derivado del petróleo.

- \* El biodiesel puede ser usado puro o en mezcla y en cualquier proporción con el diesel producto del petróleo. La mezcla más común y la más utilizada en Europa es una mezcla máxima de 20% de biodiesel con 80% del diesel derivado del petróleo esta mezcla es denominada “B20”.
- \* Al utilizar biodiesel como combustible se reduce las emisiones de anhídrido carbónico en valor aproximado al 80%, y cercano al 100% las de dióxido de azufre. La combustión de Biodiesel disminuye en 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados, y entre 75-90% en los hidrocarburos aromáticos. Distintos estudios en los EE.UU. han demostrado que el biodiesel reduce en 90% los riesgos de contraer cáncer.
- \* Contiene una proporción del 11% de oxígeno en peso y el contenido de azufre es insignificante. Al usar biodiesel puede ser extendida la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes en comparación con el combustible diesel fósil, mientras el consumo, encendido, rendimiento y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales.
- \* El manejo y transporte es seguro, porque su volatilidad es mínima y por lo tanto, no reacciona con la más mínima chispa accidental. Es totalmente biodegradable como el azúcar y es 10 veces menos tóxico que la sal de mesa.
- \* Puede hacerse a partir de cultivos oleaginosos, como la soya; también pueden aprovecharse residuos tales como las grasas y los aceites usados.
- \* Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.
- \* Es un combustible que ya ha sido probado satisfactoriamente en más de 15 millones de Km. En Estados Unidos y por más de 20 años en Europa.

## 1.5 DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

### \* Factibilidad económica

- Alta dependencia en el costo de las materias primas.
- Generación de un Co-producto (glicerina), cuya purificación a grado técnico solo es variable para grandes producciones.

### \* Aspectos técnicos

- Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)
- Escasa estabilidad oxidativa (vida útil / periodo máximo de almacenamiento inferior a 6 meses)
- Poder solvente: cuando se emplean mezclas de biodiesel en proporciones superiores al 5% es preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros de materiales como el vitón, debido a que el biodiesel ataca a los primeros.

Cuando se lo carga en tanques sucios por depósitos provenientes del gasoil, al limpiar dichos depósitos por disolución parcial, puede terminar obstruyendo las líneas de combustible.

Al realizar una mezcla superior a 20% se hace necesario realizar una ínfima modificación al motor y 100% de la mezcla aumenta en un 16% el consumo de combustible.

## **1.6 INFORMACIÓN TÉCNICA DEL TEMPATE (*JATROPHA CURCAS L.*)**

El Tempate (*Jatropha curcas L.*) es una planta originaria de Centro y Sur América. En El Salvador, crece en forma silvestre y ha sido utilizado en cercas vivas y propagadas especialmente por esquejes. También se reproduce en forma natural por semilla.

La semilla de tempate es rica en aceite y este puede ser utilizado para producir un sustituto del diesel que se utiliza para funcionamiento de vehículos automotores y motores industriales.

Además se puede obtener subproductos de gran valor comercial como la torta o sea la semilla molida después de extraer el aceite que posee alto contenido de proteína, y que puede ser utilizado en la elaboración de concentrados para ganado bovino y otro subproducto más que es la glicerina muy utilizada en la industria.

Se estima que el cultivo comercial de esta planta y el procesamiento local del aceite y de los subproductos podrían sustituir en gran parte las importaciones de diesel originario de petróleo, así como harina proteica para la alimentación animal.

Como antecedentes se menciona que la iniciativa surgió por interés de personas que querían apoyar al gobierno en reducir las divisas por los altos costos destinadas para satisfacer la demanda de combustible originarios del petróleo; según el ministerio de Economía durante el año de 2005 las empresas distribuidoras de petróleo vendieron solamente de diesel la cantidad de 194, 011,000 galones por otro, lado conociendo de la existencia de cultivos oleaginosos que producen combustibles alternativo que puede sustituir el diesel procedente del petróleo, en relación a los biocombustibles se conoció que en otros países hay mucha experiencia al respecto.

La planta *Jatropha curcas L.* puede implementarse como una planta productivamente rápida en situaciones adversas, tierras degradadas, clima seco, tierras marginales y al mismo tiempo ser parte de un sistema agrosilvicultural. Puede plantarse en las tierras que estén en período de barbecho y a lo largo de los límites de pastizales porque no crece demasiado



alto, así como también es apropiada en los terrenos sin aprovechar junto a las vías férreas, carreteras y canales de irrigación.

## **1.7 FASE AGROINDUSTRIAL**

### **a) DESPULPADO**

Una vez cosechada la fruta madura de las plantas se traslada hacia la planta agroindustrial. La fruta alcanza madurez cuando pasa de color verde a amarillo. La fruta madura que se cortó en un día debe ser procesada lo antes posible. Esto se debe a que el proceso de pudrición es muy rápido, más en lugares con mucha humedad relativa y esto dificulta un poco el despulpado de la misma. La fruta madura está formada por tres secciones que contiene una almendra de color negro, es decir bajo condiciones normales se logra obtener tres almendras por fruto. A veces suele suceder que solo contenga dos almendras o también es posible que tenga cuatro por fruto. En promedio se espera que tenga tres almendras negras. Después de que se pesa la fruta comienza el proceso del despulpado. El despulpado no se realiza con la ayuda de agua como se acostumbra hacer en un beneficio de café. Se deja caer la fruta a una tolva de alimentación donde cae dosificada a una tolva receptora vertical en forma de cono truncado que facilita el descenso del fruto por su propio peso y su configuración física natural. El fruto al descender por la tolva llega a la cámara de despulpado que consiste en 2 conos (cono fijo y cono rotor) ambos con cuchillas separadas de tal manera que solo permita la entrada de un fruto en cada alineamiento de las mismas y pequeñas trampas que impiden que el fruto pase libre sin ser despulpado; dándose así al girar, un efecto de corte y desprendimiento de la cáscara con la semilla. El cono fijo es regulable hacia abajo para despulpar frutos de menor o mayor tamaño; El resultado es una mezcla de cáscara y semilla en donde la semilla ya está desprendida de la cáscara.

## **b) CLASIFICADO (CRIBA)**

Después de que la fruta húmeda haya sido despulpada cae directo a una tolva receptora, la cual alimenta el cilindro de separación. Esta máquina clasificadora es un cilindro de 2 metros de largo por 0.60 metros de diámetro, la cual funciona rotando de forma horizontal cribando las semillas en los agujeros establecidos en la criba de 1/2" de diámetro. Los productos que se obtuvieron aquí son las semillas húmedas separadas de la cáscara. Cada producto tiene su salida independiente. La semilla húmeda debe trasladarse a un área de secado para evitar pudrición y/o germinación de las semillas. La cáscara puede ser regresada al campo y utilizada como abono orgánico distribuyéndolo a lo largo de los surcos. Se debe de estudiar el potencial de biomasa que se tiene con la cáscara, esta representa el 75% del total del peso. De esto solo el 8% es materia seca, la cual podría aprovecharse como combustible sólido, es decir quemar la cáscara para generación de calor.

## **c) SECADO**

Hay varias formas de secar los diferentes tipos de semillas. En la actualidad hay sistemas de secado que son automatizados y también existen otros sistemas menos sofisticados, pero al final el objetivo es el mismo. Lo que se quiere es bajar el grado de humedad de la semilla. En cierto caso puede utilizarse una secadora de pila. Es un sistema sencillo, barato pero poco eficiente. Este sistema consta de una pila de concreto de un diámetro de seis metros y una altura de sesenta centímetros. El piso tiene una fundición de cemento para evitar el levante de mucho polvo. Dentro de la pila está colocada una estructura metálica que soporta láminas perforadas por las cual circula el aire caliente. El calor se genera con un quemador de diesel, en nuestro caso de biodiesel. La temperatura que genera puede llegar hasta los 160°C. El aire caliente que se genera es succionado y empujado a la misma vez por un ventilador hacia la pila por medio de unos tubos de metal. Al entrar el aire caliente a la pila forma una especie de ciclón. La semilla se coloca sobre estas láminas perforadas y como el aire caliente pesa menos tiende a subir y pasa secando las semillas. La secadora con las dimensiones anteriores presenta una capacidad promedio de 60 a 70 quintales (100 lbs.) por

partida. La semilla contiene un cuarenta y cinco por ciento de agua después del despulpado y para el proceso de extracción se debe de tener al menos de ocho a diez por ciento de humedad. Este grado de humedad incluso permite ya el almacenaje de la semilla sin temer que germine. Una vez alcanzado estos porcentajes de humedad de la semilla esta lista para extraer el aceite.

### **1.7.1 RECOMENDACIONES FASE AGRO INDUSTRIAL**

- El despulpado de fruta demasiado madura se dificulta ya que la semilla se pega a la cascarilla interna y esto no se logra separar. Se queda pegado incluso después del secado.
- Se debe de secar inmediatamente la semilla ya que en lugares muy húmedos comienza a germinar.
- Una vez seca la semilla se debe de almacenar en lugares adecuados ya que la rata de campo se alimenta de ella ocasionando pérdidas.
- Es necesario tener un sistema de repaso en la separación de la semilla de la cáscara esto se debe a que no siempre logra la semilla filtrarse al 100 %.

### **1.8 TAXONOMÍA**

**Reino:** Plantae

**Filo/división:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida (Dic.)

**Orden:** Euphorbiales

**Familia:** Euphorbiaceae

**Nombre científico:** *Jatropha curcas* L.

**Nombre común:** Coquito, Cábate, Tempate, Piñón, Piñoncito, Piñol, Higos del duende, Barbasco, Piñones purgativos, Periyasaki (piro); Piñón joshó (amahuaca); Wapa-wapa oshe

(ese eja); Josho pionis y Huiso pionis (shipibo-conibo), Peaó branco (portugués); Higo de infierno (Bolivia); Purga de fraile (Colombia), Tua tua (Venezuela); Sket'noto (Surinam).

### 1.8.1 MORFOLOGÍA VEGETAL

La *Jatropha curcas* L. es un arbusto o árbol pequeño de 2 a 6 m de altura con corteza blanco-grisácea, que exuda un látex translúcido. (Anexo 7)

- **Tallo:** Los tallos crecen con una discontinuidad morfológica en cada incremento, es un cilindro verde robusto que produce ramas con savia láctea o rojiza viscosa.(anexo1)
- **Raíz:** Normalmente se forman 5 raíces de los arbolillos, 1 central y 4 periféricas. (Anexo 2)
- **Hoja:** Las hojas se forman normalmente con 5 a 7 lóbulos acuminados pocos profundos y grandes. Tienen pecíolos largos con una longitud de 10 a 15 centímetros y anchura de 9 a 15 centímetro, ovadas y se colocan de forma alterna a subalterno opuesto con una filo taxis espiral y se caen durante la época seca.(anexo 3)  
Son hojas anchamente ovadas, levemente 3 a 5 lobadas, abiertamente cordadas en la base con 5 nervaduras y pubescentes en las nervaduras del envés.
- **Flor:** Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Se colocan diez estambres en dos espirales distintas de 5 cada uno en una sola columna en el androcium y en la proximidad íntima. En el ginócium, los 3 estilos delgados son los conatos que están aproximadamente a dos tercios de su longitud, dilatando al stigmata bifurcado macizo. Ambas flores, masculinas y femeninas, son pequeñas (6-8 mm), verdoso-amarillo en el diámetro y pubescente. Los pétalos son 6-7 mm largo. La longitud del pecíolo va entre 6-23 mm. En condiciones dónde el crecimiento continuo ocurre, un desequilibrio de pistilate o

estaminate florece los resultados de la producción en un número más alto de flores hembras.

Son flores verdosas o blanco-amarillas de 10 a 25 centímetro de largo y con un pedúnculo de 4 a 10 centímetro del largo. Las flores femeninas presentan brácteas acuminadas y las masculinas presentan brácteas aovadas y pedicelos pubescentes.

(Anexo 4)

- **Fruto:** Son cápsulas drupáceas y ovoides, después de la polinización, se forma una fruta trilocular de forma elipsoidal. Las frutas son cápsulas inicialmente verde pero volviéndose a café oscuro o negro en el futuro. Las cápsulas de los frutos son de 2.5 a 4 centímetros de largo por 2 centímetro de ancho, elipsoidales y lisas que cuando maduran van cambiando a amarillas. Al inicio son carnosas pero dehiscentes cuando son secas.(Anexo 5)

Se producen los frutos en invierno cuando el arbusto bota sus hojas, puede producir varias cosechas durante el año si la humedad de la tierra es buena y las temperaturas son suficientemente altas. Cada inflorescencia rinde un manojito de aproximadamente 10 frutos ovoides o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla.

- **Semilla:** La fruta produce tres almendras negras, cada una aproximadamente de 2 centímetro de largo y 1 centímetro en el diámetro. En promedio el peso de 1000 semillas es aproximadamente 500g, contiene aproximadamente 50-60% de aceite, 30-32% de proteína y 60-66% de lípidos. La cáscara es aproximadamente 43% de la semilla y el grano 57% del cual el 30% es grasa cruda. Su producción anual promedio es de 5 toneladas por hectárea. La semilla contiene minerales como fósforo, calcio, sodio, potasio y magnesio.

La semilla es cosechada cuando la cápsula está madura y esta cambia del verde a amarillo, ocurre después de dos a cuatro meses de la fertilización. Las semillas descascaradas negruzcas, delgadas se parecen a las semillas del ricino pequeño. Son separadas del fruto manualmente. (Anexo 6)

Las semillas de *Jatropha* están disponibles durante la estación seca que facilita la colección y procesado. Los rangos de producción de semilla de aproximadamente

0.4 toneladas por hectárea por año hasta por encima de 12 t / ha. La planta empieza dando la semilla en un período máximo de dos años después de plantar, luego de un ensayo al final del primer año.

El volumen de aceite es 35-40% en las semillas y 50-60% en el grano. El aceite contiene 21% de ácidos grasos saturados y 79% ácidos insaturados. Hay algunos elementos químicos en la semilla que son venenosos siendo no apropiado para el consumo humano.

### **1.8.2 FISIOLOGÍA VEGETAL**

Con una buena humedad la germinación toma 10 días. Se abre la cáscara de la semilla, sale la radícula y se forman 4 raíces periféricas pequeñas. Poco después la primera hoja desarrolla los cotiledones, se marchitan y se caen, luego crece el simpodial. Dependiendo de las condiciones de propagación y lluvia el primer rendimiento de la semilla es en los primeros seis meses y puede producir durante 50 años.

### **1.8.3 HÁBITAT**

**Requisitos ecológicos:** La *Jatropha* crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras cascajosas, arenosas y salinas, puede crecer en la tierra pedregosa más pobre, inclusive puede crecer en las hendeduras de piedras. La materia orgánica de las hojas del cobertizo refuerza la actividad del gusano de tierra alrededor de la zona de la raíz de las plantas que mejoran la fertilidad de la tierra.

Climáticamente, la *Jatropha curcas* L. se encuentra en los trópicos y subtrópicos, le gusta el calor aunque también las más bajas temperaturas y puede resistir una escarcha ligera. Su requisito de agua es sumamente bajo y puede resistir períodos largos de sequedad por el derramamiento de la mayoría de sus hojas para reducir la pérdida durante la transpiración.

#### 1.8.4 CONDICIONES AGRO CLIMÁTICAS

- **Suelo:** Se desarrolla en amplia gama de suelos que van desde los franco-arenosos o arcillosos hasta los arcillosos con abundante materia orgánica, de preferencia profundos que tengan buen drenaje y aireación.
- **pH.** Está relacionado con el grado de alcalinidad y acidez del suelo y que es muy importante para el desarrollo de las plantas  
El tempate se desarrolla en suelos con rangos de pH de 6.0 hasta 7.0
- **Temperatura:** La temperatura promedio en que el tempate expresa su potencial va desde 20 hasta los 36°C, aunque tiene tolerancia a las altas temperaturas.
- **Precipitación:** Se desarrolla bien con precipitaciones que van desde los 520 a 2000 mm, a tal grado que ha sobrevivido varios años sin lluvia en algunas regiones del mundo; sobrevive en regiones semiáridas. No tolera el anegamiento.
- **Altitud:** La altitud en que se desarrolla el tempate va desde los 0 metros hasta los 1600 msnm, pero su óptima respuesta es desde los 7 hasta los 500 msnm.
- **Radiación solar:** El tempate es insensible al fotoperiodo.

### 1.8.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Datos comparativos de la composición química de la semilla de tempate Criolla e Hindú.

Componente	Semilla criolla	Semilla hindú
% humedad	4.04	4.10
% grasa	59.45	58.24
% fibra cruda	1.89	1.48
% ceniza	4.36	3.70
% proteína	20.57	23.34
% fibra ácida detergente FAD	3.65	2.60
% fibra neutro detergente FDN	5.66	5.51
% magnesio	0.42	0.40
% potasio	.074	0.73
Mg /kg hierro	102	92
% carbohidratos	11.58	10.62
% fósforo	0.92	0.71
% Calcio	0.33	0.33

Análisis realizado en laboratorio de química agrícola del CENTA.

#### *Variedades*

El tempate que crece rústicamente en nuestro país se considera un material criollo; existen variedades mejorados procedentes de otros países que expresan buenas características del cultivo, como altura arbustiva, alto rendimiento, buen peso de semilla alto porcentaje de aceite entre otros.

### 1.8.6 LAS PRINCIPALES BONDADES DE LA PLANTA JATROPHA CURCAS L.

- Crecimiento en cualquier tipo de tierra.
- No tiene ningún insecto, enfermedad o predador (ganado u oveja) que representen una amenaza total.
- Puede sobrevivir períodos largos de sequedad.
- Puede producirse en áreas con baja lluvia (200 mm por año).
- La propagación es fácil.
- Produce frutos después del primer año, se estabiliza en su producción en el quinto año y continúa durante 25-30 años produciendo frutos de buena calidad.
- Produce muchos productos y subproductos que pueden ser aprovechables.



## **2.0 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA**

Mencionados los conceptos teóricos en el capítulo anterior, podemos enfocar la atención en un objetivo principal, este objetivo se relaciona al proceso de obtención del biodiesel a partir de aceites naturales, específicamente del proveniente de la semilla del tempate, haciendo referencia al proceso agroindustrial del capítulo 1, donde se menciona el despulpado del tempate y la clasificación o escriba, se ha diseñado una máquina que realice dichos procesos que faciliten la obtención de la semilla para extraerle el aceite.

El presente capítulo es una introducción a la máquina que se autodenomina, despulpadora de tempate, donde describiremos sus partes y funcionamiento, en el capítulo posterior se detallaran las técnicas de diseño mecánico empleadas para su creación. Esta máquina es capaz de realizar el despulpado y posteriormente separar la semilla y la cáscara provenientes del despulpado.

### **2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL**

La máquina representa solamente una etapa dentro del proceso de producción de biodiesel, pero es parte importante de este proceso, ya que sin esta etapa (el despulpado) el proceso no se podría complementar. Esta propuesta que a continuación se describe, viene a facilitar el proceso de despulpado, empleando un mecanismo eficiente y automatizado que llene todas las expectativas de producción que se planteen los usuarios o propietarios de la máquina. Esta máquina pone a prueba todos los conocimientos adquiridos en el área de diseño de máquinas cursados en la carrera de ingeniería mecánica. Se comenzará por hablar de las partes que conforman la máquina y su función sin entrar en detalles de diseño y selección de los materiales y dispositivos que la conforman.

La máquina está compuesta por dos etapas cada una de estas con su propia finalidad; la primera etapa trata sobre el despulpado del tempate que es la etapa principal y la segunda

trata sobre la separación de la cáscara y la semilla que resulta luego del despulpado. En la etapa del despulpado se pueden mencionar los siguientes elementos más importantes: cámara de recepción, cámara de despulpado, la estructura y dispositivos de transmisión (caja reductora, motor, poleas y faja). En la segunda etapa se puede hacer mención de los siguientes elementos: caja reductora, motor, faja, cojinetes, eje del separador, anillos del separador, lámina receptora de semilla y lámina receptora de cáscara. Todos los elementos anteriores se aprecian en la figura 2-1, esta muestra el dibujo de conjunto de la máquina todos estos elementos se verán con más detalle en los siguientes incisos.

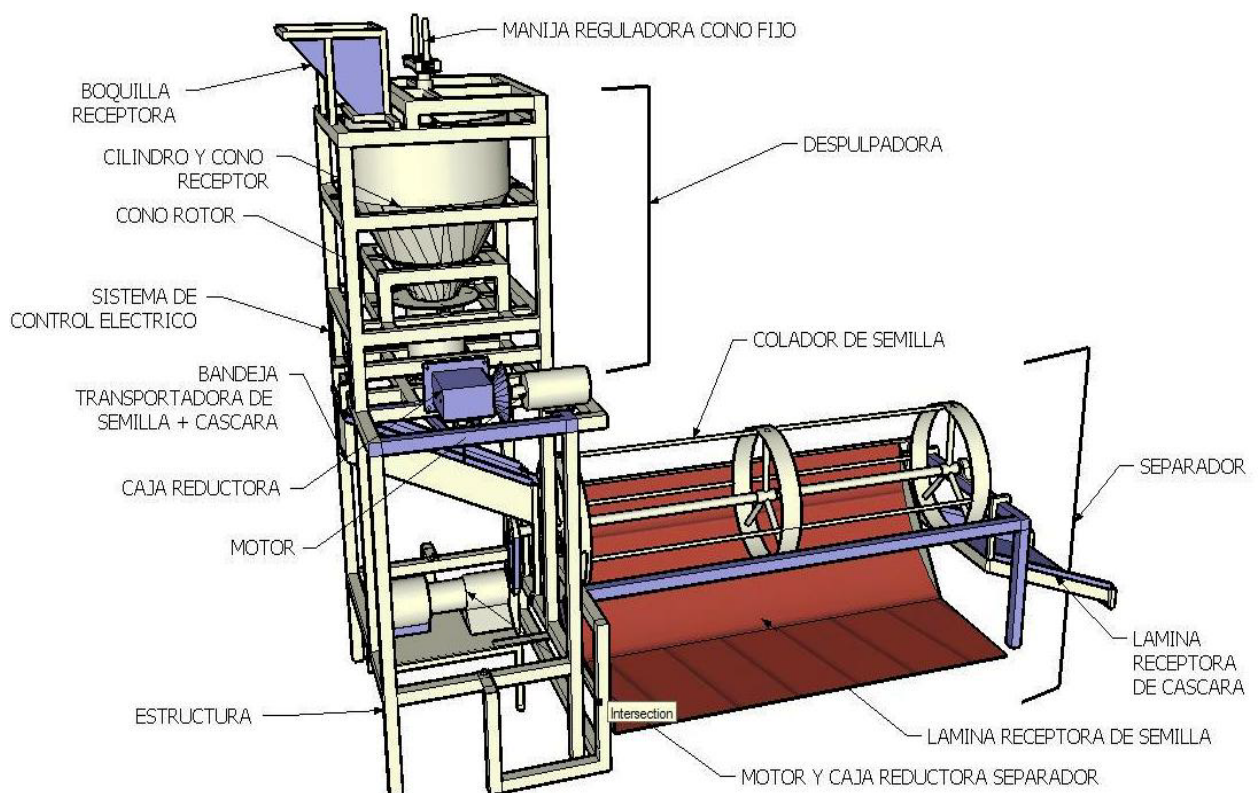


Figura 2-1, vista global de la maquina con todas sus partes.

Para continuar describiendo la máquina se explicará en detalle cada una de sus partes, pero antes se hará un esquema de la forma de operar de la máquina, los pasos a seguir para ponerla en funcionamiento. Se comenzará diciendo que la máquina deberá ser puesta en

marcha sin carga luego que está en funcionamiento se ingresan de forma manual los frutos de tempate por la boquilla de la cámara receptora, luego estos frutos son desplazados por gravedad hacia la cámara de despulpado, una vez los frutos han sido ingresados en la cámara las cuchillas hacen su trabajo mediante un movimiento relativo de los elementos que conforman la cámara de despulpado, quedando una mezcla cascara-semilla que es transportada hacia el separador por medio de una lamina fija inclinada ubicada justo debajo de la cámara de despulpado. El separador es un cilindro horizontal cuyos contornos son de tela o malla metálica, que permite el paso de la semilla a través de ella y retiene la cáscara ver figura 2-1. Cabe mencionar que el despulpador y el separador tienen distintos controles de mando pero se deben poner a operar los dos al mismo tiempo. El esquema de operación de la máquina es el de la figura 2-2.

Definido el proceso de producción, se puede entender de forma general el porqué la máquina tiene las partes descritas anteriormente, pero se debe explicar cómo las partes desarrollan su trabajo y algunos detalles de su construcción. Para ello se seccionó la máquina y se analiza cada uno de estos elementos que la constituyen.

## ETAPAS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA MÁQUINA

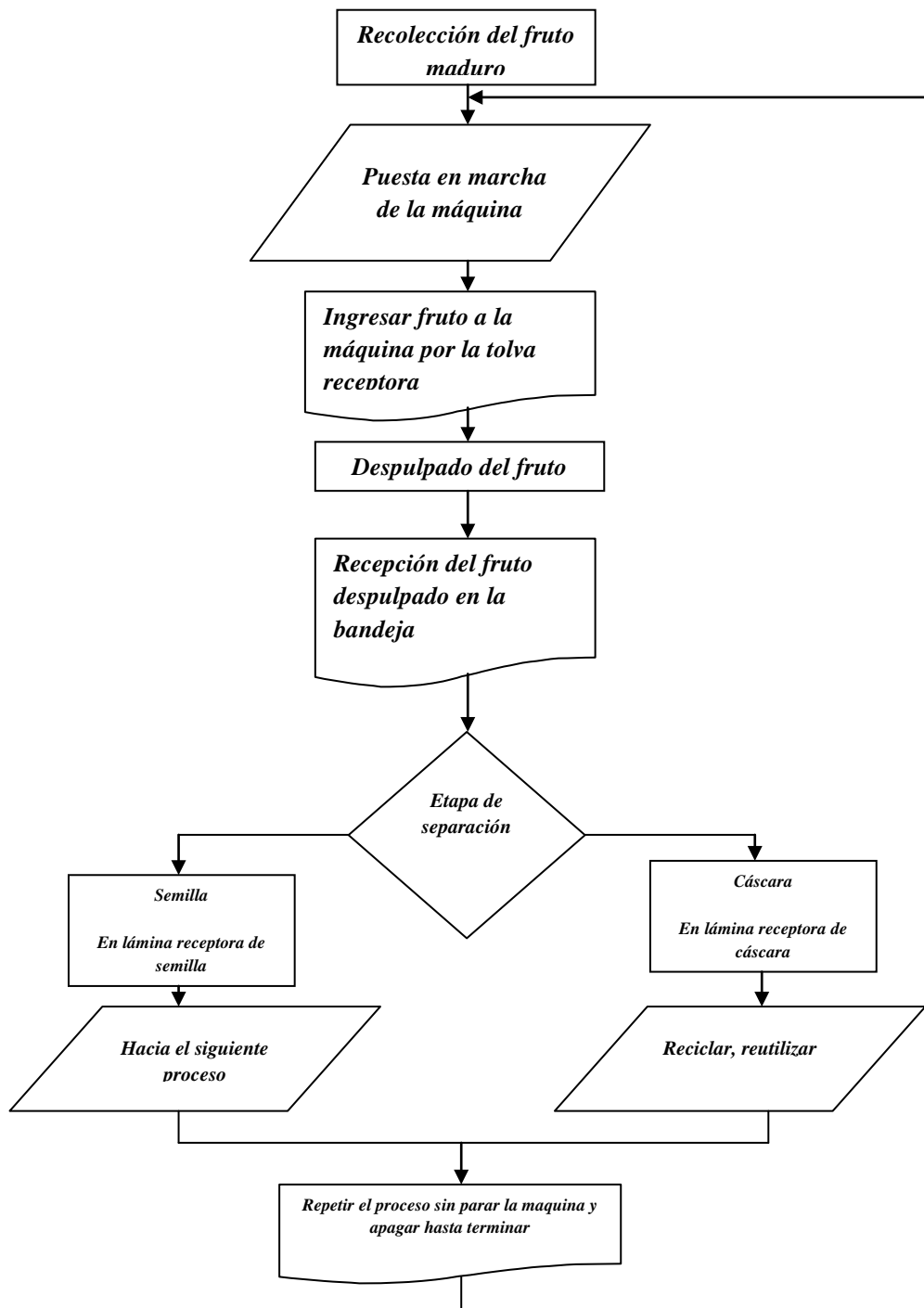


Figura 2-2, muestra el procedimiento a seguir para operar la máquina.

### **2.1.1 CÁMARA RECEPTORA**

Ubicada en la parte superior de la máquina esta parte está hecha de lámina de acero inoxidable de ¼” de espesor, el material fue seleccionado debido a los problemas de corrosión que se van presentar por efectos del mismo fruto y el ambiente donde la máquina será instalada. La cámara receptora está formada por dos partes; un cilindro en la parte superior y un cono en la parte inferior. El cilindro tiene una altura de 12”, un diámetro externo de 27.4” y está equipado con cuatro uñas sostenedoras para acoplarlo por medio de pernos a la estructura. Por su parte el cono tiene una altura de 10”, la parte superior tiene un diámetro que coincide con el diámetro del cilindro receptor que es de 27.4”, en la parte inferior presente un diámetro externo que coincide con el diámetro del superior del cono rotor de la cámara de despulpado cuya dimensión es de 15.8” y está equipado con ocho uñas sostenedoras para acoplarlo a la estructura. Esta parte funciona como un depósito para almacenar el fruto de tempate antes de que este sea despulpado y también la parte cónica sirve para direccionar el fruto hacia la cámara de despulpado. La capacidad de almacenamiento de esta cámara receptora es de 10828in<sup>3</sup>, por lo que puede almacenar unos 6696 frutos de tempate. En la figura 2-3 se aprecia la cámara de recepción con cada una de sus partes.

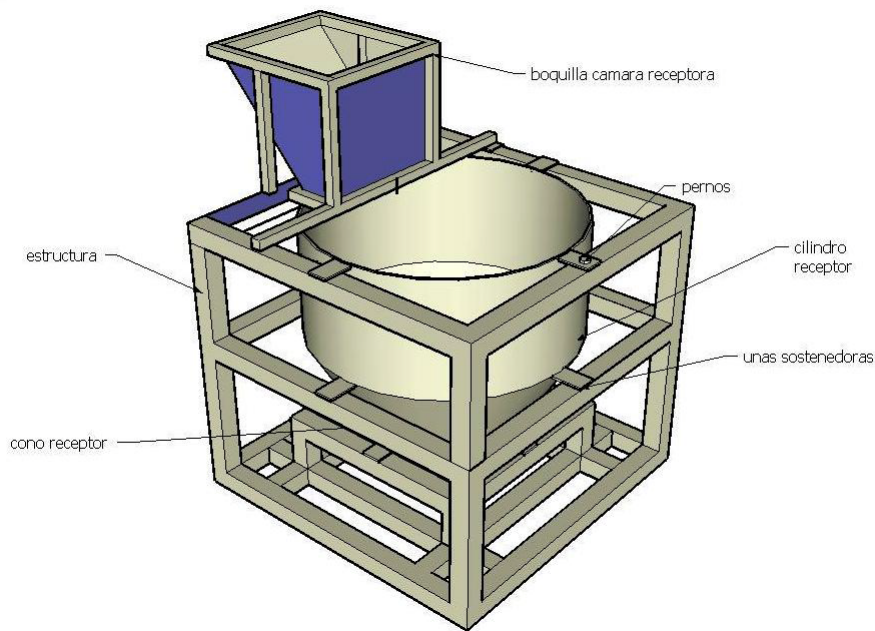


Figura 2-3, se muestra la forma de la cámara receptora de frutos.

### 2.1.2 CÁMARA DE DESPULPADO

Esta cámara se encuentra ubicada justo después de la cámara de recepción, es la parte más compleja de la máquina ya que requiere un análisis de diseño especial capaz de realizar la tarea de despulpado. Tiene una forma cónica, básicamente está compuesta por dos conos, uno está fijo anclado a la estructura y el otro está dispuesto en un buje o bushing de tal forma que tiene la facultad de girar. El trabajo lo realizan las cuchillas, estas se ubican en las superficies de ambos conos, cuando el cono rotor empieza a girar se produce un efecto de corte sobre el fruto, debido a la acción y disposición de las cuchillas. Esta cámara es una especie de molino, solo que a diferencia de un molino esta no muele, debido al diseño de sus cuchillas que solo atacan la cáscara sin dañar la semilla. Tiene una velocidad de operación muy baja de 26.1RPM, esta velocidad se consigue gracias al acople de un motor eléctrico de baja revolución a una caja reductora de velocidad.

La cámara despulpadora está compuesta por muchos elementos y dispositivos, por lo que se debe hacer un desglose de estos para describir de forma más clara su funcionamiento, tiene dos tipos de componentes: componentes estructurales y componentes de transmisión. Entre los componentes estructurales tenemos: el cono y cilindro rotor, cuchillas rotoras, cono fijo, cuchillas fijas, vástago cono fijo, soporte y regulación del cono fijo, bushing y estructura. Respecto a los componentes de transmisión se tienen: polea cilindro rotor, polea eje del reductor, motor eléctrico, caja reductora y faja en v. alguno de estos componentes se pueden ver en la figura 2-4 que muestra un dibujo de conjunto de los componentes de la cámara de despulpado, se eliminaron los elementos de la cámara receptora para observar de mejor manera en los componentes de la cámara de despulpado.

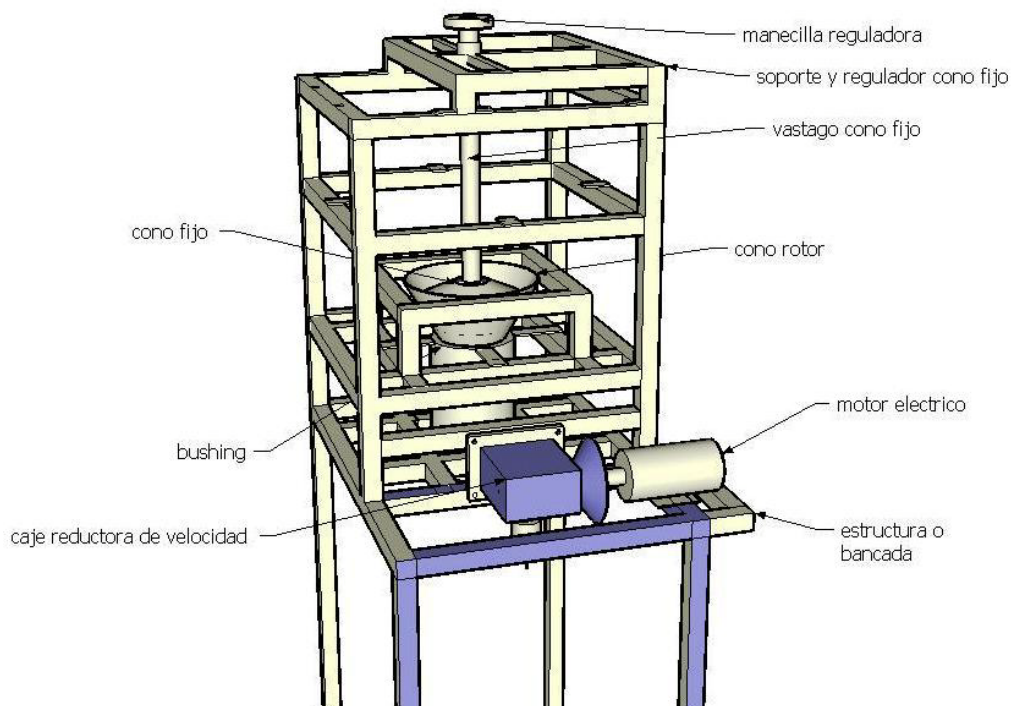


Figura 2-4, muestra la cámara de despulpado y parte de la estructura.

### **2.1.2.1 COMPONENTES ESTRUCTURALES**

#### **a) CONO ROTOR**

Este elemento estructural de la cámara de despulpado, está fabricado a partir de una lámina de acero inoxidable ¼” para evitar la corrosión. Está compuesto por un cono y un cilindro. El cilindro tiene una altura de 16.3” y un diámetro externo de 7.75”, esta acoplado mediante soldadura al cono rotor, sus funciones principales son: sirve como elemento de transmisión ya que la superficie externa de este tiene un tratamiento especial, para poder deslizar mediante la acción de un lubricante en la superficie interna del bushing, sirve para instalar la polea para la transmisión por faja y sirve para direccionar el flujo de cascara y semilla hacia la bandeja transportadora instalada debajo de la cámara.

El cono rotor es otra pieza fabricada con lamina de acero inoxidable ¼” de espesor, lleva instaladas 8 cuchillas en la superficie interna, esta cuchillas han sido diseñadas para realizar el corte de la cáscara y desplazar fuera de la cámara la cáscara y la semilla, una vez concluido el proceso de despulpado. Los tamaños de estas cuchillas fueron calculados, de tal forma que los espacios entre una cuchilla y otra sea lo suficientemente grande para que solamente quepa un solo fruto de tempate, las dimensiones de estas cuchillas se especifican con más detalle en los planos de manufactura. Son dos tipos de tamaños de cuchillas que lleva el cilindro rotor, una del doble del tamaño de la otra. Estas cuchillas complementan su función con las cuchillas del cono fijo. Por lo tanto cada vez que se hace un alineamiento de las cuchillas del cono rotor con las cuchillas del cono fijo, ingresan a la cámara de despulpado 8 frutos de tempate, y la alineación entre cuchillas ocurre 8 veces en una revolución. En la figura 2-5 se muestra el cono rotor con todos sus componentes.

La polea es otro elemento que se instalo al cilindro rotor mediante un cuñero de 1/8”, esta pieza fue fabricada en aluminio para no aumentar el peso del cilindro rotor, las dimensiones de las poleas fueron las especificadas por las normas, con ángulos de acoplamiento para una faja y un paso en pulgadas.



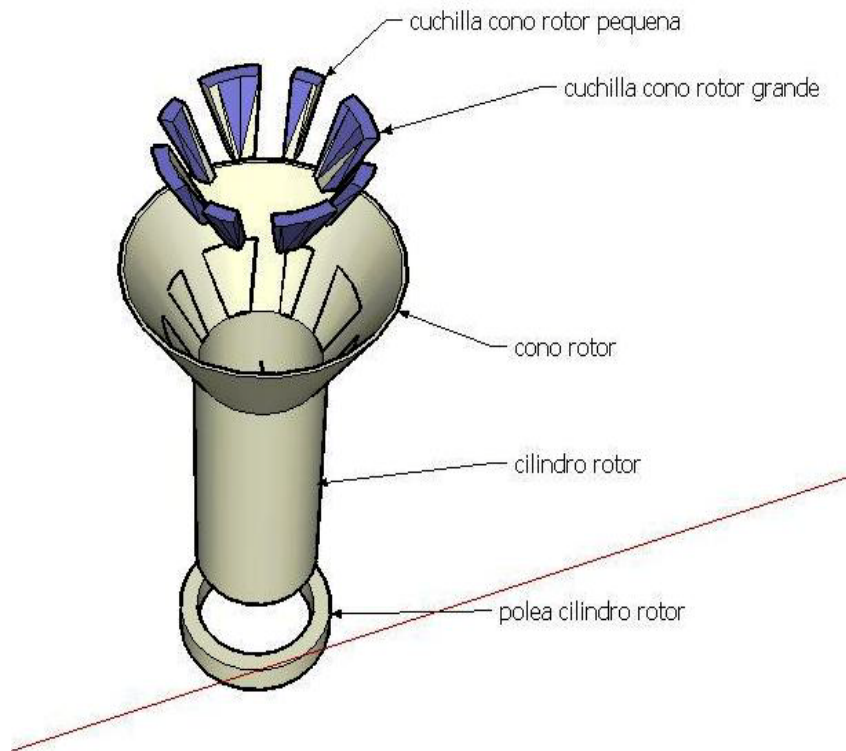


Figura 2-5, se muestra los elementos que forman parte del cono rotor, las cuchillas van acopladas con pernos al cono rotor, por lo que se hizo un abocardado en la superficie de las cuchillas para acoplar pernos cabeza cónica que no sobre salgan de la superficie y se perforo el cono para instalar dichos pernos, cada cuchilla lleva dos

pernos. Las cuchillas están hechas de acero inoxidable.

### b) CONO FIJO

El cono fijo también forma parte de la cámara de despulpado; al igual que el cono rotor está fabricado a partir de una lamina de acero inoxidable de ¼" de espesor, está constituido por dos conos acoplados por soldadura, en la parte superior es cerrado mediante una tapadera redonda. En la tapadera redonda va acoplado el vástago de acero inoxidable de 2" de diámetro, que sirve para unir el cono fijo al sistema de soporte y regulación que se detallará más adelante. El cono fijo al igual que el cono rotor lleva instalada 8 cuchillas, solo que en este caso las cuchillas están ubicadas en la superficie exterior del cono fijo. Las cuchillas del cono fijo como se mencionó anteriormente, se complementan en la ejecución del despulpado con las cuchillas del cono rotor. Las cuchillas están hechas de lámina de acero inoxidable, el tamaño de las cuchillas fueron calculados para permitir el paso de un fruto de tempate a través de ellas, el diseño de las cuchillas también facilitan el flujo de la cáscara y la semilla hacia fuera de la cámara de despulpado, las cuchillas llevan un abocardado, para la instalación de dos pernos cabeza cónica por cuchilla para acoplarlas al

cono. Todos los criterios de diseño de las cuchillas se mencionarán más adelante. Todos los elementos descritos se pueden ver en la figura 2-6.

El cono fijo tendrá la libertad de desplazarse, hacia arriba o hacia abajo, con el fin de acomodarse al tamaño del fruto de tempate que tenga que despulpar, esto lo hará mediante el sistema de soporte y regulación, este sistema le da la fijeza al cono fijo, pero también permite el desplazamiento, la forma en que el cono fijo se une al sistema de soporte y regulación, es mediante el vástago de acero inoxidable, este atraviesa toda la cámara receptora y llega al bushing roscado, este bushing esta soldado a un sistema de tubos estructurales que se empernan a la estructura principal. El bushing tiene una rosca de paso fino para evitar problemas con la vibración. La manija sirve para desplazar el cono fijo en forma vertical.

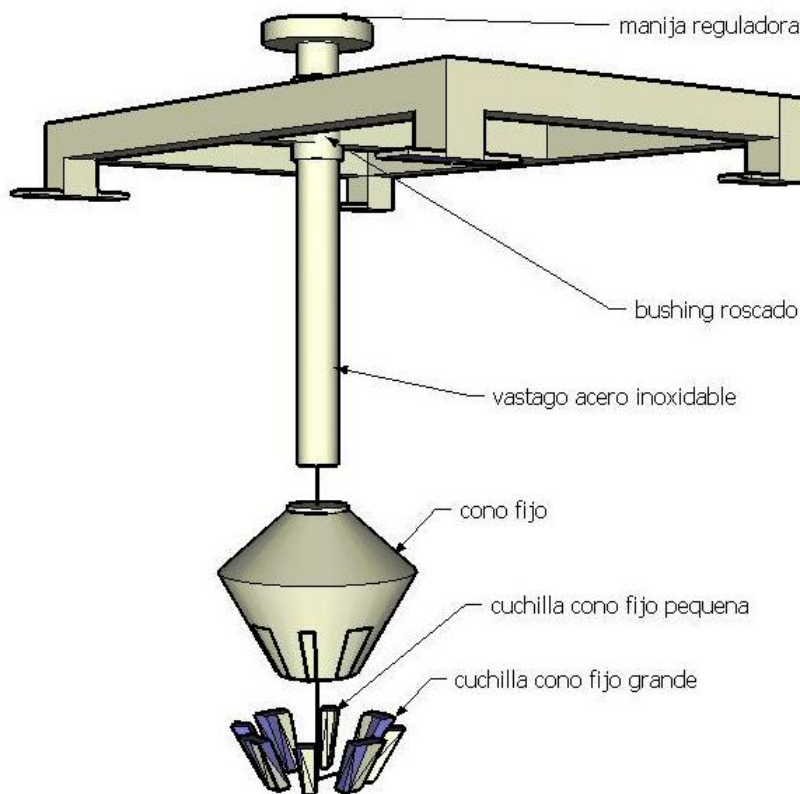


Figura 2-6, se observa la forma en que se acoplan los elementos en el cono fijo.

### c) BUSHING

Esta pieza está instalada a la bancada mediante pernos, pues en ella descansa el cilindro rotor, su función es permitir el deslizamiento de la superficie del cilindro rotor en la superficie interna de este, como si fuese una especie de cojinete. La superficie de contacto deberá estar debidamente lubricada, para evitar problemas de desgaste excesivo, ruido y vibraciones. Este lubricante deberá poseer ciertas propiedades que se verán más adelante. Aparte del lubricante la superficie interna del bushing tendrá un rectificado fino para evitar problemas de fricción. El material del cual está hecho el bushing es un acero 1020, este material presenta buenas propiedades mecánicas como alta dureza y buena resistencia al desgaste. La altura es de 12", diámetro externo de 9.85" y un diámetro interno de 7.76". Esta provisto de ocho unas sostenedoras que van empernadas a la estructura principal como se muestra en figura 2-7.

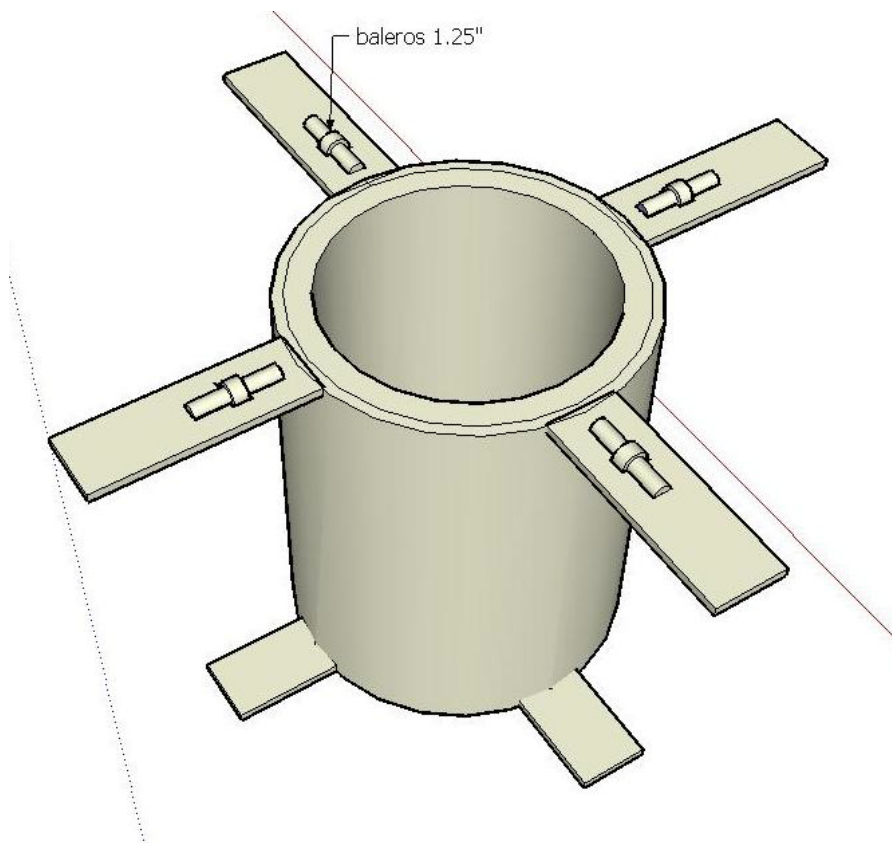


Figura 2-7, Se muestra el bushing de acero 1020, con sus uñas sostenedoras y los rodamientos que ayudan a facilitar el desplazamiento del cono rotor.

#### **d) ESTRUCTURA**

Es la parte de la máquina que tendrá que soportar el peso de todos los componentes de la misma, tomando en cuenta la estabilidad que deberá presentar la máquina para controlar la vibración y proporcionar la alineación necesaria a los elementos de transmisión. Estas son solo algunas de las características de la estructura analizadas en el proceso de diseño para determinar el material y las dimensiones de dicha estructura. Esta estructura está compuesta por una red de tubería estructural cuadrada 2"x2" con una chapa 14 como se conoce en el mercado, la estructura viene siendo como una especie de mesa cuyas dimensiones vienen condicionadas por las dimensiones de los componentes de la máquina descritas anteriormente y los que se describirán en el separador. Conociendo las dimensiones de los distintos componentes de la máquina, se pretende que la estructura tenga preparado los espacios de cada uno de los componentes de tal forma que las perforaciones de las uñas sostenedoras coincidan con las perforaciones que tiene la estructura para después acoplar cada componente mediante elementos de sujeción o pernos a la estructura. Todas las uniones de la tubería de la estructura son mediante soldadura. En la figura 2-8 se observa la estructura con sus dimensiones generales.

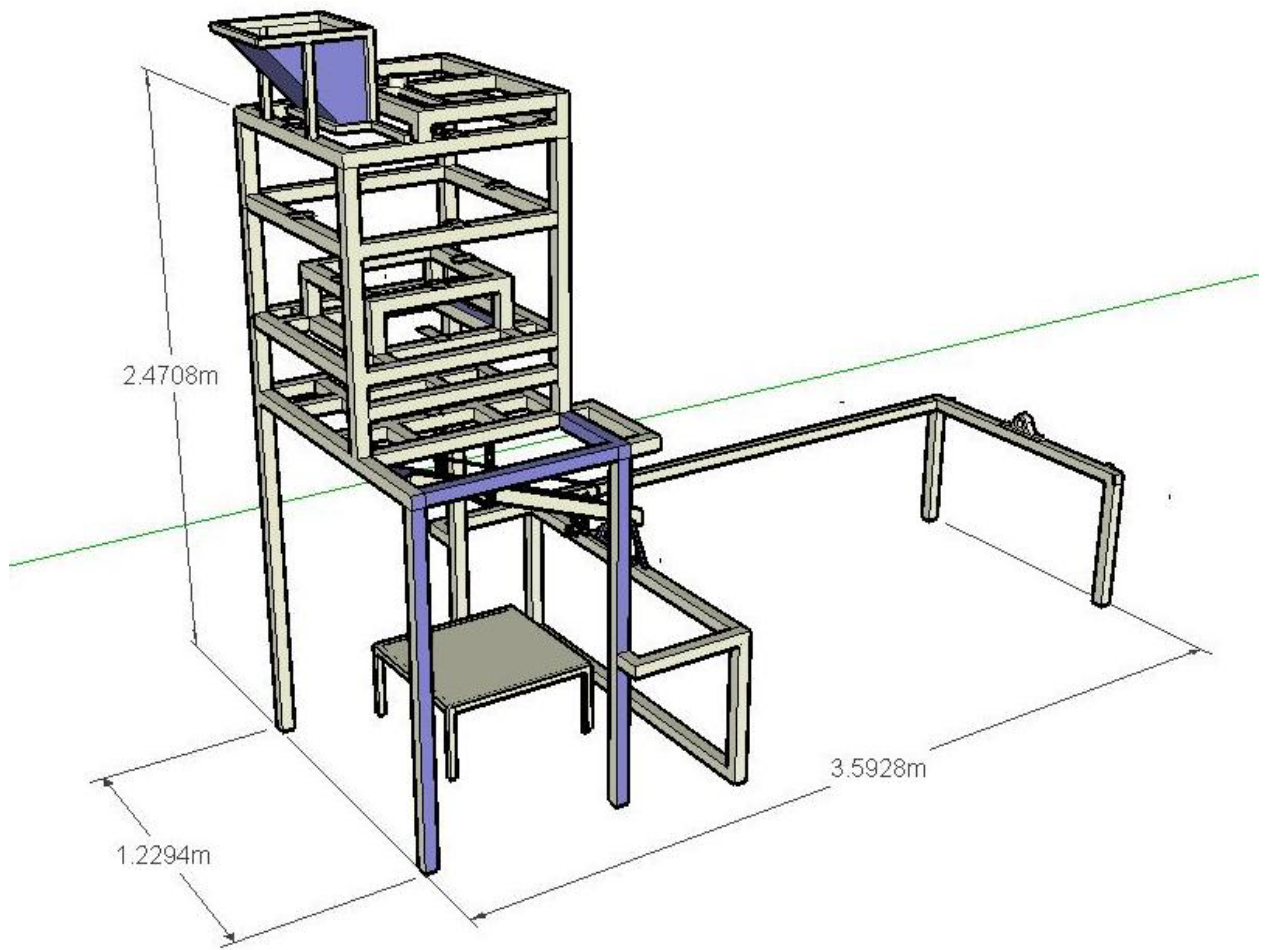


Figura 2-8, Se observa únicamente los elementos que conforman la estructura.

### 2.1.2.2 COMPONENTES DE TRANSMISIÓN

Los componentes de transmisión se refieren a los dispositivos y elementos que se sirven para transmitir el movimiento de rotación al cono rotor, entre los cuales tenemos; las poleas, motor, caja reductora y faja. Estos elementos conforman el sistema de transmisión. Toda energía se genera cuando se conecta el motor a la fuente de alimentación, este transmite el movimiento de rotación al eje de entrada de la caja reductora con una velocidad de 1700RPM y una potencia de 2Hp, luego la caja reductora, cambia la velocidad

de entrada a una más baja, producto de la relación de velocidades que es de 20:1, a la salida del reductor se tiene entonces una velocidad de 87RPM. Con el arreglo de poleas, en la transmisión por medio de faja, luego la velocidad en la cámara de despulpado se reduce a 26.1RPM, esta velocidad se convierte en la velocidad de operación, por lo que esta se usa para calcular la capacidad de la máquina. Ambas poleas son de aluminio, la que va ubicada en el cilindro rotor tiene un diámetro externo de 10" y un diámetro interior de 7.75", mientras la polea que está ubicada al eje de salida de la caja reductora tiene un diámetro externo de 3" y el interno de 1 3/8". Ambas poleas se fabricaron a partir de discos de aluminio, las dimensiones son las requeridas por la norma para la transmisión por faja en v paso en pulgadas, permitiendo un mejor ángulo de contacto permitiendo un mejor arrastre de la faja. Todos los componentes del sistema de transmisión de la cámara de despulpado se ven en la figura 2-9.

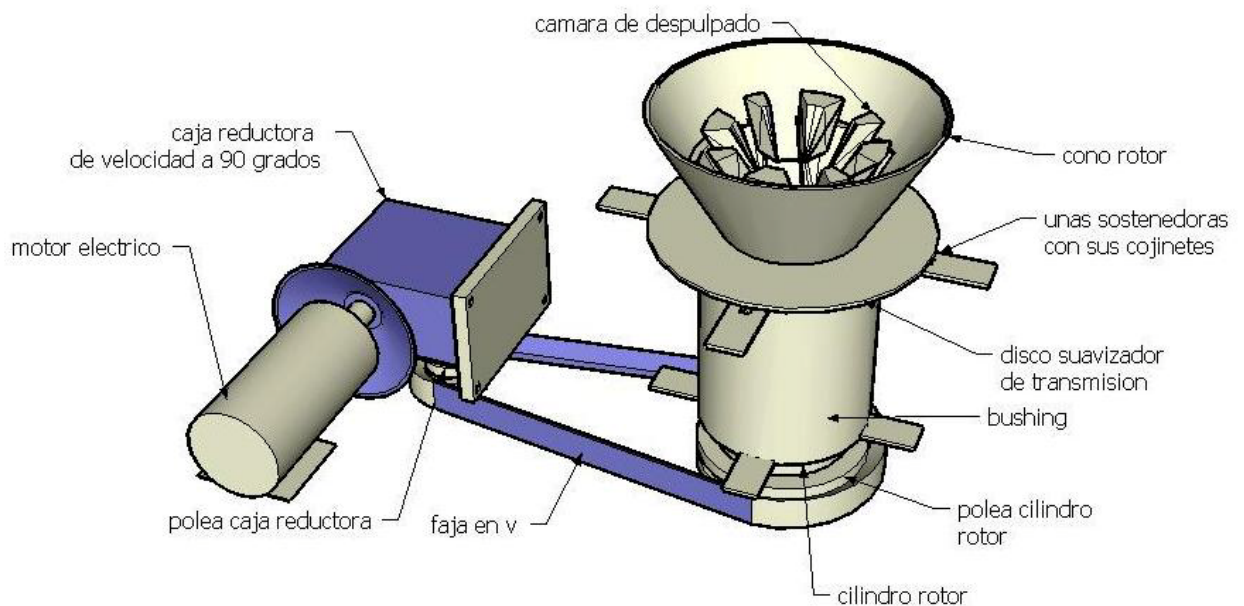


Figura 2-9, Esta figura muestra de forma general los componentes de transmisión, cuando se dimensione el sistema mostraremos características más específicas de estos componentes.

#### **a) MOTOR**

Las características de este elemento son las siguientes: motor de baja revolución carcasa cerrada, La potencia es 2Hp, la velocidad angular 1700RPM, alimentación 208-230voltios, estructura frame 145, frecuencia 60Hertz, monofásico, peso 51lb y eje de salida 7/8"-1.25".

#### **b) CAJA REDUCTORA**

La caja reductora presenta las siguientes características; la potencia que transmite es de 3.3Hp, la velocidad de salida 87RPM, la posición del eje de salida respecto al eje de entrada es de 90°, diámetro del eje de salida 1 3/8". Peso aproximado es de 100lb.

#### **c) POLEA**

Las poleas están fabricadas a partir de un disco de aluminio 10" de diámetro y 2" de espesor, en la etapa de despulpado se necesitan 2 poleas, una instalada en el cilindro rotor y la otra al eje de salida del la caja reductora. Ambas poleas se dimensionan con las medidas sugeridas por la norma para la instalación de una faja en V tipo A, que especifica un ángulo 17° a cada lado y un paso 1/2". La polea del cilindro rotor tiene un diámetro externo de 10" y un diámetro interno de 7.75" con un cuñero 3/16". La polea del eje de la caja reductora tiene un diámetro externo 1 3/8" con un cuñero de 5/16".

#### **d) FAJA**

La banda o faja es en V, y para seleccionarla se sigue el procedimiento que proporciona el fabricante, donde se toman en cuenta la velocidad de operación, potencia, diámetro de las poleas y distancia entre centros de las poleas, este procedimiento se detalla más adelante. Con lo que se llegó a la conclusión que la faja idónea para la aplicación requerida, es una faja tipo A de 61" de longitud.

### 2.1.2.3 CAPACIDAD TEÓRICA

Descritos los elementos principales que conforman la despulpadora podemos entrar en detalle y determinar qué capacidad de producción se espera que la máquina proporcione, esta producción es netamente teórica, ya que descarta cualquier pérdida que la máquina pueda presentar en la cámara de despulpado. Entonces la cámara de despulpado en esencia consta de dos conos concéntricos, en el cual uno de ellos experimenta un movimiento de rotación, ambos conos están a una distancia específica previamente calculada, las cuchillas de cono fijo están de frente a las cuchillas del cono rotor, las distancias que guardan esta cuchillas entre sí, permiten el ingreso de un fruto de tempate solamente, una vez estas están alineadas, con la rotación esta alineación, puede llegar a ocurrir hasta ocho veces en una revolución, y dado que la velocidad de operación de la cámara es de 26.1RPM, se puede sacar una relación lineal de la cantidad de frutos que puede procesar la máquina en un minuto, simplemente multiplicamos la velocidad de operación, por el número de frutos en una revolución, esto nos da  $26.1\text{RPM} \times 64 \text{ frutos} = 1,670.4 \text{ frutos por minuto}$ , lo que es igual a 100,224 frutos/hora, se sabe también que cada fruto de tempate posee 3 semillas, de este resultado y relacionando otros datos de la planta jatropha llegamos concluir que la capacidad esperada de la máquina es de 3.3 quintal de semilla/hora. En la figura 2-10 se muestra la forma de operar de la cámara de despulpado.



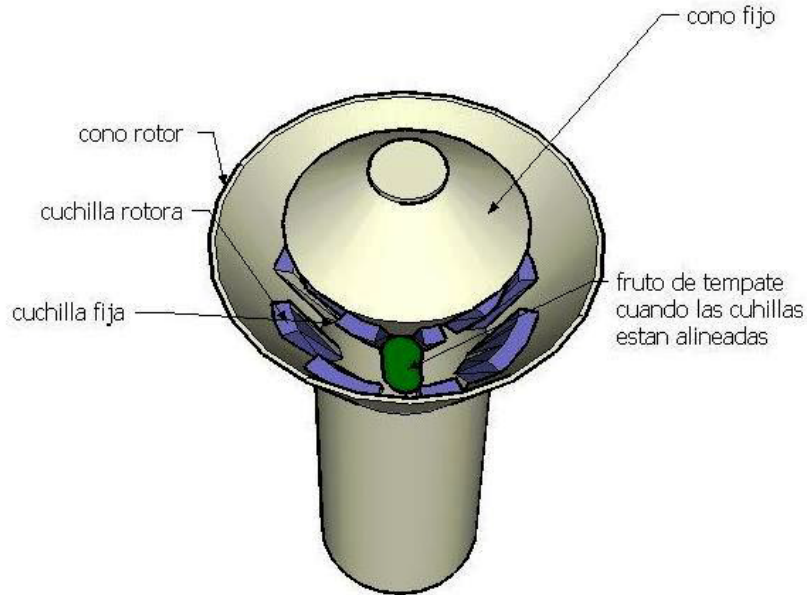


Figura 2-10, En esta figura se muestra el momento en que las cuchillas se alinean, y dejan pasar un fruto de tempate a través de estas.

### 2.1.3 SEPARADOR

Esta etapa de la máquina no presenta tantos problemas de diseño como la etapa de despulpado, su principio de funcionamiento es la de un clasificador, que permite que la semilla salga de él a través de sus paredes hechas de una tela metálica, con agujeros del tamaño de la semilla de tempate, que son de 1"x1" cuadrados. Entre los elementos que conforman el separador tenemos; motor, caja reductora, faja en v, eje del separador, aro, cojinetes, poleas y estructura ver figura 2-11. La mezcla cáscara y semilla proveniente de la cámara de despulpado es ingresada al interior del separador por medio de la lámina fija transportadora. El movimiento de rotación que se le confiere al separador hace que la mezcla de cáscara y semilla un vez dentro del separador, se desplacen de forma horizontal a través de él, en el desplazamiento la semilla va saliendo de poco a poco por los agujeros de las paredes del separador mientras que la cáscara continúa el desplazamiento hasta abandonar el separador por donde se encuentra la lámina receptora de cáscara. Algunos de

elementos del separador requieren de un análisis para su diseño o en su defecto una selección. Todos los elementos del separador requieren de pintura para evitar el deterioro de estos por corrosión.

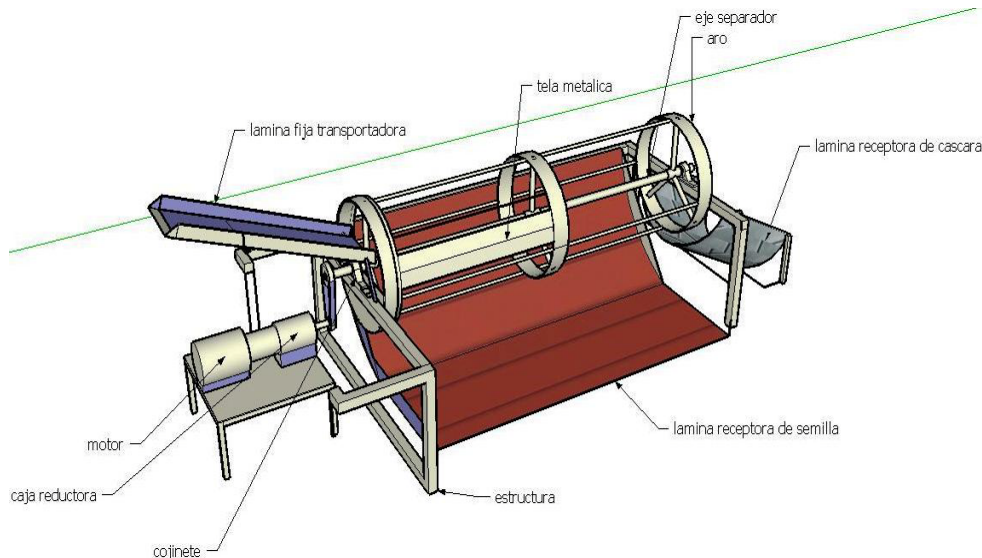


Figura 2-11, En la figura anterior se muestran todos los elementos del separador, las dimensiones de estos elementos fueron diseñadas de tal forma, que se pretende evitar que el producto caiga fuera del separador y no pueda ser clasificado por este.

Al igual que la etapa de despulpado se pueden clasificar los dos mismos tipos de elementos que son: los elementos estructurales y los elementos de transmisión. Para seguir conociendo más sobre el separador se describirán los elementos de forma más puntual.

### 2.1.3.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

#### a) ARO

Este elemento está formado por tres llantas de hierro plano de  $1/8'' \times 2''$ , acopladas entre sí mediante varillas de hierro redondo de  $1/2''$ , estas llantas a la vez están fijadas al eje del separador por medio de acoples para poder girar junto a él cuando el movimiento sea

transmitido a este. El aro es la estructura en la cual la tela metálica está instalada por medio de remaches, formando una especie de tómbola parecida a las que se usa en sorteos o rifas, la tela es una malla con agujeros cuadrados cuyas dimensiones 1"x1" permiten el flujo de semillas y retienen la pulpa que se expande en el despulpado. El diámetro externo de las llantas es de 25" y las tres están dispuestas de forma equitativa a lo largo del aro. El aro se muestra en la figura 2-12.

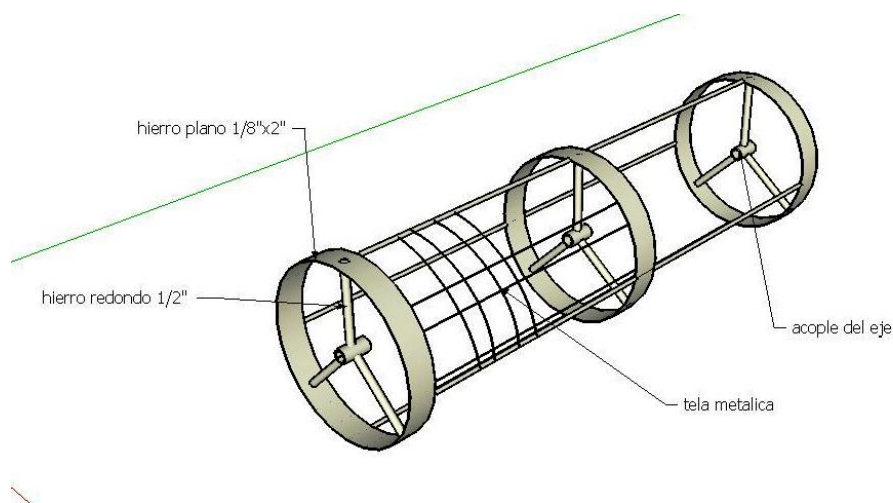


Figura 2-12, muestra la tómbola que permite el separar la semilla de la cascara.

### **b) EJE SEPARADOR**

El eje hará que se mueva el aro que será fijado a él, mediante un sistema de transmisión que se conectará por medio de faja y polea al eje. El eje deberá soportar todas las condiciones de esfuerzos a las cuales estará sometido, ya que estarán presentes distintos tipos de carga, debidas a la transmisión y al propio peso de la estructura. El eje después del análisis de diseño, tendrá un diámetro 1", una longitud de 2.5 metros y el material seleccionado para este elemento es un acero 1020. En el extremo de la transmisión llevara un cuñero 1/4" para la instalación de la polea de aluminio de 4" de diámetro y otros concentradores de esfuerzos para instalar las llantas del aro y los cojinetes.

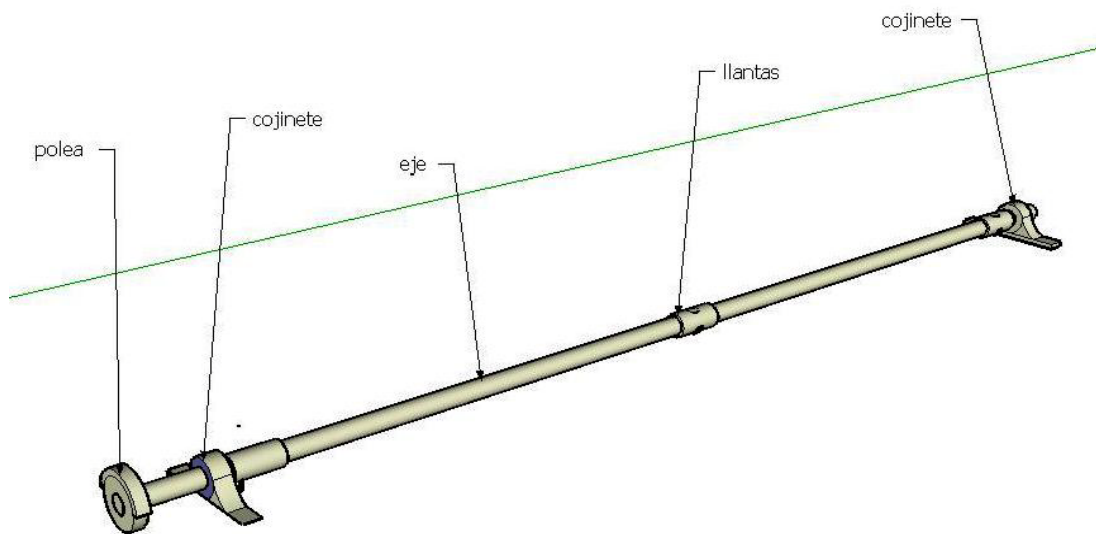


Figura 2-13, Se muestra el eje del separador indicando los componentes que se acoplan al mismo.

#### c) LAMINA FIJA TRANSPORTADORA

Está hecha de lámina hierro 3/64" de espesor, tiene un ancho 1pie x 3.5pie de largo, se coloca de forma inclinada y se ancla a la estructura. Su función es transportar la mezcla cáscara y semilla que sale de la cámara de despulpado hacia el interior del separador, el movimiento de la mezcla se da producto de las fuerzas gravitatorias debido a la inclinación de la lámina ver figura 2-11.

#### d) LAMINA RECEPTORA DE SEMILLA

Está hecha de lámina hierro 3/64" de espesor, tiene una forma arco en la parte superior, y plana en la parte inferior, esta soldada a la estructura del separador, está ubicada justo de debajo del separador y su función es recolectar las semillas que caigan del separador y atraviesen transversalmente al mismo. Ver figura 2-11.

### **e) LAMINA RECEPTORA DE CASCARA**

Lamina de hierro 3/64” de espesor, parece un semicilindro ubicada a un costado del separador, acoplada mediante unas patas de tubo cuadrado 1”, la ubicación es tal que no permite que la cascara caiga en otra parte que no sea ella. Ver figura 2-11.

### **2.1.3.2 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN**

Los elementos de transmisión del separador se aprecian en la figura 2-13. Al igual que el despulpador este consta de: motor eléctrico de baja revolución, caja reductora, faja tipo V, poleas de aluminio y otros accesorios. El despulpador tiene que operar a una velocidad angular baja, es por eso que se usa un reductor de velocidad a la salida del motor, esto debido a que las características de la estructura del separador no permiten que gire con una velocidad elevada, ya que esta podría colapsar o algunas de sus piezas se dañarían. Las dimensiones del sistema se determinaron en el diseño del separador que se explicara en los incisos siguientes. En la figura 1-13, también se observarán todos elementos que el sistema de transmisión deberá mover, estos incluyen: peso de la semilla y cáscara, la masa del aro más los componentes y la masa del eje del separador. Estos elementos están acoplados entre sí y se mueven en bloque, apoyados todos estos en los cojinetes que están emperrados a la estructura principal del separador.

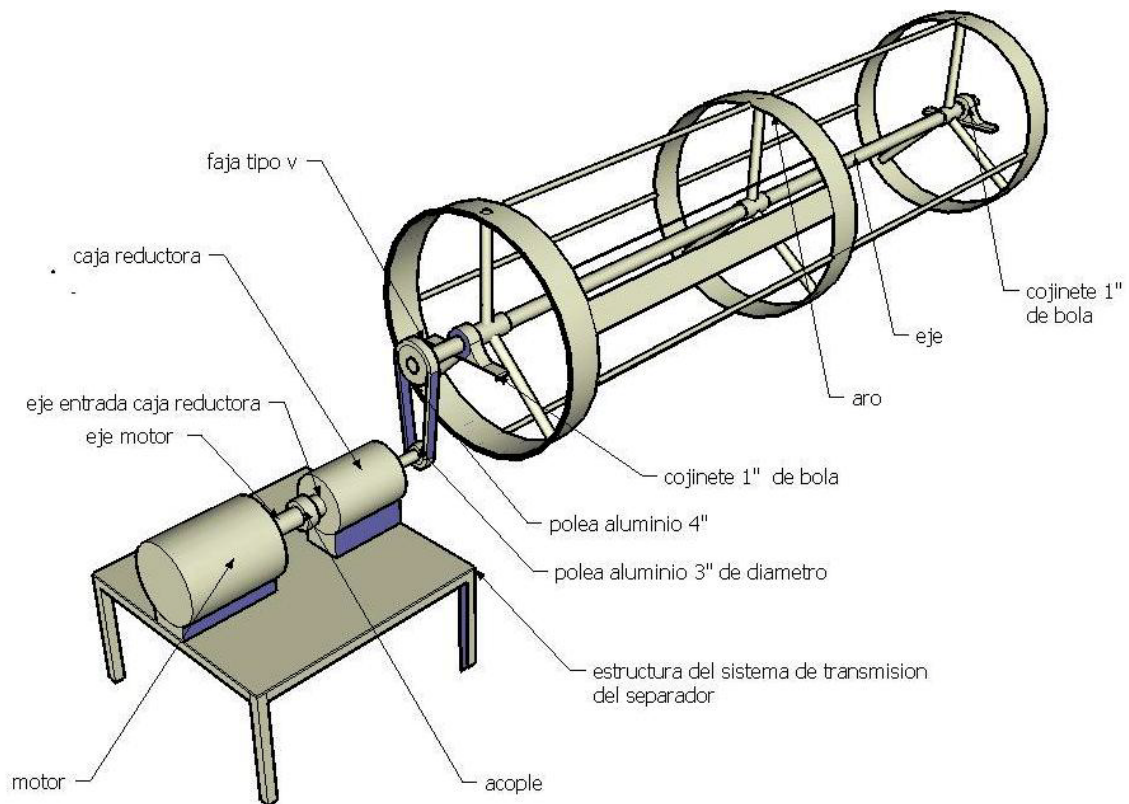


Figura 2-14, Muestra los elementos encargados de transmitir el movimiento en el separador.

### a) MOTOR

El elemento encargado de producir el movimiento de rotación es un motor monofásico de baja revolución carcasa cerrada, igual al motor del despulpador. La potencia es 2Hp, la velocidad angular 1700RPM, alimentación 208-230voltios, estructura frame 145, frecuencia 60Hertz, monofásico, peso 51lb y eje de salida 7/8".

### b) CAJA REDUCTORA

La caja de reducción de velocidad a diferencia de la caja de la despulpadora, presenta una posición del eje de salida a 180° respecto a la del eje de entrada. Proporciona una velocidad de salida de 40RPM, transmite 1Hp de potencia y es de posición horizontal.

### **c) ACOPLA**

Este elemento sirve para acoplar el motor a la caja reductora, tomando en cuenta que el diámetro del eje del motor es de 7/8" y el diámetro del eje de entrada de la caja reductora es de 1 1/8", este tendrá que resistir los esfuerzos cortantes provocados por los torques del motor y la caja reductora.

### **d) POLEAS**

Las poleas de este sistema de transmisión están construidas de aluminio, para disminuir la carga del motor y la caja reductora. Las dimensiones de las poleas corresponden a las de una transmisión por medio de una faja en V, ya que la faja es tipo A debido a los requerimientos de transmisión, para tomar en cuenta a la hora de dimensionar las poleas, según la norma para este tipo de fajas, estas medidas deben ser: un ángulo de 17° por lado y el paso de 1/2". Por lo que se verifica en figura 1-13 se pueden ver dos poleas en este sistema; una de 4" diámetro externo, 1" de diámetro interno con un cuñero 5/16" ubicada en el eje del separador y la otra polea es de 3" de diámetro externo, 1 1/8" diámetro interno con un cuñero de 1/4".

### **e) COJINETES**

Este elemento fue seleccionado de acuerdo a las cargas que está soportando el eje del separador, mediante un procedimiento indicado por los fabricantes descrito en la inciso que aborda el diseño y selección de los elementos de la máquina, las características físicas están de acuerdo a las del eje, el diámetro interno de los cojinetes es 1". Este elemento consta de una chumacera que viene con perforaciones para pernos para acoplar los elementos a la estructura del separador. Se necesitan dos cojinetes y estos están ubicados en los extremos del eje del separador. Son cojinetes de bolas capaces de soportar grandes cargas radiales y moderadas cargas axiales, lo que los convierte en ideales para la aplicación.

### **2.1.3.3 CAPACIDAD DEL SEPARADOR**

Ya conocidos todos los componentes del separador, se comprende la forma de operar de esta etapa de la máquina y se definen las características de operacionales del sistema de

transmisión, se puede hacer una estimación de la cantidad de semilla que puede clasificar el separador. Conocidas las dimensiones de las poleas y la velocidad del eje de salida de la caja reductora se obtiene la velocidad de operación del separador que es de 30RPM, y tomando en cuenta las dimensiones del separador y específicamente la tela metálica se espera se clasifiquen unas 4 quintales de semilla/hora.

## **2.2 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA MAQUINA**

Para las dos etapas de la máquina la alimentación eléctrica coinciden, ya que los motores requeridos tienen la misma capacidad, el tipo de alimentación requerida es 220V monofásica, tomando en cuenta la demanda de los motores, estos serán operados mediante un guardamotor, que cumplirá con dos funciones que son: servir como protección y servir como elemento de mando.

Los materiales a utilizar fueron seleccionados de acuerdo a los requerimientos técnicos de los mismos, como la corriente de vacío o la corriente de corriente de carga máxima de los motores, la potencia entre otros, las técnicas de selección se mostraran en el capítulo 3.

Para los motores se usarán dos guardamotors, de la marca: Cutlehammer modelo XTPR016BC, instalado en su caja protectora, de la misma marca, de modelo XTPAXEN S65B. El guardamotor tendrá que ajustarse a la corriente (carga máxima del motor), para ello viene provisto de un regulador de corriente.

El cableado de la máquina también se selecciono de acuerdo a las características propias del sistema, atendiendo aspectos como: la cantidad de corriente a conducir, potencia, temperatura de operación, montaje entre otros; llegando a seleccionar un cable TSJ(AWG) 12X2, este se ubicara en distintos puntos de la estructura, conectando el guardamotor al motor, y este mismo servirá para el acoplamiento a la alimentación eléctrica del lugar.



Para tener una idea más clara del funcionamiento del sistema eléctrico se puede observar la figura 2-15. Donde se pueden observar las líneas de alimentación del sistema que funciona a 220V corriente alterna, ellas se conectan al sistema de la máquina mediante un punto seguro o toma, luego estas llegan a los puertos de los guardamotores, estos poseen protección interna para salvar a los motores de cualquier problema eléctrico y un sistema de accionamiento manual para controlar el encendido o apagado de los motores. Por último el sistema eléctrico se conecta con los motores, esta conexión viene dada según indicaciones en las fichas técnicas del motor.

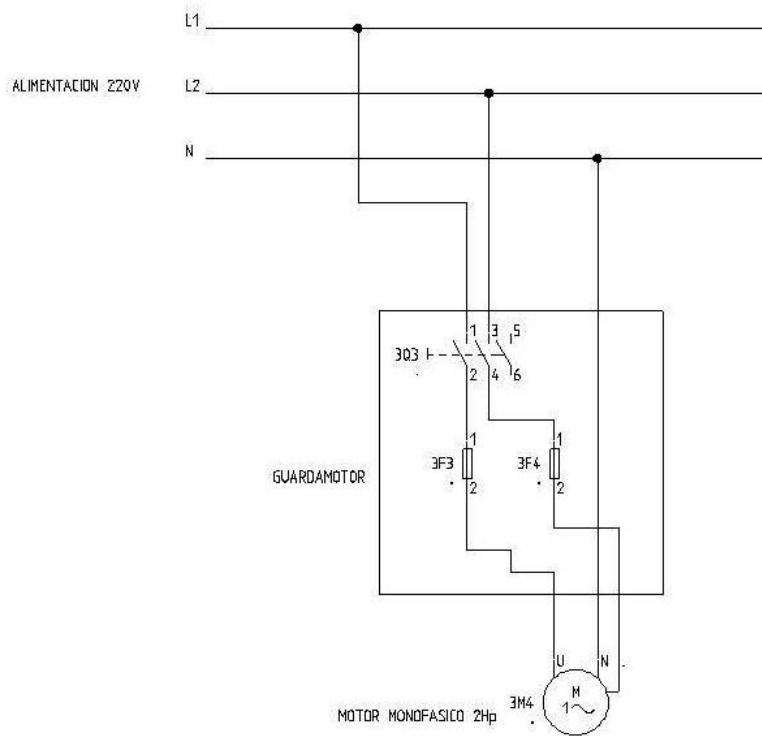


Figura 2-15, se muestran las conexiones que se hacen en los motores.

### ***3.0 DISEÑO, SELECCIÓN Y FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA***

A continuación se describen los pasos a seguir para diseñar los componentes de la máquina, haciendo uso de las técnicas de diseño y selección de elementos de máquina y analizaremos algunos parámetros empíricos suponiendo los posibles resultados de los fenómenos físicos

relacionados con los movimientos de rotación efectuados por las dos etapas de la máquina que son la despulpadora y el separador. Se establecerán las variables de diseño como punto de partida, para comenzar con el proceso de diseño y selección, estas variables vienen dadas por las mismas características físicas del tempate que viene a ser nuestro fluido de trabajo haciendo una analogía con el campo del área térmica. Definidas las variables de diseño detallaremos todos los componentes específicos de la despulpadora y el separador, ya que estos componentes requieren en algunos casos procedimientos de diseño y en otros procedimientos de selección. Una vez terminados los procesos de diseño y selección se establecerán los materiales, formas y tamaños de cada componente de la máquina. Por otra parte también se deben seleccionar dispositivos motrices capaces de proporcionar la energía cinética o cualquier otro tipo de energía que se requiera y en las proporciones necesarias establecidas por las características de funcionamiento de los componentes en cuestión. Se mencionaran también los procesos de fabricación de los componentes y el sistema eléctrico de la máquina que está relacionado con el encendido y protección de los motores.

### 3.1 VARIABLES DE DISEÑO

Las principales variables de diseño son las características físicas propias del tempate, como lo son; las dimensiones, consistencia física y otras propiedades como los fluidos que este puede desprender en el momento de ser despulpado. En los capítulos anteriores mencionamos todo lo relacionado con el tempate y sus características físicas y agrícolas, haciendo un resumen del tamaño promedio esperado en fruto de tempate y las tres semillas que este contiene establecemos los siguientes datos que se muestran en la tabla 3.1.

	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Peso de 1000 (gr)
Fruto	2.5 a 4 (1" a 1.6")	2 (0.8")	1400
Semilla	2 (0.8")	1 (0.4")	500

Tabla 3.1

## **3.2 DISEÑO DESPULPadora**

El despulpado esta dentro de la primera etapa de la máquina, los componentes principales de esta etapa son: la cámara de despulpado, cámara receptora, sistema de soporte y regulación, sistema de transmisión, sistema eléctrico, estructura o bancada y los elementos de sujeción. Cada uno de estos componentes está sometido a un análisis de diseño para poder ser dimensionados. Estos procedimientos obedecen a ciertas condiciones de operación propias de la máquina y las condiciones ambientales a las cuales esta será sometida.

### **3.2.1 DISEÑO CÁMARA DE DESPULPADO**

La cámara de despulpado es el componente más complejo y más importante de toda la máquina, ya que es la encargada de cumplir el objetivo principal que es despulpar o descascarar el fruto de tempate sin causar daño a la semilla, ya que es la que contribuye finalmente en la producción de biodiesel. La cámara de despulpado también contiene otros elementos o subcomponentes que se analizaran de forma individual para facilitar su diseño o selección según sea el caso. Los subcomponentes con los cuales está equipada la cámara son: el cono fijo, cono y cilindro rotor, cuchillas cono rotor y las cuchillas cono fijo. La forma de operar de dicha cámara es mediante la acción del movimiento de rotación conferido al cono y cilindro rotor, en este proceso interactúan las cuchillas del cono rotor con las cuchillas del cono fijo, el cono fijo está anclado a la estructura de la máquina, como su nombre lo indica no presenta ningún movimiento, luego que el fruto de tempate queda atrapado entre las cuchillas de los conos, se da el efecto de corte en la fibra vegetal del fruto, este efecto es parecido al de una guillotina. Todos los subcomponentes de la cámara de despulpado están sometidos a condiciones de corrosión extremas por lo que todos estos están fabricados de un mismo material que es el acero inoxidable cuyas propiedades son resistentes a dichas condiciones, las propiedades se observan en las tablas 3.2.

### 3.2.2 DISEÑO DE CUCHILLAS

Se procede entonces a dimensionar las cuchillas que realizaran el despulpado, estas cuchillas estarán dispuestas en los dos conos que están instalados de forma concéntrica, situados a una distancia que podrá ser variada según el tamaño del fruto que estará siendo procesado en ese momento. Dichas cuchillas estarán ubicadas en cada uno de los conos para proporcionar un efecto de guillotina sobre el fruto, partiéndolo y despojándolo de la semilla, en figura 3-1 se muestra un esquema del fenómeno físico mencionado. Una de las cuchillas tendrá que estar en movimiento para producir dicho efecto (guillotina), con lo que el cono externo estará en movimiento de rotación mediante la acción de un sistema de transmisión cuyas características se determinaran más adelante.

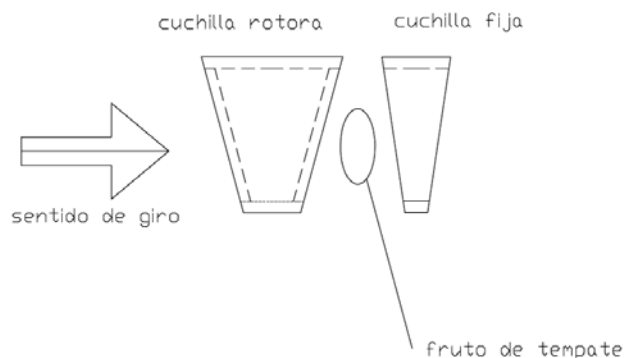


Figura 3-1, Muestra la forma de operación de la cámara de despulpado.

Las cuchillas en cada cono estarán ubicadas a una distancia tal que permita el paso de un fruto de tempate entre ellas como se muestra en la figura 3-2, la forma de las cuchillas también facilita el flujo del fruto hacia la parte inferior de los conos, la disposición geométrica espacial de las cuchillas en ambos conos permitirá fluir solamente 8 frutos de tempate cada vez que las cuchillas se alineen, la alineación podrá ocurrir ocho veces en una revolución, con lo que estarían teóricamente entrando a la cámara de despulpado 64 frutos por revolución. Para lograr que las cuchillas permitan el flujo de tempate hacia la cámara de

despulpado, se han calculado el tamaño y la distancia a las cuales estas cuchillas estarán ubicadas dentro de las dimensiones de cada uno de los conos. Los cálculos son mediante ecuaciones comunes, el tamaño se refiere a los segmentos de ángulos necesarios para obtener las dimensiones deseadas y la distancia se refiere a los segmentos de ángulos, que determinan la longitud necesaria a la cual estarán ubicadas una cuchilla respecto de la otra en un mismo cono, dichos valores de ángulos se podrán observar cuando dimensionemos la cámara de despulpado. Las cuchillas tienen un borde con un afilado para facilitar el corte.

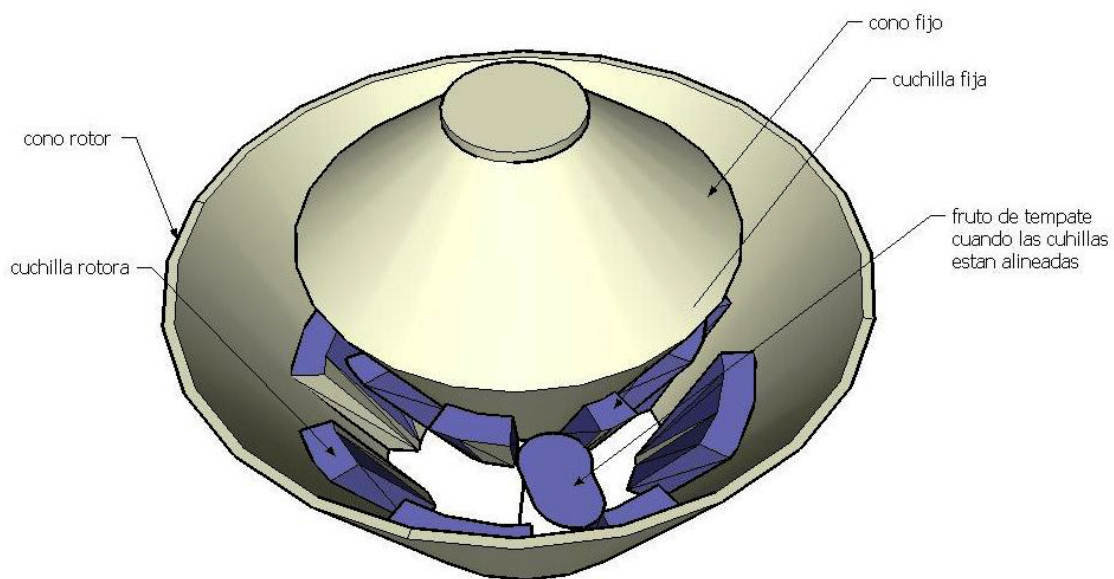


Figura 3-2, Muestra la disposición geométrica de las cuchillas dentro de sus respectivos conos.

Una vez definido el mecanismo de despulpado, se puede mencionar las características físicas de la cámara de despulpado, que contara con 16 cuchillas para realizar esta tarea, las cuchillas estarán distribuidas de la siguiente manera; 8 de ellas en el cono rotor y 8 cuchillas en el cono fijo.

### 3.2.3 SELECCIÓN DE MATERIAL DE LA CÁMARA DE DESPULPADO

Para complementar el diseño de la cámara de despulpado, se debe tomar en cuenta no solo las dimensiones del fruto si no también los fluidos que este desprenderá en el momento del despulpado, por lo que, la corrosión se vuelve crítica, el material para estas condiciones altamente corrosivas debe ser un acero inoxidable, ya que además se deberá agregar las condiciones ambientales locales que contribuyen a la corrosión. Dicho material deberá ser utilizado en todos los componentes que forman la cámara de despulpado, el cono rotor, cono fijo y todas las cuchillas con el fin de alargar la vida de la cámara. Para hacer cara a todas las condiciones operación se hace uso de un acero inoxidable cuyas propiedades físicas, mecánicas y químicas cumplan con todas las exigencias mencionadas. Por lo que el material a utilizar es el acero inoxidable AISI 304, cuyas propiedades se pueden observar en las tablas 3.2. Todos los componentes de la cámara de despulpado se fabricaran a partir de una lámina de acero inoxidable de ¼"x4'x8', y cuyos detalles de fabricación se verán más adelante.

Propiedades mecánicas a temperatura ambiente:

Grado	Resistencia a la Tracción (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	de Elongación (% en 50mm)	Dureza Brinell Max.	Propiedades para trabajo en frio
AISI 304	515	205	40	202	Muy Buena

Tabla 3.2a

### Propiedades químicas:

Grados	Composición Química							Propiedades:	Aplicaciones:
	C	Cr	Ni	Mo	S	Mn	Si		
AISI 304	<0.08	18.0	8.0 - 10.5	-	0.03	<2.0	<1.0	Buena resistencia a la corrosión, excelentes propiedades de conformación en frío y soldabilidad.	Electrodomésticos, industria agrícola, alimenticia, farmacéutica, acuicultura (fregaderos, fachadas, mobiliario urbano, etc).

Tabla 3.2b

### Propiedades Físicas:

Densidad Kg/dm <sup>3</sup>	7.9
Módulo de elasticidad GPa	193
Módulo de Poison	0.26
Calor Especifico J/Kg.°K	500
Conductividad Térmica W/mK	A 100°C 16,2 A 500°C 21,5
Resistividad Eléctrica 10ηΩm	725
Coefficiente de expansión térmica μm / Mk	0-100°C 16.5 0-315°C 17,2 0-540°C 17.9 0-700°C 18,5
Propiedades magnéticas	No magnético, aunque se convierte en ligeramente magnético cuando es trabajado en frío.

Tabla 3.2c

Resistencia a la Tracción en (MPa) a elevadas temperaturas con exposiciones cortas					
Grado	Temperatura °C				
	100	300	500	700	900
304	530	480	400	270	90

Tabla 3.2d

* Máxima temperatura de servicio recomendada en condiciones oxidantes		
Grado	Servicio Continuo (°C)	Servicio Intermitente (°C)
304	925	850

Tabla 3.2f

### **3.2.4 SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE LA DESPULPADORA**

La velocidad para realizar el despulpado deberá ser relativamente baja, para evitar que la semilla del fruto sea triturada a consecuencia de la energía cinética elevada que se le confiere a las cuchillas, para alcanzar la velocidad requerida se emplearan reductores de velocidad ya que los motores eléctricos trabajan solo a altas revoluciones, las dimensiones de estos equipos se podrán determinar más adelante cuando se dimensionen el sistema de transmisión. En conclusión las velocidades recomendadas para la despulpadora y el separador están entre 25 – 50 RPM.

### **3.2.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE DESPULPADO**

Para determinar el tamaño de la cámara de despulpado, se toma como referencia el tamaño de los frutos de tempate, para poder determinar los espacios que deben proporcionar los conos y las cuchillas, dichos espacios permiten el paso del fruto de tempate a través de la



cámara de despulpado, por lo que los tamaños de los conos y las cuchillas fueron calculados de tal manera que se deberán formar estos espacios. Se optó por una pendiente de  $60^\circ$  en ambos conos para un mejor deslizamiento del fruto a través de estos, como se muestra en la figura 3-3. El material para estas piezas es una lámina de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$ " de espesor, se espera que con este espesor soporte todas las condiciones de operación.

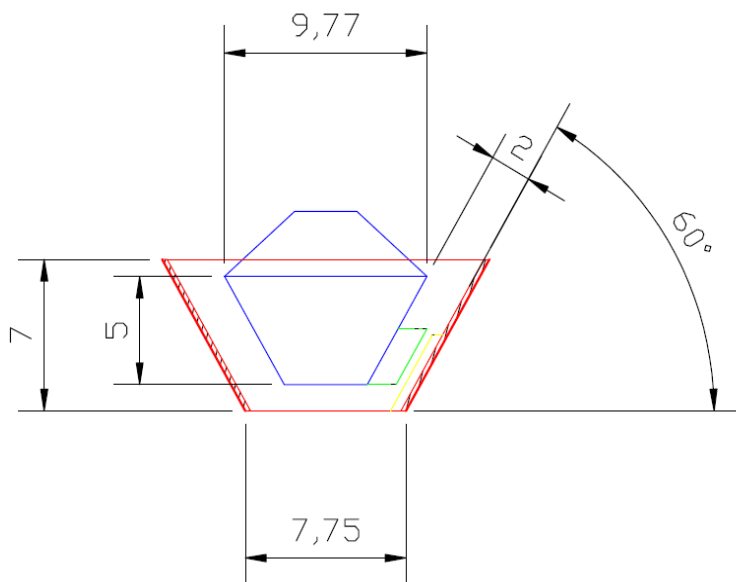


Figura 3-3, Se indican las dimensiones consideradas para los cálculos.



Cono rotor



Cono fijo



Cuchilla fija



Cuchilla rotora

Las dimensiones de la cámara de despulpado son las que se observan en el esquema anterior, las medidas están en pulgadas, se definen las alturas de los conos y las cuchillas, el cono rotor es el de color rojo y funciona como un cono hembra, el cono fijo el de color azul

funciona como un cono macho, se puede observar que los conos guardan una distancia de 2" que responde a la máxima dimensión que un fruto de tempate puede alcanzar, por lo que el fruto podrá ingresar fácilmente entre los conos. Se menciono anteriormente para el tamaño de las cuchillas es necesario calcular la longitud de arco prevista para mantener las distancias que permita el paso del fruto dentro de la cámara de despulpado. Se analizará primero el cono rotor, este cuenta con 8 cuchillas, el relieve de las cuchillas en este cono es de 0.5" que se refiere a la altura de estas sobre la superficie del cono rotor en el plano a 60°. Conocida la altura de las cuchillas y conocidas también las pendientes de los conos se pueden obtener las relaciones de radios con cada uno de los extremos de las cuchillas (cara superior y cara inferior), por lo que se pretende establecer una distancia o longitud de arco de 2" de cuchilla a cuchilla ubicadas dentro del cono rotor, esta distancia es prudente para permitir el paso del fruto al interior de las cuchillas. En la figura 3-4, se puede ver que la cuchilla rotora tiene una longitud de 3.5" a lo largo del cono partiendo de la parte inferior de este, por lo que podemos asociar un círculo con un radio de 5.64" y como acabamos de mencionar, se sabe que la distancia de una cuchilla a otra es 2", y que el número de tempates que deben ingresar a la cámara son 8 cuando las cuchillas estén alineadas (figura 3-2), entonces para determinar la longitud de arco de la cuchilla y la distancia se usa la ecuación 1.1:

$$L = \frac{\alpha}{180} \pi R \quad (1.1)$$

Donde:  $\alpha$  ángulo en grados

R radio del círculo en pulgadas

L longitud de arco en pulgadas

Primero se determinaran los ángulos de las caras superiores de las cuchillas del cono rotor. Despejando de la ecuación 1.1 para una longitud de arco de  $L=2''$  y  $R=5.64$ , con lo que resulta un ángulo  $\alpha= 20.31^\circ$ , por lo que un recorrido de  $90^\circ$  se necesitan dosángu los  $\alpha$  para permitir el paso de dos frutos de tempate por lo que las dimensiones angulares de las cuchillas son:

$$\theta = \frac{90 - 2(20.31)}{3} = 16.46^\circ, \text{ por lo que al hacer la distribución en } 360^\circ, \text{ se requieren:}$$

4 ángulos  $\theta_1 = 16.46^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2 = 32.92^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha = 20.31^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra cuchilla)

Siempre en la parte superior de la cuchilla se determinan los ángulos para determinar las longitudes de arco que se necesitan para mantener la distancia entre cuchilla y cuchilla que es el objetivo de estos cálculos, como la cuchilla tiene una altura 0.5" el nuevo radio es  $R = 5.14$ " y de la ecuación 1.1 obtenemos un nuevo ángulo  $\theta = \frac{L \times 180}{\pi R} = \frac{2 \times 180}{\pi \times 5.14} = 22.29^\circ$ , siguiendo con el procedimiento anterior para un ángulo de  $90^\circ$  tenemos:

$$\theta = \frac{90 - 2(22.28)}{3} = 15.14^\circ, \text{ por lo que al hacer la distribución en } 360^\circ, \text{ se requieren:}$$

4 ángulos  $\theta_1 = 15.14^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2 = 30.28^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha = 22.29^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Completados estos cálculos obtenemos las dimensiones de la parte superior de las cuchillas en el cono rotor, se puede ver que se necesitan 2 tipos de dimensiones de cuchillas, ya que se necesita mantener una distancia 2" de una cuchilla a otra, una cuchilla es el doble que la otra como se ve en los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$ . Las cuchillas están distribuidas en el contorno del cono rotor de la siguiente manera; 4 cuchillas grandes y 4 cuchillas pequeñas, en el radio tomado como referencia del cilindro rotor a una altura de 3.5" medida verticalmente desde la parte inferior del cono rotor.

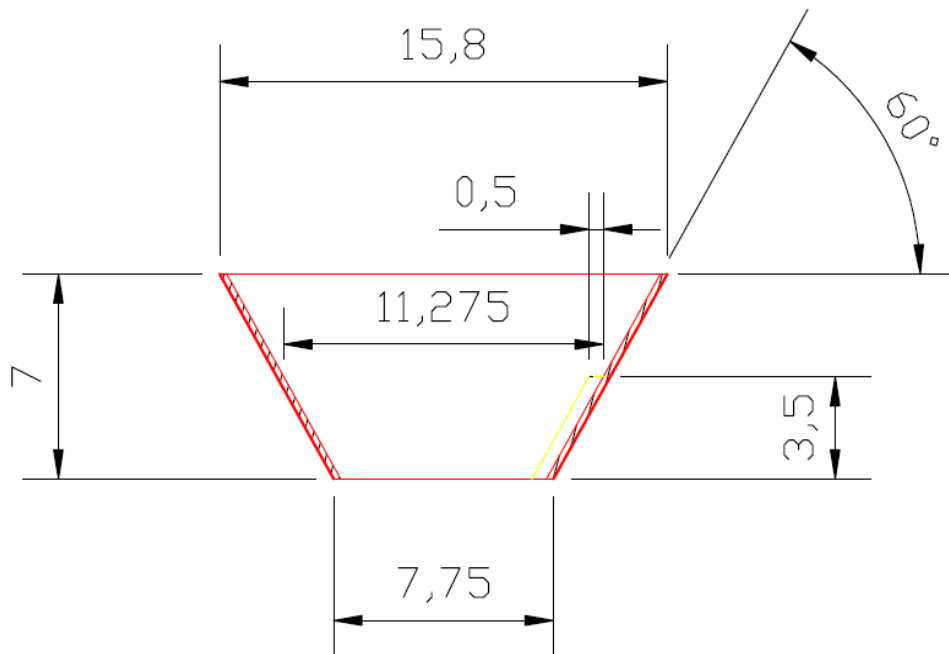


Figura 3-4 Se muestra el cono rotor con una cuchilla para calcular sus dimensiones.

En la figura anterior se muestra el cono rotor con una cuchilla en color amarillo para observar las dimensiones que se usan para los cálculos de las dimensiones de las cuchillas. Se debe notar que lo hecho hasta ahora corresponde únicamente a la parte superior de las cuchillas del cono rotor.

Los procedimientos anteriores se hacen también para la parte inferior de las cuchillas, en este caso se trata del radio inferior del cono rotor de 3.875" se le resta ¼" del espesor de la lámina de acero inoxidable por lo que el radio es 3.625", como la altura de la cuchilla es de 0.5" entonces el nuevo radio de referencia es de 3.125", se aplica de nuevo la ecuación 1.1, de esta manera se terminan los nuevos valores de  $\alpha$  para estos radios:

Para el radio de 3.125" queda:

$$\alpha = \frac{L \cdot 180}{\pi R} = \frac{2 \cdot 180}{\pi \cdot 3.125} = 36.6^\circ$$

$$\theta = \frac{90 - 2(36.67)}{3} = 5.6^\circ$$

Por lo que al hacer la distribución en 360°, se requieren:

4 ángulos  $\theta_1=5.6^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2=11.2^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha= 36.6^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Para el radio de 3.625

$$\alpha = \frac{L*180}{\pi R} = \frac{2*180}{\pi*3.625} = 31.62^\circ$$

$$\theta = \frac{90-2(31.62)}{3} = 8.92^\circ$$

Por lo que al hacer la distribución en 360°, se requieren:

4 ángulos  $\theta_1=8.92^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2=17.84^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha= 31.62^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Para comprender de mejor manera las dimensiones calculadas, en la figura 3-5 se muestra el detalle de la parte superior de las cuchillas del cono rotor, se pueden identificar 2 tipos de cuchillas para el cono rotor de ahí el nombre de cuchilla cono rotor grande y cuchilla cono rotor pequeña.

detalle parte superior  
de las cuchillas del cono rotor

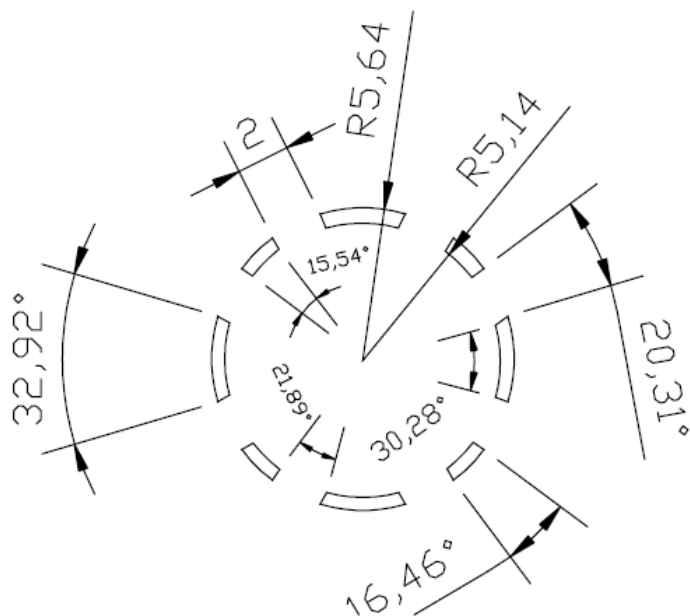


Figura 3-5 Detalle de las cuchillas del cono rotor.

Para dimensionar las cuchillas del cono fijo, se deben seguir los procedimientos que se realizaron para dimensionar las cuchillas del cono rotor, con la variante que en el cono fijo las cuchillas en la parte inferior guardan una distancia de 1.5" a 0.8" de una cuchilla a otra según sea el caso, con el fin de evitar el paso del fruto si este no ha sido despulpado por las cuchillas en la parte superior. Para ello observar los radios de referencia mostrados en la 2-6, donde las dimensiones del cono fijo están pulgadas, las cuchillas tienen una longitud de 2.6" y una altura de 1.4".

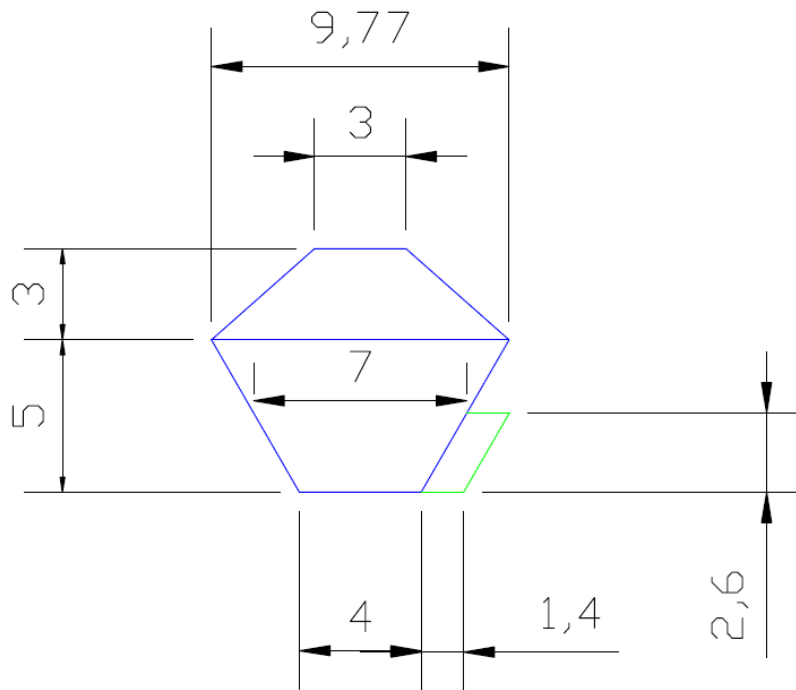


Figura 3-6 Dimensiones del cono fijo.

De la figura 3-6 se obtienen los siguientes datos para realizar los cálculos, en la parte superior: los radios de referencia son 3.5" y 4.9", para la parte inferior son de 2" y 3.4".

Entonces para la cara superior de la cuchilla del cono fijo es:

Para radio de 3.5"

$$\alpha = \frac{L \cdot 180}{\pi R} = \frac{2 \cdot 180}{\pi \cdot 3.5} = 32.78^\circ$$

$$\theta = \frac{90 - 2(32.74)}{3} = 8.17^\circ$$

Por lo que al hacer la distribución en 360°, se requieren:

4 ángulos  $\theta_1 = 8.16^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2 = 16.32^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha = 32.76^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Para radio de 4.9''

$$\alpha = \frac{L \cdot 180}{\pi R} = \frac{2 \cdot 180}{\pi \cdot 4.9} = 23.43^\circ$$

$$\theta = \frac{90 - 2(23.39)}{3} = 14.39^\circ$$

Por lo que al hacer la distribución en  $360^\circ$ , se requieren:

4 ángulos  $\theta_1 = 14.39^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2 = 28.79^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha = 23.41^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Para la cara inferior de la cuchilla del cono fijo es:

Para el radio 2'' ( en este caso  $L = 0.8''$  esta longitud cambia debido a las dificultades en la construcción de las mismas):

$$\alpha = \frac{L \cdot 180}{\pi R} = \frac{0.8 \cdot 180}{\pi \cdot 2} = 22.92^\circ$$

$$\theta = \frac{90 - 2(14.32)}{3} = 14.72^\circ$$

Por lo que al hacer la distribución en  $360^\circ$ , se requieren:

4 ángulos  $\theta_1 = 14.72^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2 = 29.44^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha = 22.92^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Para el radio 3.4'' ( en este caso  $L = 1.5''$ ):

$$\alpha = \frac{L \cdot 180}{\pi R} = \frac{1.5 \cdot 180}{\pi \cdot 3.4} = 25.28^\circ$$

$$\theta = \frac{90 - 2(42.97)}{3} = 13.15^\circ$$



Por lo que al hacer la distribución en 360°, se requieren:

4 ángulos  $\theta_1=13.14^\circ$  (cuchilla pequeña)

4 ángulos  $\theta_2=26.30^\circ$  (cuchilla grande)

8 ángulos  $\alpha=25.28^\circ$  (corresponde a la distancia de una cuchilla a otra)

Completados estos cálculos podemos obtener las dimensiones que deben tener las cuchillas del cono fijo. A continuación se presenta la apariencia física de las cuchillas una vez calculadas todas las dimensiones de las 16 cuchillas de los conos de figura 3-7, las cuchillas presenta una inclinación de 60° en los bordes que permite acoplar a los contornos en ambos conos, este diseño facilita el ingreso del fruto hacia la parte interior de la cámara de despulpado, en los bordes también presentan un filo moderado para facilitar el desprendimiento de la cáscara. Las caras de las cuchillas están ubicadas perpendicularmente de un cono a otro, guardando las distancias necesarias para el paso del fruto. Las dimensiones de las cuchillas se apreciarán de manera más detallada en los planos de manufactura. Por otra parte la figura 3-7 muestra algunos de los valores calculados para obtener las dimensiones de las cuchillas, específicamente de las cuchillas del cono rotor tomando de referencia el radio de 5.64", así como también algunos valores de los radios de referencia para cada cálculo.

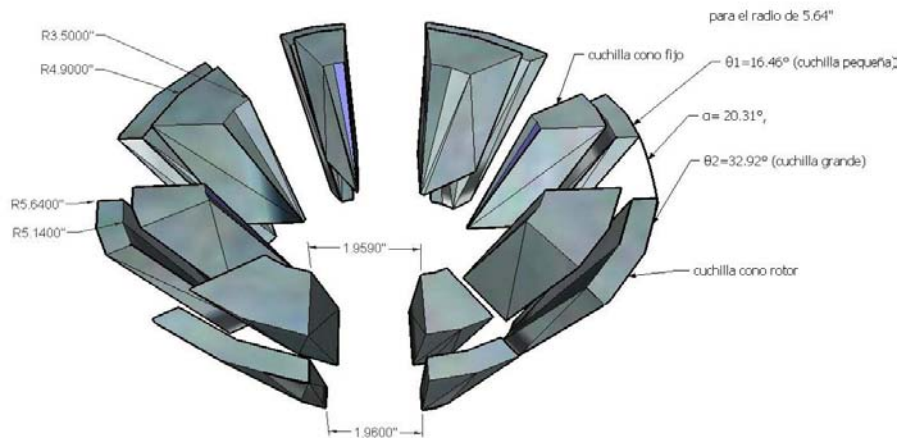


Figura 3-7, muestra las dimensiones de las cuchillas obtenidas en los cálculos en ambos conos.

Cada una de las cuchillas del cono rotor se acoplaran por medio de soldadura, en el caso del cono fijo las cuchillas se acoplan mediante pernos, los pernos tienen  $\frac{1}{4}$ " de diámetro con cabeza cónica para que esta no sobresalgan en la cara de las cuchillas ya que se podría entorpecer el proceso de despulpado, las cuchillas llevarán un abocardado especial para instalar los pernos que fijaran las cuchillas a los conos, el diámetro obedece a que en el despulpado los esfuerzos cortantes no son de gran magnitud debido al material orgánico que se esta cortando, se puede observar que la altura de las cuchillas del cono rotor son mas pequeñas respecto a las del cono fijo, este diseño obedece a que por la forma de la cámara de despulpado induce al fruto a acomodarse en el cono rotor debido a las fuerzas de gravedad, esto hace que las cuchillas del cono fijo ataquen justo al medio del fruto.

Luego de haber completado las dimensiones de las cuchillas, también seleccionado y dimensionado el material para la cámara y establecidos los ángulos de trabajo a la cual estará operando la cámara. Se puede entonces dimensionar los siguientes elementos: cono rotor, cilindro rotor (acoplados) y cono fijo. En la figura 3-8 y 3-9 mostramos las características físicas finales que tendrán estos elementos y a los cuales deberán ser fabricados.

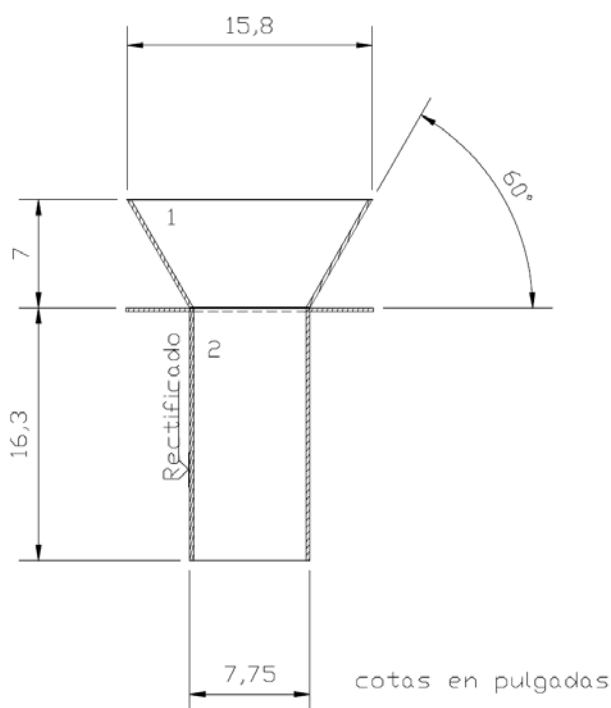
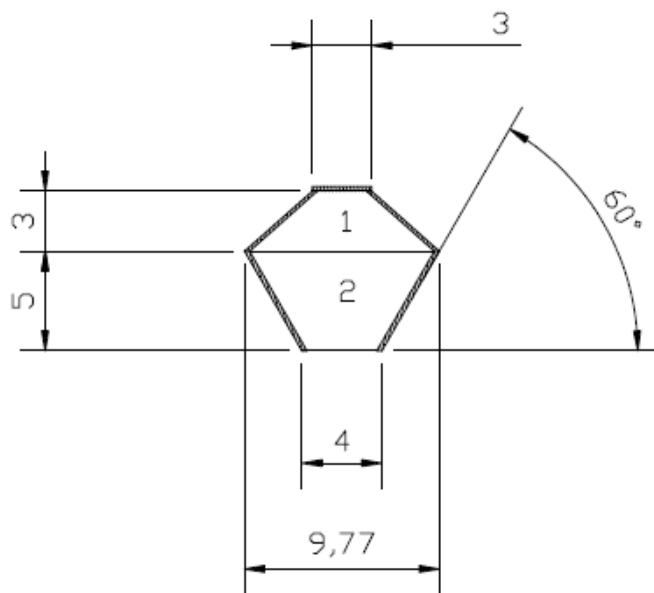


Figura 3-8, se pueden apreciar los detalles del cono y cilindro rotor, las dimensiones y otras características, la pieza 1 es el cono y la pieza 2 es el cilindro, en este último se especifica inclusive algunas características superficiales de este, debido a que dicha superficie estará sometida a un desgaste provocado por el contacto con la superficie del bushing en el momento de la transmisión. También se especifica un cuñero externo de  $\frac{3}{16}$ " en la parte inferior del cilindro

rotor para el acople de la polea, dicho acople provocara esfuerzos de flexión en el cilindro rotor debido a la acción de la faja en el momento de la transmisión. Las cuchillas rotoras están soldadas en el cono rotor, el peso del sistema cono, cilindro y cuchillas es de 52lb. A la vez esta pieza es provista de un disco soporte que le permite descansar en los rodos que están acoplados al bushing, para facilitar el movimiento de rotación. El disco soporte tiene un diámetro de 16” y está fabricado de lámina de acero inoxidable de ¼” de espesor.



cotas en pulgadas


Figura 3-9, se pueden ver los detalles más importantes del cono fijo, este elemento en conjunto con el cono rotor realiza la tarea del despulpado, esta formado por dos piezas, la pieza 1 es cono invertido con una tapa redonda en la parte superior, la pieza 2 cono acoplado a la pieza 1 por soldadura. Cabe mencionar que tanto el cono fijo como el cono rotor llevan perforaciones para el acoplamiento de las cuchillas. El cono fijo tiene un peso aproximado de 14lb.

### 3.2.6 DISEÑO DEL BUSHING

Este elemento es muy importante en la operación de la despulpadora, es el centro del mecanismo de transmisión, en el descansa el cono rotor, cilindro rotor y las cuchillas rotoras. Por tal motivo se debe hacer un análisis de las cargas que este elemento esta sometido, dichas cargas son provocadas en gran parte por el cilindro rotor con el cual interactúa directamente. Primero se debe seleccionar un material resistente al desgaste y después se pueden definir otras características geométricas y físicas que contribuyan a

evitar el desgaste. La lubricación es un tema importante en la operación del bushing, ya que de cuan eficaz sea la lubricación podrá evitar la velocidad de desgaste en las piezas, por lo que se debe seleccionar un lubricante que satisfaga la condiciones de operación del sistema de transmisión. Otra función del bushing es facilitar el movimiento de rotación de las partes móviles, para ello se acoplo un sistema de rodos a las uñas de soporte del bushing para que en ellas descansa el cono rotor y se pueda mover con mucha más facilidad.

### **3.2.6.1 DIMENSIONAMIENTO DEL BUSHING**

Para definir el tamaño del bushing se basó en el tamaño del cilindro rotor, ya que este ultimo deberá ser acoplado al bushing, este acoplamiento es muy preciso siendo el diámetro interno del bushing de 0.01” mayor que el diámetro externo del cilindro rotor, este grado de precisión es el adecuado ya que en el momento de la transmisión del movimiento no se deben permitir desalineamientos del cilindro rotor con respecto al bushing por que esto ocasionara; un mayor desgaste, ruido, deformación de las piezas y vibraciones. El bushing tiene una altura de 12” y un diámetro interno y externo de 7.76” y 9.85” respectivamente. Además cuenta con un acabado en la superficie interna de  $3.2\mu$  (  ) o N8 como se conoce en las normas internacionales, la calidad superficial obedece a las exigencias de funcionamiento de la máquina, ya que se desean eliminar los efectos de la fricción, desgaste, ruido y una mayor demanda de potencia al sistema de transmisión.

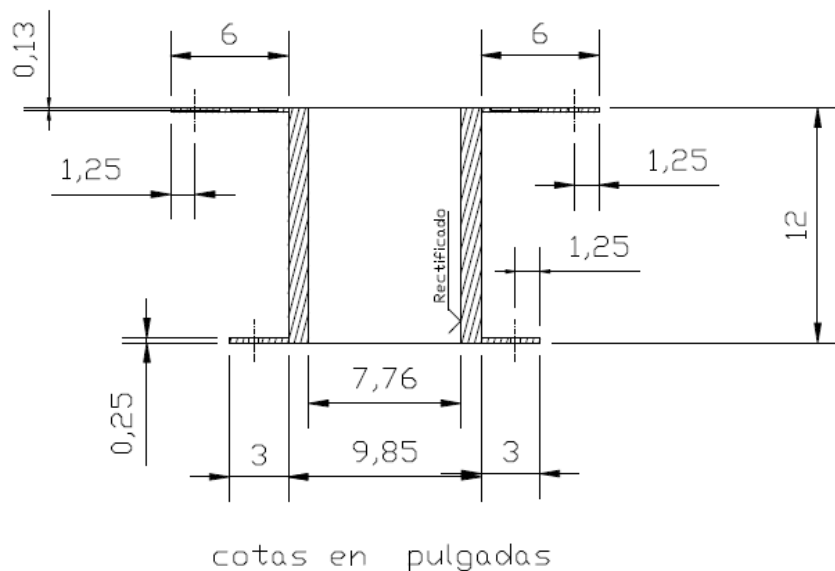


Figura 3-10, se muestran las dimensiones finales que deberá tener el bushing.

El bushing está fabricado de un acero 1020 cuyas propiedades físicas, mecánicas y químicas se mencionarán más adelante. Debido a las características del material el bushing tiene un peso aproximado de 100lb. El bushing se acopla mediante pernos a la estructura principal, por lo que se ha provisto de 8 uñas sostenedoras, 4 en la parte superior y 4 en la parte inferior, están hechas acero 1020 al igual que el bushing, tiene la capacidad de soportar el peso del bushing. Lo descrito anteriormente se puede observar en la figura 2-10. Por otra parte se debe mencionar que el cilindro lleva instalados en la parte superior de las uñas sostenedoras unos cojinetes de bolas para que en ellos descansen del disco soporte del cono rotor y permita el movimiento de rotación que la máquina requiere, para ello es necesario seleccionar los cojinetes que realizan esta tarea. La forma en el cual se da la interacción de las piezas obliga a seleccionar cojinetes de bola (carga radial), estos deben operar bajo ningún problema cuando sean sometidos a las cargas que vienen dadas por el peso del cono y cilindro rotor que es de 52lb. Y el peso del tempate que está en la cámara receptora que puede llegar a ser de 76lb. Cuando está en su máxima capacidad por lo que la carga radial total es de 128lb, también debemos considerar el espacio que tenemos en las uñas sostenedoras para instalar los cojinetes, por lo que se optó por seleccionar cuatro cojinetes de bolas 6201ZZC3 que soportan una carga estática individual de 300kg, esta resistencia es

suficiente para tolerar las cargas que la máquina estaría generando sobre estos elementos. En figura 3-10a se muestra el ensamble de los cojinetes mencionados anteriormente.

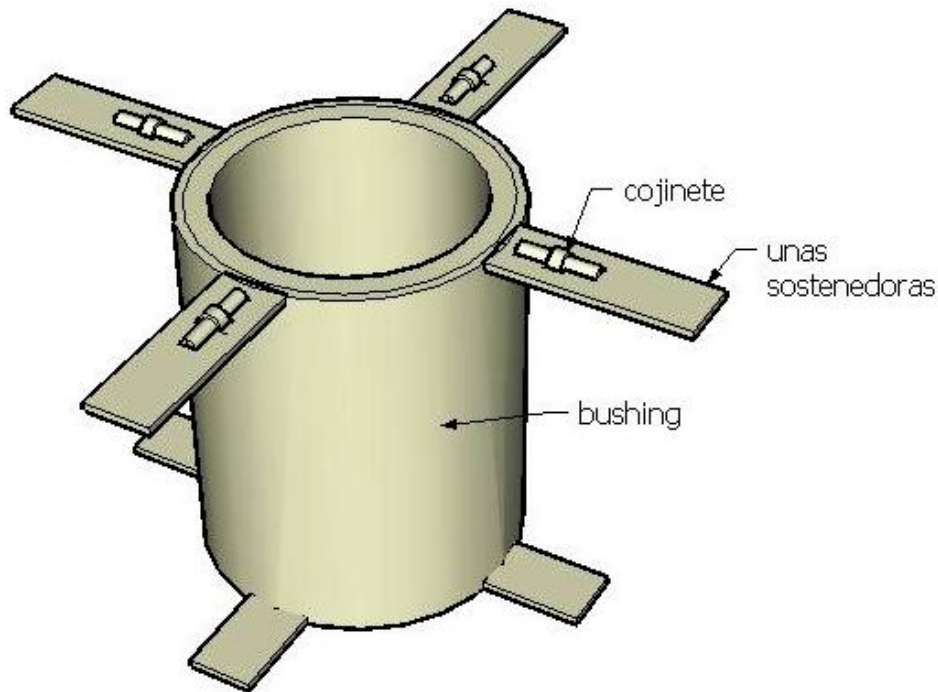


Figura 3-10, muestra la forma final que debe tener el bushing antes de ser acoplado a la estructura principal.

### 3.2.6.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL BUSHING

Las características de operación del bushing demandan un material cuyas propiedades mecánicas cumplan con los requerimientos. Para eso se escoge un ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200), ya que se encuentra fácilmente en el mercado local y además posee una alta tenacidad y una baja resistencia mecánica, por lo tanto tiene una buena soldabilidad, responde bien al trabajo en frío, por lo que se vuelve excelente para elementos de

maquinaria. A continuación se describen la todas las propiedades físicas, mecánicas y químicas.

Propiedades mecánicas:

Dureza 111 HB

Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI)

Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI)

Elongación 25%

Reducción de área 50%

Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)

Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)

Propiedades físicas:

Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

Propiedades químicas:

0.18 – 0.23 % C

0.30 – 0.60 % Mn

0.04 % P máx.

0.05 S máx.

### **3.2.6.3 ANÁLISIS DEL DESGASTE EN EL BUSHING**

Cuando el bushing y el cilindro rotor interactúan, se produce desgaste en ambas piezas debido al movimiento de rotación que experimenta el cilindro, la disposición de estos elementos se puede verificar en la figura 3-11, dadas las circunstancias es necesario mantener una lubricación adecuada para contrarrestar este fenómeno, al mantener las superficies que están interactuando separadas mediante la acción de un lubricante, se logra

evitar cualquier tipo de desgaste, también se eliminan las vibraciones, ruidos y otros problemas que se derivan de la interacción de entre las superficies de los elementos mencionados. Por lo que se ejecuta un proceso de selección de lubricante partiendo de las características más importantes de operación.

Para la selección correcta de un lubricante se deberá tomar en cuenta los siguientes criterios: la velocidad de operación, temperatura de operación, disposición geométrica de las piezas a lubricar (distancia entre piezas), carga y tipo de materiales.

El análisis se centra únicamente en las superficies de contacto del cilindro rotor con el bushing, como se muestra en la figura 3-12. Primero se debe considerar la distancia que hay entre la superficie en movimiento (cilindro rotor) y la superficie fija (bushing), que se ha establecido que es de 0.005". Con respecto a la velocidad de operación se toma en cuenta la velocidad a la salida del motorreductor sumitomo de 3hp, con eje de salida a 90° y velocidad de salida de 87RPM y con los diámetros de poleas definidos se obtendrá una velocidad de  $V = \frac{3"}{10"} \times 87Rpm = 26.1RPM$  en el cilindro rotor. La temperatura de operación esperada es mayor a 100°C, ya que las superficies que interactúan son metálicas. También el lubricante deberá tener la propiedad de mantenerse en el área de operación, ya que las piezas están en posición vertical por lo que un lubricante líquido no podría ser opción debido a que no se cuenta con un sistema de lubricación que drene o suministre el lubricante al área de operación, y un líquido por leyes físicas se derramaría en los contornos de las piezas.



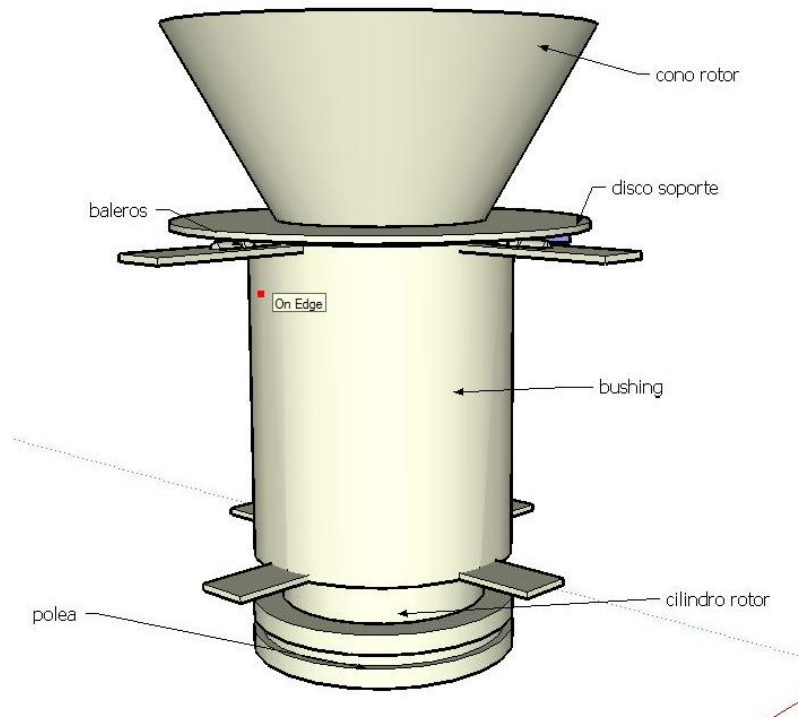


Figura 3-11, muestra los elementos que están interactuando cuando la maquina esta en operación.

Tomando en cuenta todos los datos de operación antes mencionados, podemos proceder a seleccionar un lubricante que opere bajos todas estas condiciones de operación, también al analizar las propiedades de los lubricantes que se encuentran en el mercado local, se llega a la conclusión que se debe usar un lubricante solido (grasa) de trabajo pesado y resistente a temperatura elevada, algunas de estas grasas pueden ser:

#### Grasas para altas temperaturas (HT)

Estas grasas permiten temperaturas de hasta +150°C. Contienen aditivos que mejoran la estabilidad a la oxidación. La viscosidad del aceite base es normalmente de unos 110mm<sup>2</sup>/s a 40° C, no debiéndose exceder mucho ese valor, ya que la grasas se puede volver relativamente rígida a temperatura de ambiente y provocar aumento del par de rozamiento. Su consistencia es NLGI 3.

#### Grasas de extrema presión (EP)

Normalmente una grasa EP contiene compuestos de azufre, cloro ó fósforo y en algunos casos ciertos jabones de plomo. Con ello se obtiene una mayor resistencia de película, esto es, aumenta la capacidad de carga de la película lubricante. Tales aditivos son necesarios en las grasas para velocidades muy lentas y para elementos medianos y grandes sometidos a grandes tensiones. Funcionan de manera que cuando se alcanzan temperaturas suficientemente altas en el exterior de las superficies metálicas, se produce una reacción química en esos puntos que evita la soldadura.

La viscosidad del aceite base es de unos  $175\text{mm}^2/\text{s}$  (máx.  $200\text{mm}^2/\text{s}$ ) a  $40^\circ\text{C}$ . la consistencia suele corresponder a NLGI 2. En general, las grasas EP no se deben emplear a temperaturas menores de  $-30^\circ\text{C}$  y mayores de  $+110^\circ\text{C}$ .

Conocidas estas dos tipos de grasas se puede buscar en las diferentes marcas de grasas que existen en el mercado nacional para suplir esta necesidad de la máquina.

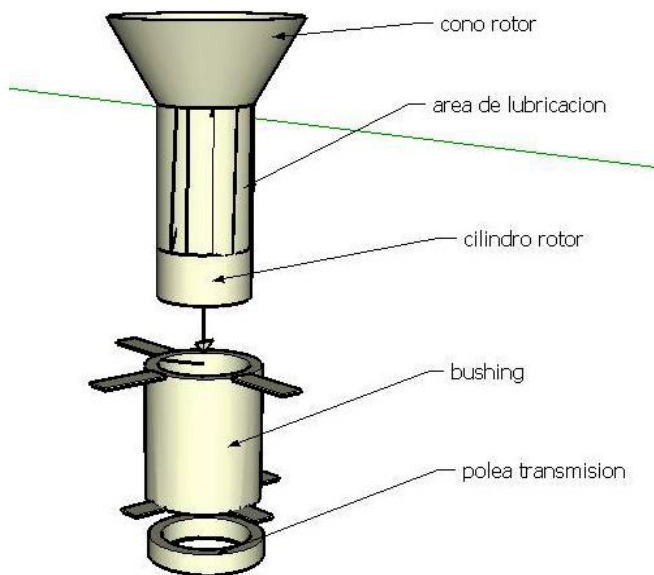


Figura 3-12, muestra el área de lubricación y el ensamble de los componentes.

Algunas de las propiedades físicas características que determinan el rendimiento de las grasas son:

## Consistencia

Es la dureza o suavidad de una grasa. También se refiere a la penetración cuando es medida con un penetrómetro ASTIVI. Cada grado de consistencia se reporta con un número NLGI. Ver tabla 3.3

Grado NLGI No.	Penetración Trabajada a °F ASTM D-217
000	445-475
00	400-430
0	355-385
1	310-340
2	265-295
3	220-250
4	175-205
5	130-160
6	085-115

Tabla 3.3

La consistencia es un factor en la facilidad con que una grasa podrá ser bombeada y fluir a través de tuberías y empalmes. La consistencia de una grasa es una indicación de si ésta se separara en servicio, se derretirá y desprenderá o requiere de gran torque en el arranque. La consistencia también afecta los requerimientos de potencia y torque de un rodamiento en movimiento. La mayoría de las especificaciones de grasa, incluyen un requerimiento de consistencia en términos del rango de penetración o número de grado NLGI.

## Sangrado o Separación

Es una tendencia común en las grasas durante su almacenamiento. El grado de separación es afectado por (1) la cantidad de espesante en la grasa; (2) la temperatura; (3) el tiempo de almacenamiento; (4) la presión, si están en un sistema de lubricación centralizado. Aunque algún sangrado puede ser normal, el exceso de separación de aceite deja la grasa remanente más pesada.

## Extrema Presión

La resistencia a la extrema presión es una propiedad esencial para las grasas usadas en maquinarias de trabajo pesado sujetas a cargas extremas o golpes. Los aditivos pueden ser incorporados para prevenir ralladuras que tendrían lugar cuando las presiones extremas rompen la película protectora de la grasa.

## Estabilidad a Altas Temperaturas

A altas temperaturas, las grasas están sometidas a la evaporación del aceite base, oxidación y cambio estructura. La estabilidad a altas temperaturas depende tanto de tiempo como de la temperatura de exposición.

## Estabilidad Mecánica

Es la resistencia de la grasa al cambio estructura, causado por el trabajo mecánico durante el servicio. Algunas grasas se ablandarán excesivamente cuando estén sometidas a la presión entre los elementos rodantes de un rodamiento anti-fricción. Algunas pocas se endurecerán durante el trabajo. En general, un rodamiento sobre lubricado es particularmente una prueba severa de la estabilidad mecánica.

## Estabilidad a la Oxidación

Es la resistencia de una grasa a los cambios químicos a través del tiempo. La oxidación de una película fina de grasa en servicio deja como resultado un residuo gomoso. Al oxidarse la grasa en almacenamiento puede ponerse rancia, costrosa y más oscura. Puede inclusive haber una separación del aceite base. Para prevenir esto las grasas de calidad contienen inhibidores de oxidación que es especialmente vital en los rodamientos sellados pre lubricados.

## Protección Anti-Corrosiva

Es sumamente importante en ambientes húmedos y especialmente durante largos períodos de parada. A pesar de que las grasas proveen una buena protección contra la corrosión bajo condiciones dinámicas, la humedad en un rodamiento ataca la superficie del metal cuando no hay movimiento. Los inhibidores de corrosión que son agregados a las grasas tienen su principal aplicación en condiciones de corrosión severa.

## Resistencia al Agua

Esta varía con los diferentes tipos de grasa. La resistencia esta determinada por la viscosidad del aceite base y tipo de espesante. Las grasas clasificadas como resistentes al agua pueden absorber de un 25% hasta un 100% de su peso en agua sin perder consistencia ni adhesividad.

### **3.2.7 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DESPULPADORA**

El sistema de transmisión debe ser capaz de proporcionar el movimiento de rotación al cono de mayor dimensión, debido a que su tamaño es bastante grande, se dispuso colocar un cilindro en la parte inferior del cono (figura 3-8) para poder adaptar un sistema de transmisión, debido al gran tamaño de estas piezas (cono y cilindro rotor) se dispuso ejecutar la transmisión por medio de un bushing, este funciona mediante la interacción de dos cilindros cuyas superficies están especialmente preparadas para evitar al máximo los efectos de la fricción. Esta forma de transmisión resulta más práctica, que al hacerla mediante cojinetes axiales debido a las dimensiones de las piezas. Entonces los cilindros que intervienen en esta operación son: el cilindro rotor que fue acoplado al cono rotor y el bushing que es una barra perforada de acero 1020, esta barra está instalada a la estructura de las máquina, ambos cilindros deberán ser acoplados con precisión para evitar des

alineamientos que provoquen mayor vibración y desgaste. En el caso del cilindro rotor la superficie externa es la superficie de contacto y para la barra acero 1020 la superficie interna es la superficie de contacto. Para hacer girar el cono y cilindro rotor, se instala una polea en un extremo del cilindro rotor para ejecutar la transmisión por medio de faja. El cilindro rotor también funciona para direccionar hacia abajo la semilla y la cascara después del despulpado. La barra de acero 1020 debe ser resistente al desgaste capaz de soportar el peso del cono y el cilindro rotor, mediante un sistema adecuado de lubricación para evitar el contacto metal-metal, de las piezas en interacción. Las dimensiones del buje o bushing son de 12" de alto, diámetro externo 9.85" y un diámetro interno de 7.76", la medida del diámetro interno está condicionado a las del diámetro externo del cilindro rotor ya que de la precisión del acoplamiento de ellos dependerá en el funcionamiento correcto de la cámara de despulpado, es por eso que se mantiene una distancia 0.005" entre las superficies de contacto del bushing y el cilindro rotor, todas las dimensiones del bushing se especifican con más precisión en los planos de manufactura. Una vez definida la base donde descansaran las piezas móviles se puede hablar del elemento que proporcionará el movimiento de rotación, este movimiento tendrá que ser lento debido a las razones antes explicadas. Para ello la opción más viable es una transmisión por faja o banda tipo v mediante poleas de aluminio para disminuir el peso del mecanismo y el motor reductor. El elemento motor consta de dos partes un motor eléctrico monofásico de baja revolución y una caja reductora de velocidad para obtener la velocidad de salida deseada. Todo lo escrito anteriormente se resume en la figura 3-13.

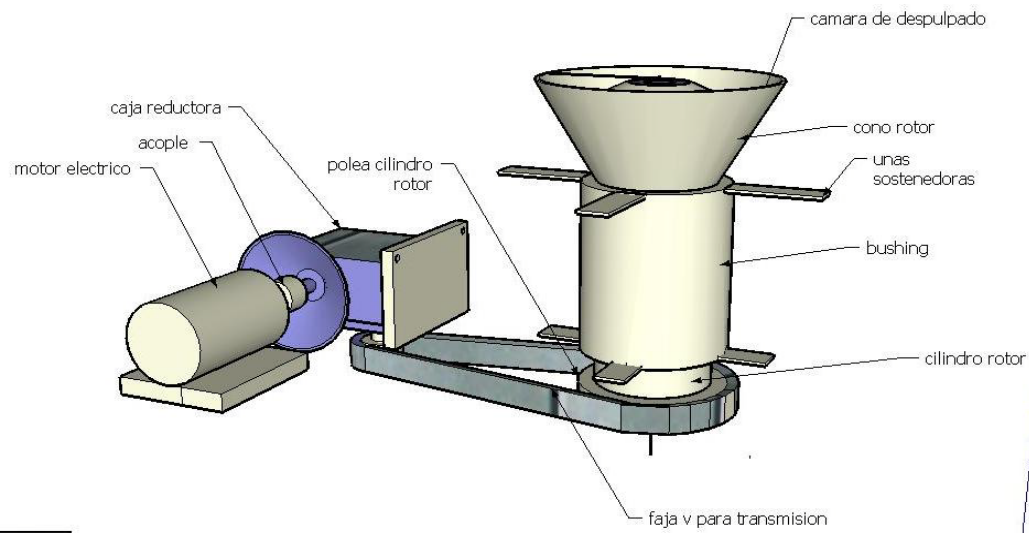


Figura 3-13 Sistema de transmisión de la despulpadora.

### 3.2.7.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para obtener la potencia de trabajo se hizo un análisis en la cámara de despulpado, primero sabemos que existen fuerzas de reacción en las cuchillas de los conos, debido a la falta de información sobre la fuerza que se necesita para cortar el fruto del tempate, se asumen fuerzas de reacción en las cuchillas para realizar los cálculos del torque de trabajo que deberá desarrollar la cámara de despulpado, también deberá considerar los pesos de los conos y las cuchillas, así como también las fuerzas debidas al rozamiento de las superficies en contacto (bushing y cilindro rotor). En la figura 3-14, se hace un esquema de las fuerzas involucradas en el trabajo de la cámara de despulpado, se incluye también una velocidad de operación que se asume, considerando situaciones en las cuales las semilla del tempate corre el riesgo de ser triturada, todos los valores de torque, fuerzas, pesos y velocidad se muestran en el esquema de la figura siguiente. Para el caso del tempate se puede ver que debido al diseño de la cámara de despulpado se tendrán que cortar 8 frutos de tempate, o sea se asume una fuerza de reacción necesaria para cortar 8 frutos de tempate  $F_{tempate} = 5lbf$ , ahora bien cuando la máquina este en funcionamiento deberá soportar el peso de todas los frutos de tempate que estén en la cámara de recepción, suponiendo que la cámara

de recepción está funcionando a su máxima capacidad esto llevara a provocar una fuerza de arrastre sobre el contorno del cono y cilindro rotor que se puede asumir de  $F_{arrastre} = 78\text{ lbf}$  ; también se puede estimar una fuerza debida a las fricción suponiendo que las superficies están debidamente lubricadas y por la naturaleza de estas y la del lubricante se espera una  $F_{friccion} = 35\text{ lbf}$ , están son las principales cargas que afectan el cono rotor y sirven para dimensionar el sistema de transmisión. También se deben definir con exactitud el tamaño del cono rotor, el cilindro rotor, la distancia entre centros del eje del motor reductor al centro del cilindro rotor, dimensiones de las poleas y el peso del cilindro rotor, cono rotor, cuchillas rotoras y las poleas. Suponiendo una velocidad nominal de 29rpm para agregar una mayor confianza en el diseño, se procede a calcular el torque que deberá ejercer el motor con plena carga.

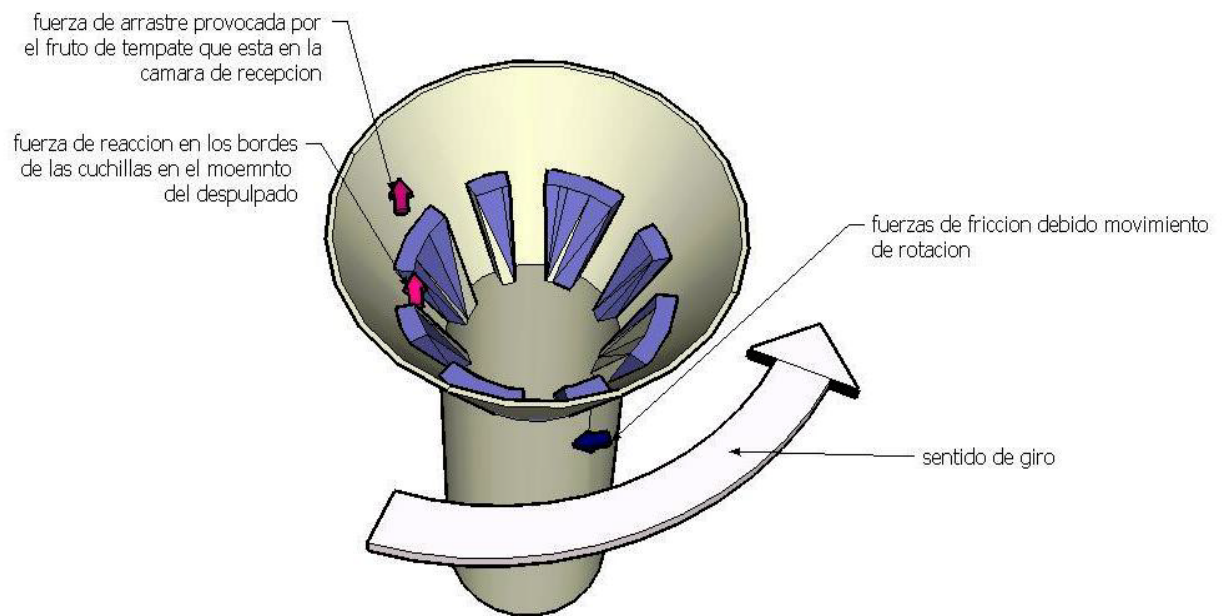


Figura 3-14, fuerzas involucradas en el trabajo de la cámara de despulpado.

De la ecuación:  $T = f \times d$  (2.1)

Donde:  $T$  torque  $lb - pulg$



$f$  Es la fuerza en lb

$d$  Distancia en pulgadas

Podemos calcular los torques que la cámara de despulpado tiene como carga de trabajo, es decir los torques que el motor deberá vencer.

$$T_{total} = T_{friccion} + T_{arrastre} + T_{tempate} \quad (2.2)$$

$T_{friccion}$ :

Este momento torsor se origina en los contornos del cilindro rotor, debido al rozamiento, por lo que se hace un análisis con una fuerza equivalente de rozamiento, mencionado anteriormente y la distancia se obtiene de las dimensiones del cilindro rotor (Figura 2-8) que tiene un radio de 3.875” con lo que con la ecuación 2.1:

$$T_{friccion} = f \times d = F_{friccion} \times r = 35lbf \times 3.875 \text{ pulg}$$

$$T_{friccion} = 135.63lb - \text{pulg}$$

$T_{arrastre}$ :

En este caso se supone que la cámara de recepción esta a plena carga, como se conoce el número de frutos que la cámara puede almacenar y el peso total de todos estos frutos se obtiene una fuerza denominada de arrastre de  $F_{arrastre} = 78lbf$ , se prevé que este peso está actuando en los contornos de la parte superior del cilindro rotor, y conocidas las dimensiones de dicho cilindro, el radio medio de acción de la fuerza es 6.8”, y de la ecuación 2.2 se tiene:

$$T_{arrastre} = F_{arrastre} \times r_{medio} = 78lbf \times 6.8 \text{ pulg}$$

$$T_{arrastrre} = 530.4 \text{ lb} - \text{pulg}$$

*T<sub>tempate</sub>*:

Es el momento más pequeño de todos los momentos que intervienen en la operación, pero también es el más importante ya que es el que realiza el objetivo final que es despulpar. El origen de esta fuerza se da en el momento en que las cuchillas del cono fijo y el cono rotor, entran en contacto con la frutos de tempate, aunque estas fuerzas son intermitentes se consideran como constantes ya que con el movimiento de rotación se presenta en repetidas ocasiones en una revolución, se establece un valor de  $F_{tempate} = 5\text{ lbf}$ , aunque el valor puede parecer elevado, se hace con el fin de solventar algunos problemas propios de la cámara de despulpado, el radio de acción se supone que esta en la mitad de los bordes de las cuchillas del cono rotor por lo que se supone de  $r_{medio} = 3.84$  aplicando la ecuación 1.3 tenemos:

$$T_{tempate} = F_{tempate} \times r_{medio} = 5\text{ lbf} \times 3.84$$

$$T_{tempate} = 19.2\text{ lb} - \text{pulg}$$

Para concluir los resultados anteriores se aglomeran en el momento total que es el requerimiento total que requiere la máquina, es la demanda de potencia que deberá suplir el equipo de transmisión. De la ecuación 1.4:

$$T_{total} = T_{friccion} + T_{arrastrre} + T_{tempate} = 135.63 + 530.4 + 19.2$$

$$T_{total} = 685.23 \text{ lb} - \text{pulg}$$

Con la velocidad de operación supuesta de 29RPM, se puede encontrar la potencia en Hp que la máquina necesitará, usando la ecuación:

$$P_{ot} = \frac{T_{total} \times \omega}{63,000} \quad (2.3)$$

Donde:

$P_{ot}$ , Potencia (Hp)

$\omega$ , Velocidad angular en RPM

$T_{total}$ , El torque total requerido en lb-pulgada

63,000; constante debido a la conversión de unidades

Mediante la ecuación 2.3 podemos determinar la potencia en unidades Hp que requiere la máquina:

$$P_{ot} = \frac{685.23 \times 29}{63,000}$$

$$P_{ot} = 0.31Hp \quad 0.31 \text{ Hp}$$

Esta es la potencia requerida por el sistema, ahora que se conoce esta potencia se puede buscar los elementos que cumplan las condiciones de operación en el mercado, suponiendo que la faja de transmisión tenga una eficiencia del 90% se debe tener en el eje de la salida del reductor una potencia de 0.4Hp, y una velocidad de salida en eje del motor reductor de 87RPM, también se sabe que las poleas tienen un diámetro medio 10”(en la despulpadora) y 3”(eje de salida del reductor) respectivamente, se espera una velocidad de 26.1RPM en la cámara de despulpado.

### 3.2.8 CAPACIDAD TEÓRICA DE LA MAQUINA

Como se estableció el diseño y las dimensiones de la cámara de despulpado, se puede establecer una capacidad teórica ideal de la máquina, ya que la velocidad de operación de la cámara es 26.1RPM, y la cámara permite el ingreso de 8 frutos de tempate, cuando las cuchillas estén alineadas y este alineamiento ocurre en 8 ocasiones en una revolución, o sea 64 frutos por revolución. La capacidad de la máquina queda a  $64 \times 26.1 = 1,670.4$  fruto/min. Expresada en otras unidades:

100,224 frutos de tempate por hora

Cada fruto de tempate posee 3 semillas

300,672 semillas de tempate por hora

1,000 semillas de tempate equivalen a 500g

Producción final teórica: **3.3 quintal de semilla/hora**

### **3.2.9 SELECCIÓN DE EQUIPOS**

Para la selección de los equipos se usan los cálculos efectuados en el dimensionamiento del sistema de transmisión, todas las principales características de operación fueron definidas, dichas características son: la velocidad de operación de la cámara, potencia de operación, disposición de las piezas. Habiendo consultado los dispositivos que existen en el mercado nacional y otro país vecino, los equipos con las características exactas no pudieron ser encontrados, por lo que se llegó a seleccionar un equipo con características cercanas a los calculados. El reductor seleccionado entonces es de marca sumitomo que tiene las siguientes características:

#### **Reductor de velocidad**

Marca: Sumitomo

Potencia: 3Hp

Eje de salida: 90°

Relación de velocidad: 40-1

## **Motor**

Marca: Leeson

Potencia: 2Hp

Velocidad: 1,700RPM (baja revolución)

Alimentación: monofásico

### **3.2.10 SELECCIÓN FAJA DESPULPADORA**

Para seleccionar la faja en V de la despulpadora se toman como referencia los siguientes datos:

Distancia entre de centros (de la polea del reductor a la polea del despulpador):  $D = 21.08''$

Diámetros de las poleas:  $\emptyset$  reductor = 4''

$\emptyset$  despulpador = 10''

Velocidad de operación:  $\omega = 29$ RPM

Potencia de operación:  $P_{ot} = 2$ Hp

Tipo de servicio: maquinaria agrícola por lo que el factor de servicio  $F_s = 1.4$  (de tablas)

Con el factor de servicio obtenemos la nueva potencia (potencia de diseño) para seleccionar la faja, esto es para prevenir fallas en la operación debidas a los golpes en la puesta en marcha y vibraciones por las características de las máquinas. Por lo que la potencia de diseño ( $P_{diseño}$ ) queda:

$$P_{diseño} = P_{ot} * F_s = 2\text{Hp} * 1.4 = 2.8 \text{ Hp}$$

Conociendo la  $P_{diseño} = 2.8Hp$  y la velocidad de operación  $\omega = 29RPM$  mediante tablas, se selecciona el tipo de faja, llegando a la conclusión que en este caso, se debe usar una faja tipo A, ver tabla 3.4.

**Gráfico de selección del perfil de correa**

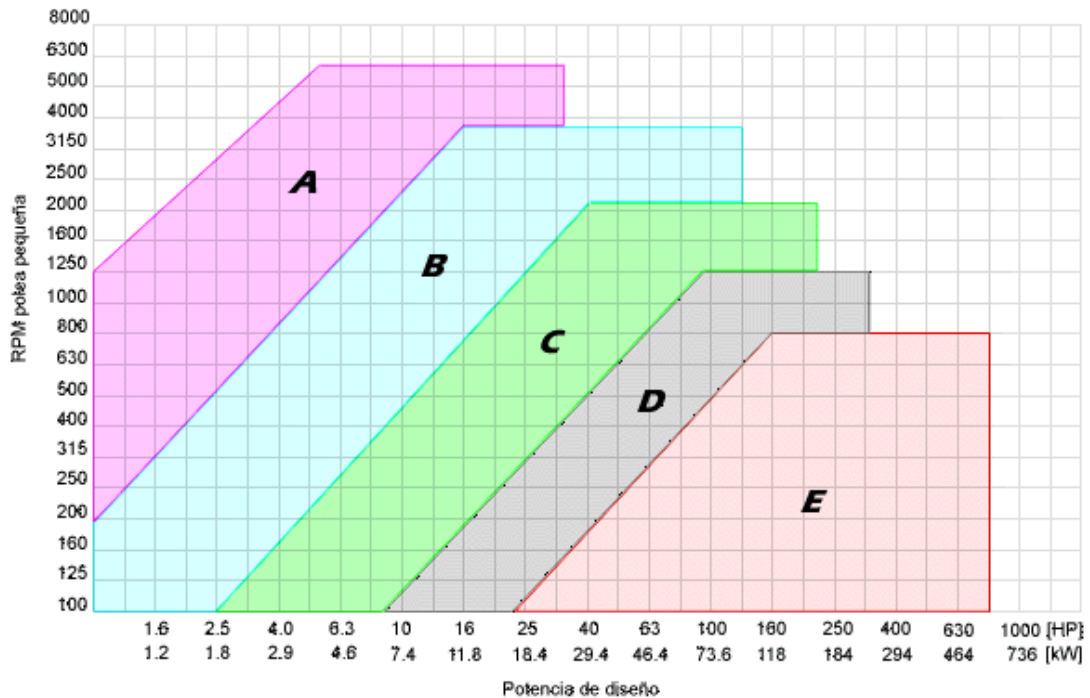


Tabla 3.4 tabla para selección tipo de faja

Luego se procede a calcular la longitud de la faja considerando los datos siguientes: los radios de las poleas y datos de montaje como lo es la distancia entre centros y la distancia en el punto de contacto de la fajas con la poleas como se muestra en la figura 2-15. Aplicando la ecuación 2.4, los datos se obtienen a partir de la figura 3-15. El valor de A se determina gráficamente aunque también se puede determinar por ecuaciones.

$$L = 2A + \pi(R2 + R5) + 2(\alpha)(R5 - R2) \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

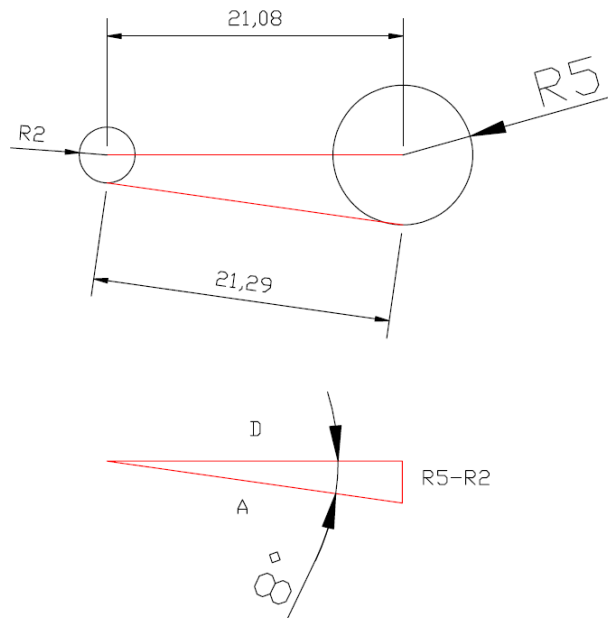
Donde:

A: distancia entre centros en pulgadas

R2: radio polea pequeña en pulgadas

R5: radio polea grande en pulgadas

$\alpha$  : es el ángulo de la contacto de la faja expresado en radianes



cotas en pulgadas

Figura 3-15 datos obtenidos para selección de la banda

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.4, se encuentra la longitud de la banda en pulgadas:

$$L = 2(21.29) + \pi(2 + 5) + 2\left(8 \times \frac{\pi}{180}\right)(5 - 2) = 65''$$

Conclusión: se selecciona una faja perfil A, de 65'' de longitud y un paso en pulgadas para que pueda ser acoplada sin problemas a las poleas.

### **3.2.11 SISTEMA DE SOPORTE Y REGULACIÓN DEL CONO FIJO**

Para sostener y desplazar el cono fijo se necesita de un mecanismo que permita realizar estas operaciones, por lo que se ha diseñado una estructura que permita realizar dichas tareas. El análisis de esfuerzos de este mecanismo se concentra en el bushing roscado, en ese punto se acopla el cono fijo, vástago y las cuchillas del cono fijo a la estructura de la máquina. Básicamente consta de una red de tubos estructurales de 2" soldados al bushing roscado ver figura -16, se observan los principales componentes y la forma física del sistema de soporte y regulación. La manera de acoplarse del sistema a la estructura de la máquina es mediante pernos, este sistema debe ser capaz soportar su propio peso y el peso de los demás componentes que la conforman. El material del bushing roscado es acero 1020 y cuenta con un roscado fino en la superficie interna esta rosca es la que permite que el vástago se desplace a través del bushing. El cono fijo debe tener cero desplazamientos en el plano horizontal y cierto grado de libertad del movimiento en el plano vertical. El cono fijo es de acero inoxidable AISI 304 cuyas propiedades se pudieron observar en los apartados anteriores. El vástago es una barra sólida de acero inoxidable de 2", esta barra tiene una rosca externa en un extremo para ser acoplada al bushing roscado, el vástago debe soportar los esfuerzos de tracción, flexión y ataques corrosivos, provocados por las condiciones de operación de la máquina. El vástago se acopla también en otro de sus extremos al cono fijo, este acople es mediante soldadura. La regulación se refiere al desplazamiento vertical del vástago y el cono, el cual tiene relación con el movimiento de rotación de la rosca, ya que la distancia de avance vertical se relaciona con el paso de la rosca del bushing.



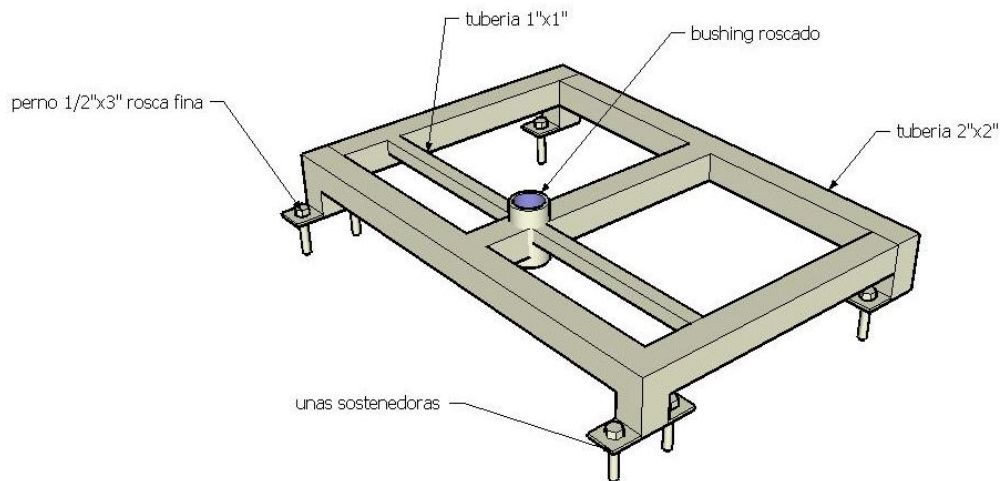


Figura 3-16 sistema de soporte y regulación del cono fijo.

Para el desplazamiento del cono fijo se relaciona con el tipo de rosca que el bushing y el vástago poseen, al medir el avance o la distancia vertical que el vástago puede completar en una vuelta o revolución de la rosca se tiene que: para 1 revolución de la rosca el avance es de 0.0625", esto debido al paso tipo de rosca que fue tallado en las piezas.

En la figura 3-17 observamos el cono fijo con su vástago y otros accesorios que sirven para complementar la operación del sistema. La manija reguladora es de acero inoxidable está fabricada de lámina de acero inoxidable AISI 304, esta manija se encuentra graduada para establecer la distancia a la cual se desea operar el cono fijo en el despulpado, esta manija se acopla mediante un perno prisionero al vástago, esta ajuste la fija y permite el manejo de esta.

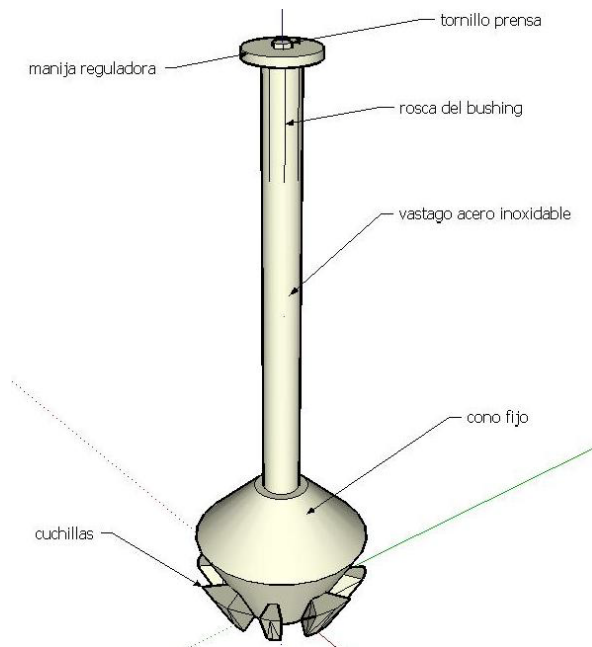


Figura 3-17 cono fijo con su vástago y otros accesorios que sirven para complementar la operación del sistema.

### 3.2.12 DIMENSIONAMIENTO CÁMARA RECEPTORA

Para dimensionar la cámara receptora, se requirió calcular cuánto tiempo resulta razonable estar cargando la máquina con tempate, es decir que tiempo tarda la cámara de despulpado en procesar un número  $x$  de frutos. Por tal razón se dispuso a construir una cámara receptora que pueda almacenar una buena cantidad de frutos, para evitar estar cargando la máquina de tempate en tiempos cortos. Pero la cámara de receptora alimenta directamente a la cámara de despulpado, por lo que hay que direccionar el fruto hacia la cámara de despulpado, para lograr esto se dispone colocar un cono en la parte inferior de la cámara receptora y este se encuentra justo antes del cono rotor, de tal forma que el fruto pasa de un cono a otro. Para tener mayor capacidad de almacenamiento se coloca un cilindro en la parte superior de la cámara receptora, con el fin de cargar la máquina y esperar un tiempo prudente para que este procese los tempates que están en la cámara receptora antes de volver a cargar la máquina. La cámara de despulpado consiste en un cilindro y un cono,

ambos de acero inoxidable, estos se anclan mediante pernos a la estructura principal de la máquina.

A continuación se presentan las características físicas, en la figura 3-18 se aprecian las dimensiones tanto del cilindro receptor como el cono rotor, se observan también las uñas en ambos elementos, en el cilindro rotor solamente posee uñas en la parte superior.

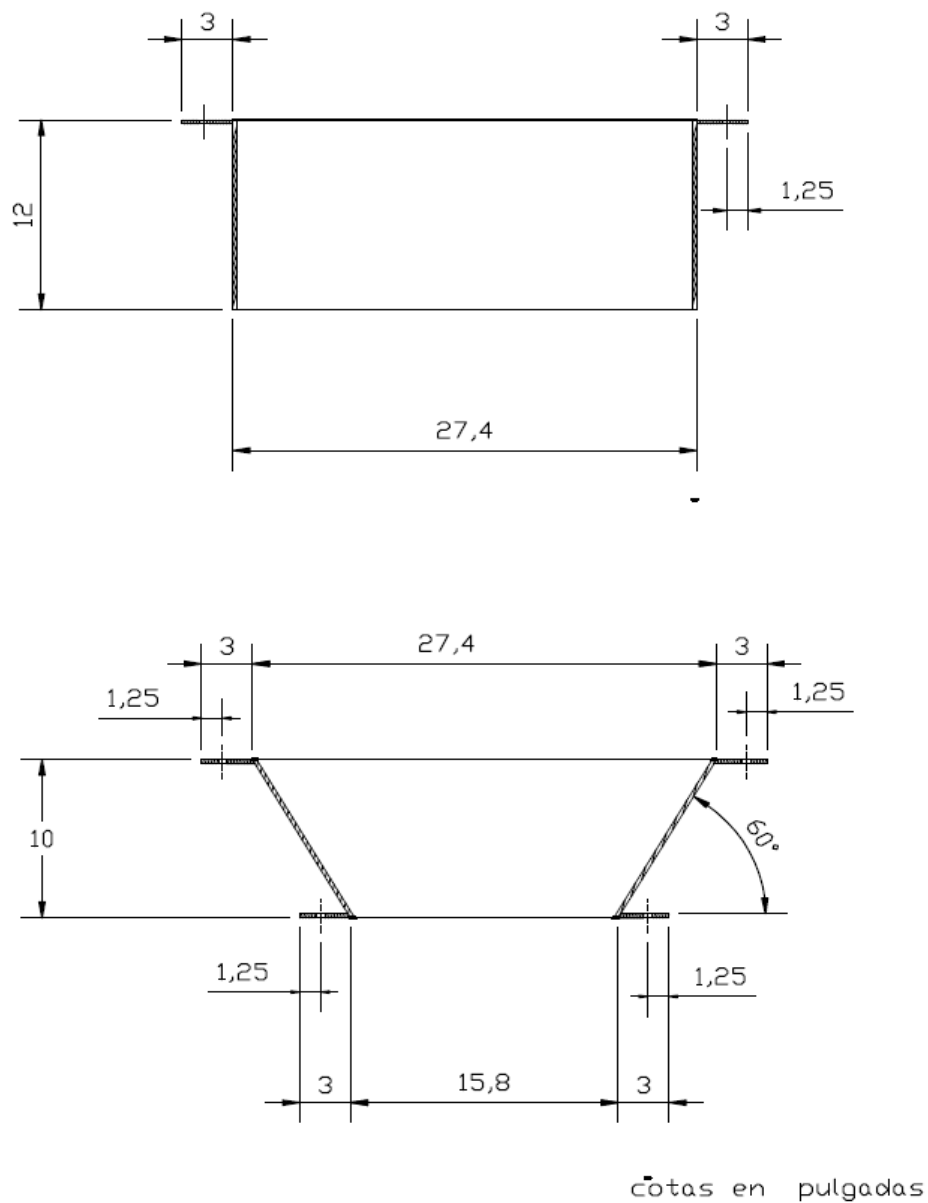


Figura 3-18 dimensionamiento de cámara receptora.

De la figura anterior se determina: el volumen, peso, capacidad de almacenaje de la cámara despulpadora también el tiempo que tarda la cámara despulpadora en procesar el volumen de fruto que la cámara despulpadora puede almacenar, en la tabla 3.5 se observan los datos calculados mediante las dimensiones de los elementos de la cámara de despulpado.

Elemento	Peso (lb)	Volumen (pulg <sup>3</sup> )	Capacidad(frutos)	Material
Cono receptor	54	3638	2274	Acero AISI 304
Cilindro receptor	68	7075	4422	Acero AISI 304

Tabla 3.5

La capacidad viene dada por:  $\frac{V_{elemento}}{V_{fruto}}$

El volumen del fruto se obtuvo de los capítulos anteriores  $V_{fruto} = 1.6 \text{ pulg}^3$

Luego al sumar la capacidad de ambos elementos se obtiene la capacidad total:

$$capacidad_{total} = 6,696 \text{ frutos}$$

Ahora el tiempo que tarda la despulpadora en procesar la capacidad total de la cámara receptora:

$$t = \frac{capacidad_{total}}{capacidad_{maquina}} = \frac{6,696 \text{ frutos}}{1,856 \text{ frutos/min}} = 3.61 \text{ min.}$$

### 3.2.13 DISEÑO ESTRUCTURA

Este elemento será el encargado de soportar todo el peso de los elementos de la máquina y a la vez soportar las condiciones de operación, para ello se utilizará un material que cumpla con eficiencia todos los requerimientos demandados por la máquina, por lo cual se utilizará una red de tubería cuadrada 2" chapa 16 capaz de resistir el peso y las vibraciones ocasionadas por la máquina. Las dimensiones de la estructura obedecen a la forma y tamaño de las piezas que en ella serán acopladas, teniendo una altura de 2.5m aproximadamente, el diseño de dicha estructura pretende hacer que la máquina sea de fácil ensamblaje, por lo que todos los elementos están sujetos a la estructura mediante pernos. El peso promedio que debe soportar dicha estructura 385lb, más su propio peso que es 235lb aproximadamente. Todos estos pesos son concentrados en el centro de la estructura, con el fin de evitar inestabilidad en la máquina, para asegurara que la máquina no pierda el equilibrio durante la operación y se accidente, aunque esta situación se podría evitar anclando la máquina. La estructura fue conformada por medio de un proceso de corte de la tubería y la unión mediante soldadura de todas estas piezas cortadas, hasta alcanzar las medidas requeridas. En la figura 3-19 se aprecian las características físicas de la estructura en la etapa de despulpado.

La estructura de la etapa de despulpado está anclada mediante pernos a la estructura de la etapa de separación, con el fin de facilitar el transporte de estas. La estructura incluye una mesa para instalar el motor y la caja reductora del separador.

Tanto la bandeja receptora de semilla-cáscara como la bandeja de cáscara está dispuesta en la estructura de tal forma que van bajo presión por medio de ganchos que encajan en la tubería de 2" que conforma la estructura.

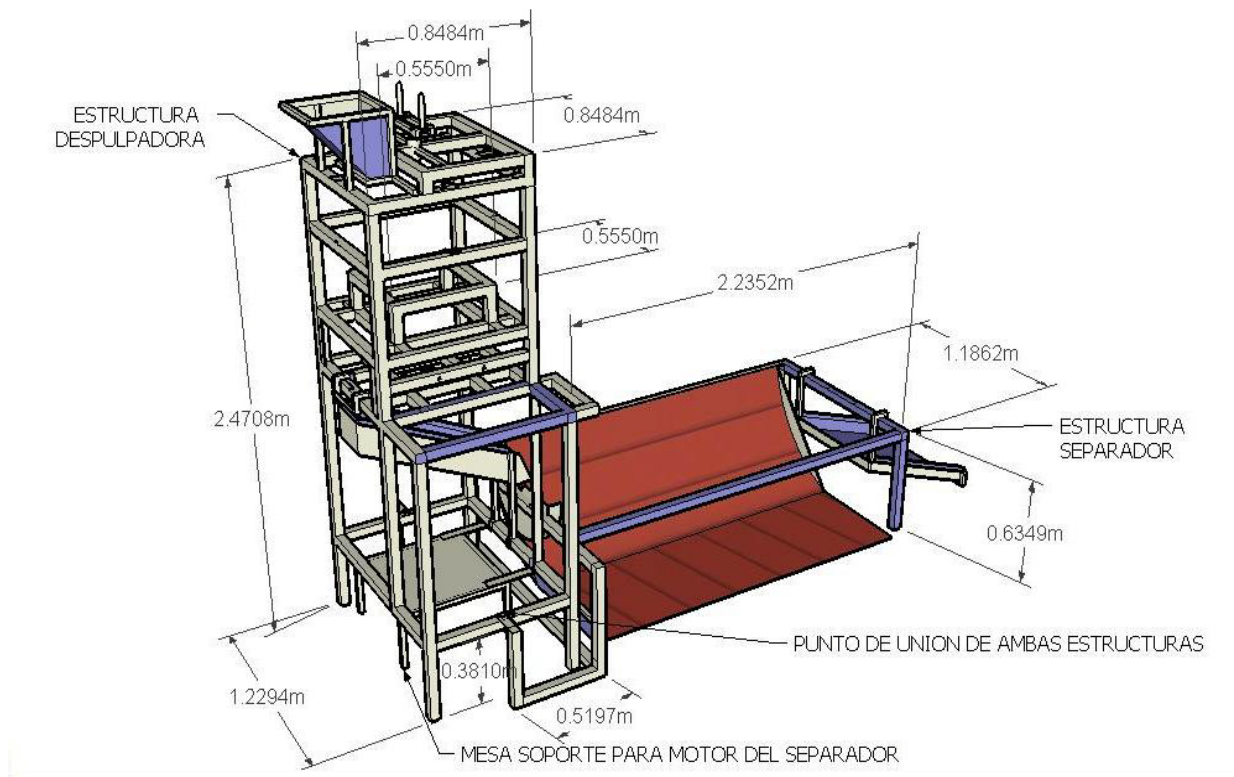


Figura 3-19 vista general del diseño de la estructura.

### 3.3 DISEÑO DEL SEPARADOR

El separador es la segunda etapa de la máquina, consiste en clasificar o separar la semilla de la cáscara inmediatamente después del despulpado, esta conformado por una especie tómbola giratoria, que tiene en sus contornos una tela metálica (zaranda) que permite el paso de la semilla a través de la tela. Los elementos principales en esta etapa son: eje, cojinetes, tela metálica, llantas, sistema de transmisión, sistema eléctrico entre otros. El análisis de diseño en esta etapa también tiene su origen en las variables de diseño que son dadas por el fruto de tempate, por lo que seleccionaremos en base a estos datos los elementos del separador.

### 3.3.1 TELA METÁLICA

La tela metálica se selecciona tomando en cuenta las dimensiones de la semilla de tempate, de tal forma que la semilla pueda atravesar la tela fácilmente, mientras la cáscara queda obstruida dentro del separador, esto se debe a que en el proceso de despulpado la cáscara se expande debido la acción de corte que se hace en la cáscara. Ahora se sabe que las dimensiones de una semilla de tempate son las siguientes: longitud 0.8" y diámetro 0.4", se debe seleccionar una tela metálica cuyas dimensiones permitan el paso de la semilla, por lo que la tela seleccionada es la zaranda 2x2, lo que significa que tiene 2 agujeros por pulgada o también 4 agujeros por pulgada cuadrada, esta dimensión es suficiente para que la semilla pueda atravesar esta tela. Con la tela se pretende formar un cilindro de 12" de radio y una longitud de 87", que sería la capacidad de almacenamiento del separador.

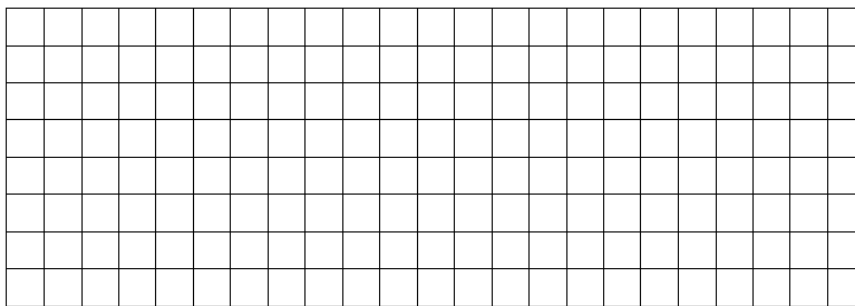


Figura 3-20 tela metálica

### 3.3.2 LLANTAS

Las llantas son ruedas acopladas al eje del separador y a la vez están ancladas a la tela metálica, esto permite el movimiento de rotación en conjunto de estos elementos para facilitar la separación de la semilla de la cáscara. Estos elementos son fabricados con platina de hierro de 1/8"x2" en el contorno para forma una llanta de radio de 12" y se

refuerza con hierro liso de 1/2" en el centro para hacer el acople al eje por medio de un buje ver figura 3-21.

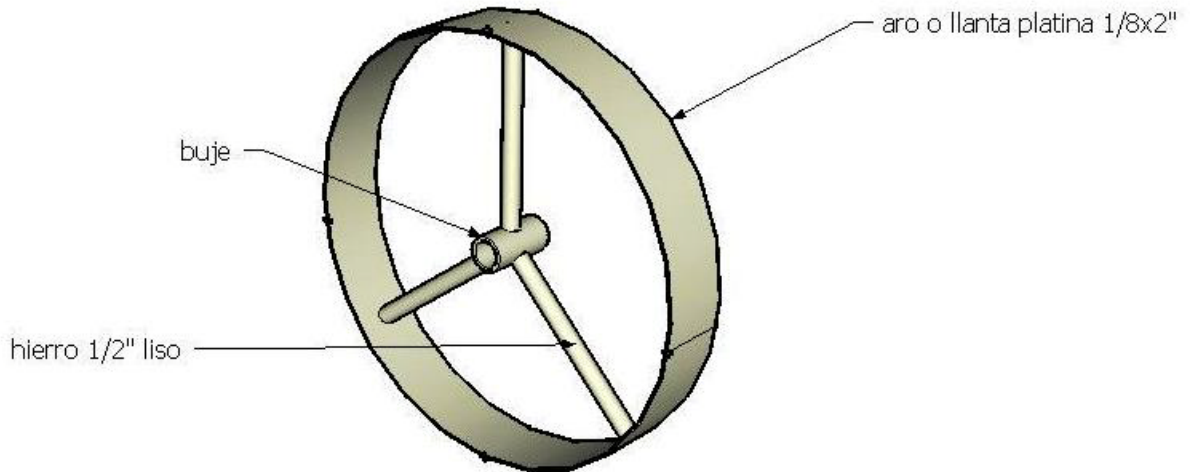


Figura 3-21 llantas radio de 12" para acoplar al eje

### 3.3.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SEPARADOR

Al igual que en la etapa de despulpado es necesario diseñar un sistema de transmisión para el separador, primero se hablará de la velocidad de operación de esta etapa y se verá que es necesario utilizar una velocidad parecida a la del despulpador ya que no se requiere de altas velocidades para ejecutar el proceso, a parte que la estructura del separador no esta diseñada para velocidades de gran magnitud, por lo que se hace uso de un motor reductor para lograr la velocidad deseada. El sistema de transmisión lo constituyen los siguientes elementos: faja en V, poleas, motor eléctrico, motor reductor y los cojinetes ver figura 3-22. Se debe hacer un proceso de selección para cada uno de estos elementos en basa a las condiciones de operación de cada cual dichos procesos se describen a continuación.



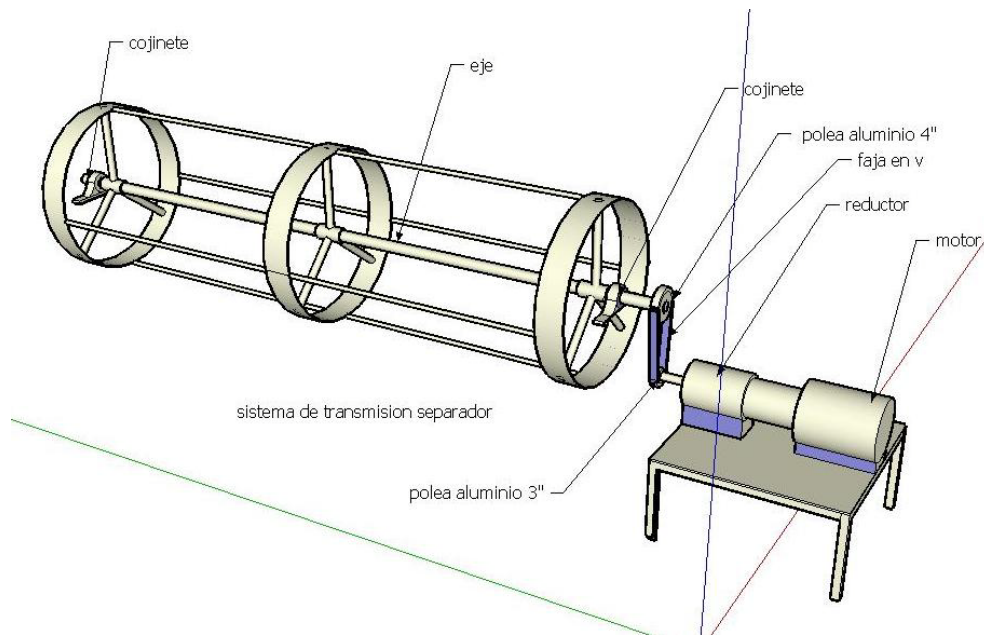


Figura 3-22 sistema de transmisión del separador.

### 3.3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para establecer el tamaño del motor y el motor reductor a utilizar se necesita primero establecer las condiciones de carga en el sistema y las magnitudes de estas para después seleccionar los elementos adecuados para realizar el trabajo, para ello se debe centrar el análisis en el eje del separador que es elemento que estará soportando todas las cargas en el proceso de separado, en la figura 3-23 se presenta el esquema de cargas involucradas en el proceso.

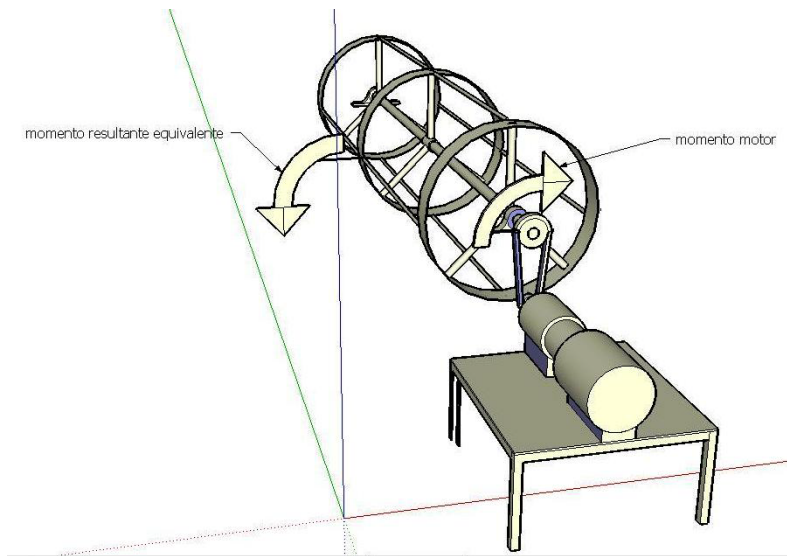


Figura 3-23 dimensionamiento del sistema de transmisión.

En la figura 3-23 se aprecian el sistema de cargas involucradas en la operación del separador, el momento motor se refiere al momento que deberá superar el sistema de transmisión para que el separador pueda operar. Por su parte al momento resultante equivalente se le atribuyen todas las cargas que el momento motor debe ser capaz de superar, entre ellas tenemos: el peso propio de los elementos (eje, llantas, poleas etc.), el peso de la mezcla cáscara-semilla suponiendo que el separador está a plena carga, la fricción que se pudiera generar en los cojinetes y las inercias de las masas involucradas. Por lo que haciendo un resumen de cálculo de todas las cargas antes mencionadas y multiplicando la carga por la distancia de acción de la fuerza hacia el centro del eje, se tiene que el momento resultante equivalente es igual a 516lb-pulg. Ahora bien se sabe que la velocidad de operación del separador es de 30RPM y mediante el uso de la ecuación 2.3 se puede encontrar la potencia que el sistema motor deberá suministrar:

$$P_{ot} = \frac{516 \times 30}{63,000} = 0.25\text{Hp}$$

Por lo que la potencia en la polea de entrada del separador es de 0.25Hp, suponiendo una eficiencia de 90% en la faja de transmisión se debe suministrar una potencia de 0.27Hp a la salida del reductor de velocidad. Con los datos anteriores se puede entonces seleccionar los equipos que podrán cumplir con las exigencias de potencia demandadas por el separador.

Se debe mencionar que algunos de los datos de las cargas fueron supuestos y otros datos son apegados a los datos reales.

Por lo que para el separador se necesita un motor eléctrico monofásico de baja revolución con una potencia mayor a 0.5Hp para suplir las exigencias de las cargas, también el reductor de velocidad debe tener una relación de velocidad tal que al eje de salida produzca una velocidad de 40RPM y una potencia mayor o igual a 0.5Hp.

Al tener las características antes mencionadas podemos entonces buscar en el mercado local los elementos que cumplan dichas características, llegando a encontrar los siguientes elementos:

Reductor

Marca: Sumitomo

Potencia: 1Hp

Eje de salida: 180°

Relación de velocidad: 44-1

Motor

Marca: Leeson

Potencia: 2Hp

Velocidad: 1700RPM (baja revolución)

Alimentación: monofásico

### 3.3.5 DISEÑO DEL EJE DEL SEPARADOR

Este elemento es importante en el funcionamiento del separador y aunque las cargas no son de gran magnitud se debe hacer un análisis para asegurar la correcta operación de este en la máquina. En primer lugar se trata de distribuir la carga uniformemente a lo largo de todo el eje y se trata de evitar a toda costa los concentradores de esfuerzos siendo el único concentrador el cuñero de la polea para la transmisión. Para diseñar el eje se hace un esquema de las cargas involucradas en la operación de ahí se hace un análisis de cálculo para determinar los esfuerzos involucrados y así determinar que las dimensiones del eje sean las correctas. Se comienza por elegir el material y se asumirá que se usa un acero 1020 ya que es económico y todos los aceros tienen el mismo modulo elástico es confiable para la operación.

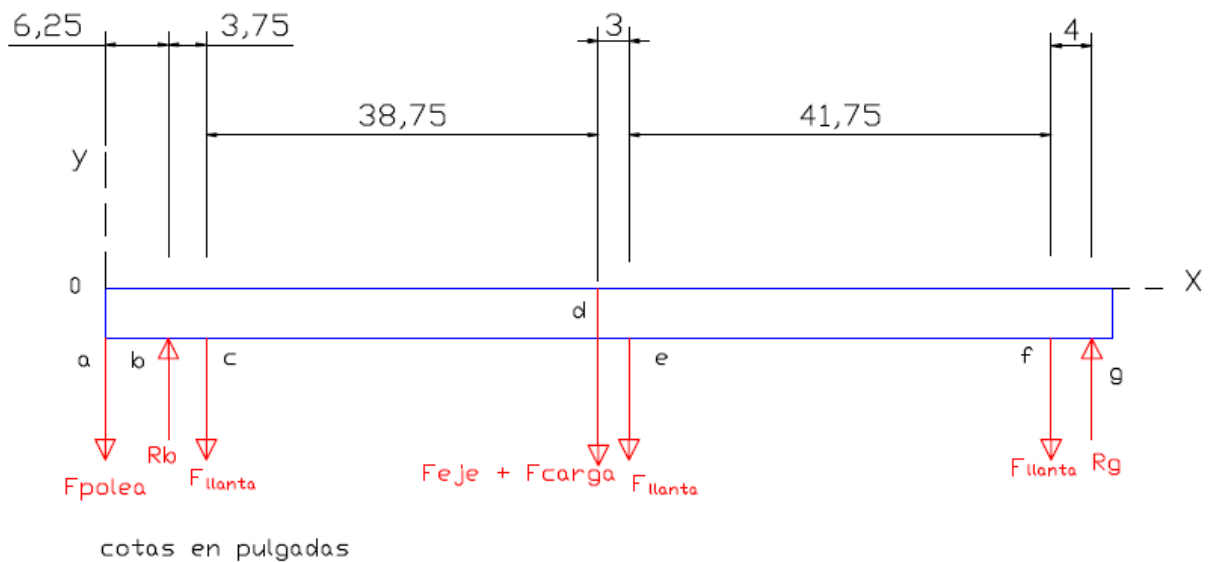


Figura 3-24 esquema para el diseño del eje del separador

El diámetro del eje es de 1" y la longitud total es de 99.5", en la figura 2-24 se muestran las cargas o fuerzas consideradas en la operación del eje o es decir se muestra un diagrama de cuerpo libre del eje, se presenta dos fuerzas de reacción  $R_b$  y  $R_g$  que son las atribuidas a los cojinetes que se soportan todas las cargas, las otras cargas que se consideran son:

$F_{polea}$ : es la fuerza de tensión que siente el eje debido a la faja en el momento de la transmisión.

$F_{llanta} = 10lb$ , es la fuerza provocada por el peso de las llantas que conforman el separador.

$F_{eje} = 26lb$ , es la fuerza por el peso del eje.

$F_{carga} = 76lb$ , Se refiere al peso de la mezcla semilla-cáscara en el separador.

Para encontrar el valor de la fuerza que ejerce la faja sobre el eje usamos la ecuación 2.5:

$$F_{polea} = \frac{2T_{polea}}{\phi_{polea}} \quad (2.5)$$

Donde:  $T_{polea}$ : **torque de la polea en lb – pulg**

$\phi_{polea}$ : **diametro de la polea en pulg.**

$$F_{polea} = \frac{2T_{polea}}{\phi_{polea}} = \frac{2 \times 516lb-pulg}{4pulg} = 258lb$$

Para encontrar las reacciones en los puntos b y g según la figura 3-24 mediante equilibrio estático.

$$\curvearrowright \sum M_b = 0; R_g = 46lb$$

$$\uparrow \sum F_y = 0; R_b = 344lb$$

Una vez conocidas las magnitudes de las fuerzas que están interactuando se elaboran los diagramas de fuerza y momento ver figura 3-25, para encontrar los puntos más críticos y poder calcular el diámetro mínimo crítico que el eje puede soportar con las cargas de operación:

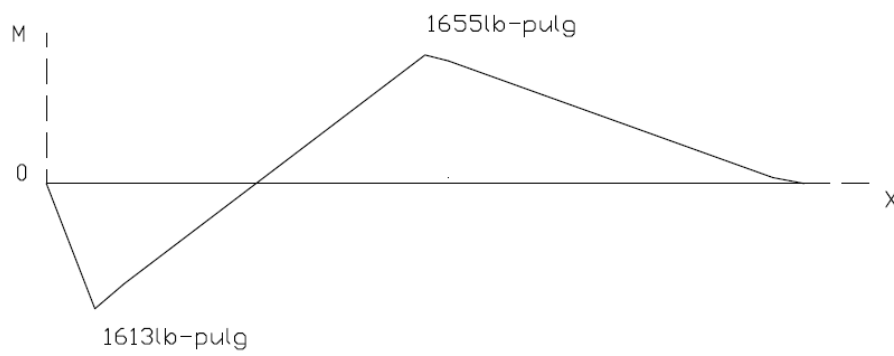
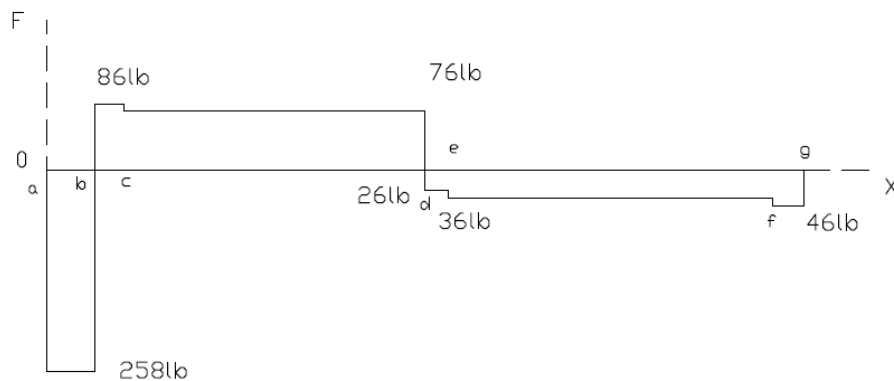


Figura 3-25 diagramas de fuerza y momento del eje.

Como se observa en la figura anterior obtienen los dos momentos máximos fluctuantes que experimentara el eje durante el funcionamiento, obtenidos estos datos se puede calcular el diámetro mínimo requerido por el eje para su dimensión. Considerando un factor de seguridad  $n=1.2$  se puede usar la ecuación 2.6 para calcular el diámetro, tomando en cuenta únicamente cargas estáticas:

$$d = \left[ \frac{32n}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad (2.6)$$

Donde:

***M***; momento flector máximo en lb – pulg.

***T***; momento cortante máximo en lb – pulg.

***S<sub>y</sub>***; resistencia de fluencia en Kpsi.

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.6 el diámetro mínimo seguro del eje es:

$$d = \left[ \frac{32(1.2)}{\pi(55.1Kpsi)} ((1,655lb - pul)^2 + (1,613lb - pulg)^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 0.8 \text{ pulg.}$$

Por lo que el diámetro de 1" del eje cumple con los requerimientos de dimensión para soportar los esfuerzos.

### 3.3.6 SELECCIÓN DE FAJA DEL SEPARADOR

Al igual que en el despulpador para el separador también se selecciona una faja en v que cumpla con los requerimientos de operación del sistema de transmisión del separador. Con lo que también se siguen los pasos que se vieron en el despulpador, los datos son los siguientes:

Distancia entre de centros (de la polea del reductor a la polea del despulpador):

$$D = 9.75''$$

Diámetros de las poleas:  $\emptyset$  reductor = 4''

$$\emptyset \text{ despulpador} = 10''$$

Velocidad de operación:  $\omega = 30\text{RPM}$

Potencia de operación:  $P_{ot} = 2\text{Hp}$

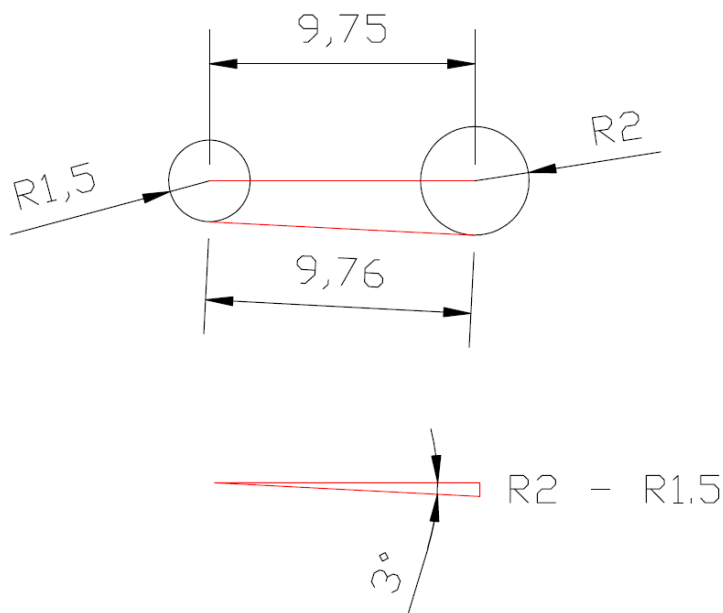
Tipo de servicio: maquinaria agrícola por lo que el factor de servicio  $F_s = 1.4$  (de tablas)

$$P_{diseño} = P_{ot} * F_s = 2\text{Hp} * 1.4 = 2.8 \text{ Hp}$$

Conociendo la  $P_{diseño} = 2.8\text{Hp}$  y la velocidad de operación  $\omega = 30\text{RPM}$  mediante tablas, seleccionamos el tipo de faja, llegando a la conclusión que en nuestro caso, se debe usar una faja tipo A, ver tabla 3.4.

Luego se procede a calcular la longitud de la faja considerando los datos siguientes: los radios de las poleas y datos de montaje como lo es la distancia entre centros y la distancia en el punto de contacto de la fajas con la poleas como se muestra en la figura 3-26. Aplicando la ecuación 2.4, los datos se obtienen a partir de la misma figura. El valor de A se determina gráficamente aunque también se puede determinar por ecuaciones.

$$L = 2A + \pi(R2 + R1.5) + 2(\alpha)(R2 - R1.5) \quad \text{Ecuación (2.4)}$$



cotas en pulgadas

Figura 3-26 longitud de la faja.

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.4, se encuentra la longitud de la banda en pulgadas:

$$L = 2(9.76) + \pi(2 + 1.5) + 2\left(\frac{3 \times \pi}{180}\right)(2 - 1.5) = 30.6''$$

Conclusión: se selecciona una faja perfil A, de 30.6'' de longitud y un paso en pulgadas para que pueda ser acoplada sin problemas a las poleas.



### 3.3.7 SELECCIÓN DE COJINETES

Los cojinetes para el separador se seleccionan en base a las cargas que estos estarán soportando durante la operación, para ello se definen todas las características de operación, mencionando que las cargas radiales que están actuando sobre los apoyos b y g son los más relevantes ya que estas se ejecutan directamente en el plano xy ver figura 2-24, también se conocen: las magnitudes de esas cargas  $R_b = 344lb$  y  $R_g = 46lb$ , la velocidad de operación del eje 30RPM, diámetro nominal del eje que es de 1" y las condiciones de ensamble. Debido a que son dos cojinetes, basta con seleccionar el cojinete para  $R_b$ , ya que el carga de mayor magnitud y con esto se satisfacen los requerimientos de  $R_g$ .

Para iniciar el proceso de selección se usan los procedimientos sugeridos por los libros de diseño de máquinas específicamente el sugerido por el autor Robert Shigley. Dado que las cargas radiales se vuelven más relevantes en la operación, los cojinetes a seleccionar deben ser cojinetes de bolas y el procedimiento es como sigue:

- a) se encuentra la carga equivalente  $F_e$ , mediante la ecuación 2.7 que se muestra a continuación;

$$F_e = VF_R \quad (2.7)$$

Donde:  $F_R = R_b = 344lb$

Factor de rotación  $V = 1$ ; *pista interna gira*

$$F_e = VF_R = 344lb$$

- b) determinar la carga dinámica  $C$ , de tabla de fabricantes sabiendo que  $F_e \geq 0.12C$  para carga pesada, despejando la desigualdad anterior se obtiene el valor de carga dinámica crítica que es de  $C = 2,866 lb$ .
- c) Se puede obtener también la vida teórica en horas que se espera el cojinete tenga con una confiabilidad del 90%, mediante la ecuación 2.8:

$$L_{10ha} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P}\right)^\rho \quad (2.8)$$

Donde:  $a_1 = 1$ , *factor de ajuste por confiabilidad*

$a_2 = 0.8$ , *factor de ajuste por material*

$a_3 = 0.7$ , *factor de ajuste por condiciones de operación(lubricacion)*

$\rho = 3$ , *exponente de vida util (cojinete de bolas).*

$n = 30RPM$ , *velocidad de operacion.*

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.8 se tiene:

$$L_{10ha} = 1 \times 0.8 \times 0.7 \frac{10^6}{60 \times 30} \left(\frac{2,866}{344}\right)^3$$

$$L_{10ha} = 177,915 \times 10^6 \text{ Horas de operación}$$

Ahora con los datos obtenidos en los incisos a y b mas el diámetro del eje se procede a seleccionar los cojinetes con chumaceras de las tablas proporcionadas por los fabricantes de tal forma que puedan operar para las cargas que se obtuvieron en los cálculos, ya que estas cargas fueron hasta cierto punto mayores a las reales para asegurar que el sistema no falle. Se seleccionan entonces ambos cojinetes con sus respectivas chumaceras, este tipo de cojinetes tienen una tolerancia positiva. Lo que permite el ajuste fácil del eje en el anillo interno, por lo que es fácil y rápido de instalar.

### 3.3.8 SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA

El sistema eléctrico de la máquina incluye tanto el sistema eléctrico de la despulpadora como el sistema eléctrico del separador; y trata sobre el arranque, control y protección de los motores. Tomando en cuenta los tipos de motores con los cuales se van a desarrollar las operaciones de la máquina se procede a seleccionar los equipos de maniobra que se van a utilizar.

Primero definiremos los objetivos del sistema eléctrico;

- Comandar el motor (encendido y apagado del motor)
- Proteger a sus componentes contra los efectos de fallas de origen eléctrico
- Asegurar la seguridad del operador.
- Maximizar la continuidad de servicio.

Para cumplir con los objetivos planteados, se debe cumplir con cuatro funciones básicas:

- Seccionamiento: separación del motor de la red de distribución eléctrica que lo alimenta.
- Conmutación o Comando: Establecimiento y corte de la corriente que tome la carga.
- Protección contra cortocircuitos: protección del motor contra los daños causados por altas corrientes.
- Protección contra sobrecargas: protección del motor contra los efectos de las corrientes de sobrecarga.

Primero de las tablas técnicas de los motores a utilizar se procede a obtener los siguientes datos:

Potencia: 2Hp

Velocidad: 1,700RPM (baja revolución)

Alimentación: monofásico (240V)

Con los datos antes expuestos se procede a seleccionar los equipos que utilizaremos para complementar el sistema eléctrico de la máquina mediante tablas proporcionadas por los fabricantes de los dispositivos de maniobras.

En conclusión para realizar las tareas propuestas en los objetivos se selecciona el guardamotor cutlehammer modelo XTPRO16BC, este dispositivo cumple con las funciones de: comando y protección de los motores. Entre las características de guardamotor se tiene que: se puede regular de acuerdo a la corriente máxima de carga del motor, la cual se muestra en el indicador del dispositivo, la corriente de carga máxima del motor lesson de 2Hp es de 9.2A para ello se selecciona una corriente mayor a esta por lo menos en un 15%, estableciendo una corriente de protección de 11A en el selector del dispositivo.

El seccionamiento o separación del motor de la red eléctrica deberá realizarse en el sitio de operación de la máquina y las características de este sistema viene dado de acuerdo por las mismas condiciones de operación de los dispositivos eléctricos de la máquina y las condiciones del lugar de la instalación.

### **3.3.8.1 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR**

Para seleccionar el cable más adecuado para la instalación eléctrica de la máquina, se deben considerar los siguientes factores:

- a. Uso del cable y condiciones de instalación.
- b. Corriente máxima que debe transportar.
- c. Caída de tensión máxima admisible.
- d. Tensión de servicio.

### **a. Uso del cable y condiciones de instalación**

El tipo de cable está determinado por el uso que se vaya a dar, es decir, por la función que tiene que desarrollar y además por las condiciones de instalación y del ambiente.

### **b. Corriente máxima que debe transportar**

Determinado el tipo de cable, es necesario precisar la sección de los conductores y para esto se debe conocer la corriente máxima que deberá pasar por el valor de esta corriente en base a la potencia de demanda que el cable deberá alimentar., teniendo eventualmente las necesidades futuras.

En la tabla 3.6 se dan algunas fórmulas útiles para el cálculo de la corriente en un circuito eléctrico.

Los valores de la capacidad de corriente indicados en las tablas permiten determinar el calibre de los conductores cuando se conocen los elementos que señalamos a continuación:

1. Número de los conductores (cables unipolares, bipolares, tripolares, etc.).
2. Números de los cables que siguen juntos el mismo recorrido.
3. Tipo de colocación: al aire libre o tubos, etc.
4. Corriente eléctrica para transportar.
5. Temperatura máxima del ambiente.

Se debe tener en cuenta que la capacidad de corriente indicada en las tablas ha sido calculada para una temperatura ambiente máxima de 30°C. Aún, suponiendo que el cable funciona a 30°C solamente por un corto período durante un año, la determinación de la sección no debe ser hecha en base a la temperatura anual promedio del ambiente, que puede ser inferior a 30°C porque aquel corto período de funcionamiento a 30°C puede reducir notablemente la vida del cable, particularmente si coincide con la operación a plena carga del conductor.

El aumento de la temperatura máxima del ambiente implica una disminución de la capacidad de corriente del cable. Esto es, a cada valor de temperatura ambiente máxima distinta de 30°C corresponde una nueva serie de valores de capacidad de corriente.

Por lo tanto, si la temperatura ambiente es distinta de 30°C los valores de capacidad de corriente, establecidos sobre la base de 30°C, que están indicados en las tablas 3.7, deben ser corregidos cuando esta varíe, multiplicándolos por los coeficientes de corrección correspondiente a la temperatura máxima del ambiente en la tabla 3.8.

Para la determinación de la sección se procede entonces como sigue. La intensidad de corriente por transportar se divide entre los coeficientes de corrección correspondientes. Se busca entonces en las tablas de capacidad de corriente, la sección del conductor, determinada en base al valor aparente de corriente así calculada.

TABLA 3.6

FÓRMULAS PARA CALCULAR LA CORRIENTE DE UN SISTEMA:

Corriente en Amperios	Corriente Continua	CORRIENTE ALTERNA	
		Monofásica	Trifásica
Conociendo HP	$HP \times 746$ $E \times N$	$HP \times 746$ $E \times N \times f.p.$	$HP \times 746$ $1.73 \times E \times N \times f.p.$

Donde:

E =Tensión en voltios

N = Eficiencia expresada en decimales

HP =Potencia en caballos de fuerza (horse power)

f.p. =Factor de potencia (cos  $\phi$ )

### c. Caída de tensión máxima admisible

La determinación de la sección de los conductores, según lo indicado en el punto b, garantiza que el cable estará en condición de transportar la corriente del circuito sin deteriorarse, pero no asegura que la caída de tensión en el cable tenga un valor aceptable ya que los dos fenómenos son completamente diferentes e independientes. La caída de tensión máxima generalmente admitida en las instalaciones de distribución es, en el caso de la fuerza motriz o de calefacción, el 5% de la tensión de ejercicio, en el caso de la iluminación, el 3%.

Para mantenerse debajo de esos límites puede tenerse que escoger conductores con sección mayor a la necesaria para transportar la corriente máxima.

Para los valores del factor de potencia están previstos dos casos  $\cos \phi = 1$  y  $\cos \phi = 0.8$ . Para valores intermedios es suficiente efectuar una interpolación.

En este caso la caída de tensión no es un factor considerable debido a la longitud del conductor dentro de la máquina es bastante corta, aunque en la instalación del lugar de operación de la máquina habrá que considerarla de acuerdo a la necesidad que se presente.

TABLA 3.7

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE DIFERENTE DE 30°C

Temperatura máxima del conductor °C	TEMPERATURA AMBIENTE °C					
	25	30	35	40	45	50
80	1.06	1.00	0.95	0.90	0.84	0.79
75	1.06	1.00	0.94	0.89	0.82	0.76
60	1.07	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58

Tabla 3.8

INSTALACIONES EN TUBO			INSTALACIONES AL AIRE LIBRE			
Calibre del conductor	Sección transversal	3 conductores unipolares o un cable tripolar	Un cable bipolar	Un cable unipolar	Un cable bipolar	3 conductores unipolares o un cable tripolar
AWG – MCM	mm <sup>2</sup>	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios
22	0.324	3	3	5	4	4
20	0.517	5	6	8	7	6
18	0.821	7	8	10	9	8
16	1.31	10	11	15	14	13
14	2.08	15	27	20	18	17
12	3.31	20	21	25	23	22
10	5.26	30	30	40	35	33
8	8.37	40	40	55	48	45
6	13.30	55	55	80	68	63
4	21.15	70	---	105	---	87
2	33.63	95	---	140	---	119
1	42.41	110	---	165	---	145
1/0	53.51	125	---	195	---	155
2/0	67.44	145	---	225	---	180
3/0	85.02	165	---	260	---	210
4/0	107.2	195	---	300	---	240
250	126.7	215	---	340	---	265
300	152.0	240	---	375	---	300
350	177.4	260	---	420	---	330
400	202.7	280	---	455	---	360
500	253.4	320	---	515	---	415
600	304.0	355	---	575	---	450
750	380.0	400	---	655	---	515
1000	506.7	455	---	780	---	600



### 3.3.8.2 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE CABLE

- MOTOR 2HP

De tabla 3.6 se obtiene la ecuación y se calcula la corriente de trabajo:

$$I_{TRABAJO} = \frac{2 \times 746}{220 \times 1 \times 0.8} = 8.477A$$

Con un factor de seguridad de 0.25 por cualquier otro inconveniente en la instalación

$$I_{DISEÑO} = 8.477 \times 1.25 = 10.5963A$$

Suponiendo una temperatura ambiente de 35° y 60° de tabla 3.7 se corrige la corriente:

$$I_{DISEÑO} = \frac{10.5963}{0.91} = 11.6442A$$

Con el último cálculo y de la tabla 3.8 se selecciona el cable:

TWH (TSJ) 2x12AWG

La elección de este cable se deriva a partir de los cálculos pero también se toman en cuenta las siguientes consideraciones: debido a que los motores producen mucha vibración, los dispositivos están sujetos a desplazamientos cuando están en ciertas operaciones de mantenimiento. Debido a lo anterior una de las características de este tipo cables es su flexibilidad por lo que lo hace óptimo para esta aplicación.

Aunque se está trabajando con alimentación de 220V CA, no es necesario usar un cable de tres líneas ya que el tipo de motor que se usa trae el aterrizaje o tierra interno.

Definido el tipo de conductor a utilizar, se puede entonces definir en concreto los elementos que conforman el sistema eléctrico de la máquina, diciendo que:

- Se utilizar tomas independientes para la separadora como para la despulpadora
- Cada una tendrá su propio elementos de mando y protección
- Ambas usaran del mismo tipo de conductor.

Entonces los materiales a utilizar por ambas etapas de la máquina son:

- ✓ 2 tomas machos 50A para 220V
- ✓ 12 metros de cable TSJ 2x12
- ✓ 2 guardamotores con sus respectivas cajas de protección.

Concluida la etapa del sistema eléctrico de la despulpadora se definen todos y cada uno de los elementos que la conforman y son necesarios para su fabricación, por lo que se puede mostrar como quedo la máquina luego de todos los procedimientos descritos en los capítulos anteriores. Se procede a ensamblar la máquina con las piezas que requirieron de mano de obra externa y las piezas que fueron elaboradas por los responsables del presente trabajo de graduación.

Los procesos de fabricación utilizados en la elaboración de esta máquina, son los procesos básicos que se conocen como:

- ✓ Proceso de trazado y corte del material
- ✓ Soldadura por arco eléctrico
- ✓ Maquinado
- ✓ Roscado
- ✓ Doblado
- ✓ Otros.

Los detalles de las piezas que se fabricaron se pueden ver más adelante en el anexo 12, donde se presentan los planos para cada uno de estos elementos que se fabricaron.

### 3.4 ESTUDIO ECONÓMICO

Presentadas todas las características de la máquina, se puede decir con certeza cuanto es el costo de ella haciendo un detalle de todos los elementos que la conforman, para llegar a determinar los dispositivos y materiales a utilizarse se hizo una investigación en el mercado local, se tuvo que reacomodar el diseño de la despulpadora a dichos materiales encontrados, tratando de utilizar siempre materiales que estén disponibles y no sean tan extraños en el medio.

Para obtener cada uno de los dispositivos y materiales a utilizar para fabricar los elementos antes expuestos en los capítulos anteriores, se verifico primero una cotización de cada uno de estos en diferentes empresas del mercado local y algunas de mercados vecinos como el de Guatemala, luego se analizaron las cotizaciones y se escogieron las que mejores ofertas o en algunos casos los productos que mejores garantías ofrecieron.

Para resumir todo lo anterior se usara la tabla 3.9, donde se denotan: la descripción, precio y la empresa a la cual se le compro el producto, en los productos se incluyen los que sirvieron para fabricar otros elementos como lamina de acero inoxidable y la tubería de la estructura, los dispositivos (motores , guardamotors, caja reductora) y por último los servicios de mano de obra los que se tuvo que recurrir sobre todo para fabricar algunos elementos que requerían de herramientas especiales de las cuales no se tenían acceso en la universidad.

Aunque esta parte tuvo que ser al inicio de la tesis, para tener una proyección de los costos y material a utilizar, preferimos exponerla al final debido a que en cada proceso de diseño, descripción y selección se ha hecho referencia de cada producto con muchas de sus características como capacidad, marca entre otras.

Los costos de este proyecto corren por cuenta de La Geo S.A., sobre todo en el departamento de energía renovable, con el fin de su utilización en el proceso de producción de biodiesel, específicamente en el proceso agroindustrial del tempate.

DESPULPADORA DE TEMPATE PARA BIODIESEL				
CANTIDAD		DESCRIPCIÓN	PRECIO\$	PROVEEDOR
2	c/u	motor monofásico, 2 Hp 4 polos, sellado	459.68	VIDUC
2	c/u	1 CAJA REDUCTORA sumitomo, 3.3 Hp, 87RPM, EJE 90. y 1 CAJA REDUCTORA sumitomo, 0.75Hp,	1,297.24	Central Rodamientos
1	c/u	Tubo estructural ch14 de 2", tubo estructural ch 14 de 1", pintura, solvente, varillas de hierro 1/2"	275.23	Galvanisa
1	c/u	barra acero 250x180mm, barra perforada 63mmx40mmx4" largo	892.89	Abasteinsa
1	c/u	pliego lamina acero inoxidable 1/4"x4piesx8pies, barra acero 1020 1" diámetro	749.7	Proyec Metal mecánica
1	c/u	Fabricación de cono receptor, cilindro receptor, cono fijo, cono rotor, bushing, poleas y roscas	1,375.21	H. Baron INVERSOP
3	Pies	platinas hierro 1/8x2", zaranda 2x2/pulg, Lamina de hierro 2X1m 3/64"	120.2	Vidri
20	c/u	pernos y tuercas 1/2", 20 pernos y tuercas 3/8"	26.86	La Palma
9	Lbs	barra aluminio 10" diámetro y 2 pulgadas espesor Descascar UES	148.5	Vidri
16.5	Lbs	Platina inoxidable 304	86.21	Vidri
1	Set	cuchillas para la despulpadora de tempate	199	H. Baron INVERSOP
4	c/u	Balero para cilindro despulpadora	14.71	Central Rodamientos
1	c/u	Fabricar anillo e instalar cono modifica bujes	162.72	Inversop-H. Barón
2	c/u	Coupling half, 1 araña buna, 1 faja trap, 1 faja lisa, 2 chumaceras	133.91	Central de Rodamientos
8	c/u	Pernos, 44 tuercas,...8 tuercas de 1/2"	27.3	La Palma
2	c/u	Guardamotor y caja plastic	163.6	Surtielectric
1	c/u	Fabricación acople ampliar agujero y hacer cuñero	54.24	Inversop-H. Barón
TOTAL			\$6187.2	

Tabla 3.9

### 3.5 CORRECCIONES

Finalizada la construcción de la máquina y realizadas algunas pruebas, se pueden hacer algunas correcciones en los datos expuestos en los capítulos anteriores, debido a que se verificaron algunas variaciones de estos durante las pruebas y algunos componentes no funcionaron como se esperaba. Ahora con las correcciones y recomendaciones se pretende ayudar a que la máquina se vuelva más eficiente y pueda desarrollar el despulpado de mejor manera. En la figura 3-27 se observa la máquina ya terminada.



Figura 3-27 máquina terminada.

### **3.5.1 CORRECCIÓN CÁMARA DE DESPULPADO**

Las primeras pruebas de la máquina sirven de guía para mejorar su funcionamiento, es por eso que al observar los problemas que esta presenta en la cámara de despulpado se procede de inmediato a corregir algunos elementos del diseño original específicamente las cuchillas,

la disposición de estas daba lugar a que el tempate antes de ser despulpado y después de ser despulpado este se alojara en los espacios que están entre cuchillas principalmente en el cono rotor, esto interfería con el despulpado atascando la cámara al no dejar pasar los frutos. Para este problema se opto por adaptarle un limpiador a una de las cuchillas del cono rotor, esta pieza va girando con la cuchilla en el cono rotor lo que le permite hacer contacto con las cuchillas del cono rotor limpiando cualquier obstrucción que este en el espaciamiento entre cuchillas en el momento del contacto.

Esta modificación consiste en una pieza de hule de forma rectangular de ¼” de espesor y dimensiones 3”x1.5”, en la figura 3-29 en la parte superior, observamos la pieza de hule que se acopla a la cuchilla mediante una placa metálica perforada con dos tornillos, que la dejan estable en la cuchilla y permite realizar la operación de limpieza continua cuando la máquina esta en operación.



Figura 3-29 correcciones en la cámara de despulpado.

Siempre siguiendo con la tónica de las correcciones de la cámara de despulpado, ha esta se le agregaron laminas de acero inoxidable entre los espacios de las cuchillas del cono rotor y el cono fijo, estas son para evitar que pasen frutos a través de la cámara de despulpado sin que estos sean despulpados, las laminas colocadas presentan las siguientes características,

son laminas rectangulares con dimensiones 0.8 cm x 8cm y las otras laminas cuadradas 4cmx4cm, todas con laminas de 1/8" de espesor. En la figura 4-29 apreciamos las láminas que fueron soldadas alrededor de cada uno de los conos, para el cono fijo se acoplo una lamina rectangular y una lamina cuadrada mientras que para el cono rotor tres rectangulares dispuestas como se ven en la figura.



Figura 4-29 correcciones en la cámara de despulpado

### **3.5.2 CORRECCIÓN CAPACIDAD**

Después de probada la máquina los resultados obtenidos fueron diferentes a los que teóricamente esperábamos, por eso cuando realizamos las pruebas se llevo un control de tiempo y cantidad de fruto que se proceso, esto nos llevo a predecir una capacidad más realista de la máquina bajo ciertas condiciones de operación que exponemos a continuación.

- La máquina está en marcha antes de colocar la carga
- La máquina está limpia de basura en el interior de la cámara de despulpado.
- El separador está limpio y se puesto en marcha.
- El suministro de energía es el correcto.
- El fruto no está pasado de maduro.

Para la despulpadora la capacidad observada:

**Capacidad = 85lb/hora**

Para el separador la capacidad observada:

**Capacidad = 60lb/hora**

#### **4.0 ENSAMBLE Y MANTENIMIENTO**

Después de haber expuesto los detalles del diseño, funcionamiento y descrito los componentes y dispositivos utilizados en la construcción de la máquina, se puede establecer los procedimientos a seguir para ensamblar cada una de las piezas a la estructura principal de la máquina, estableciendo además todas las herramientas a utilizar al momento del ensamble.

Este capítulo se puede elaborar una vez la construcción de la máquina haya concluido y también se hayan realizado las pruebas correspondientes, esto da lugar para que se puedan crear las tareas de mantenimiento necesarias para garantizar que la vida útil de la máquina sea lo más prolongada posible.

Haremos también mención del rendimiento de la máquina una vez realizadas las pruebas, para poder predecir la capacidad real que esta tendrá ya en el campo de trabajo, ya que después de las pruebas se hicieron algunos cambios en el diseño original. Al mismo tiempo se expondrán las correcciones y se darán algunas consideraciones para mejor el desempeño de la máquina.



## 4.1 ENSAMBLE

Para los procedimientos de ensamble vamos primero a identificar cada una de las partes de la máquina involucradas en su momento, comenzando con las piezas más generales hasta llegar a las más específicas, luego se indicara los pasos con los cuales se va a proceder el ensamble y las herramientas a utilizar.

### 4.1.1 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA DEL SEPARADOR

Para comenzar con el proceso de ensamblaje, se debe armar primero la estructura de la etapa del separado, posteriormente esta se ensambla con la estructura de la despulpadora, en la figura 4.1 se observan las piezas de la estructura del separador, dichas piezas solo están sujetas por medio de pernos a las perforaciones de la estructura, para estos procedimiento se necesitan las siguientes herramientas y elementos de sujeción:

- 2 llave mixta de 11mm
- 2 llave mixta de 13mm
- 2 llaves mixtas de ¾"
- 2 tornillos allen 3/16"x1/2"
- 4 perno hexagonal 1/2"x3"unf
- 2 pernos hexagonal 1/4"x2 1/2"
- 3 perno hexagonal 5/16"x2 1/2" c/sus respectivas arandelas planas y de presión
- 1 llave allen 4mm

Los procedimientos a seguir son los siguientes:

- a) Colocar las láminas receptoras de semilla con sus respectivos pernos, posteriormente apretar los pernos.
- b) Colocar el eje del separador con sus respectivas chumaceras y accesorios a la estructura.
- c) Colocar la bandeja receptora de cascara esta va a presión.
- d) Colocar la lamina retenedora para evitar que la cascara escape por el costado incorrecto.
- e) Colocar la polea de 4" en el eje del separador sin utilizar martillo u otro objeto para golpear la polea ya que esta se puede dañar, y las medidas están calculadas para colocarlas de forma manual, también se debe colocar su cuñero y sus respectivos tornillos allen 3/16"x1/2" a los cuales se debe apretar posteriormente.

En las figuras de la 4.2 a la 4.7 se visualizan los procedimientos anteriores para facilitar las operaciones.

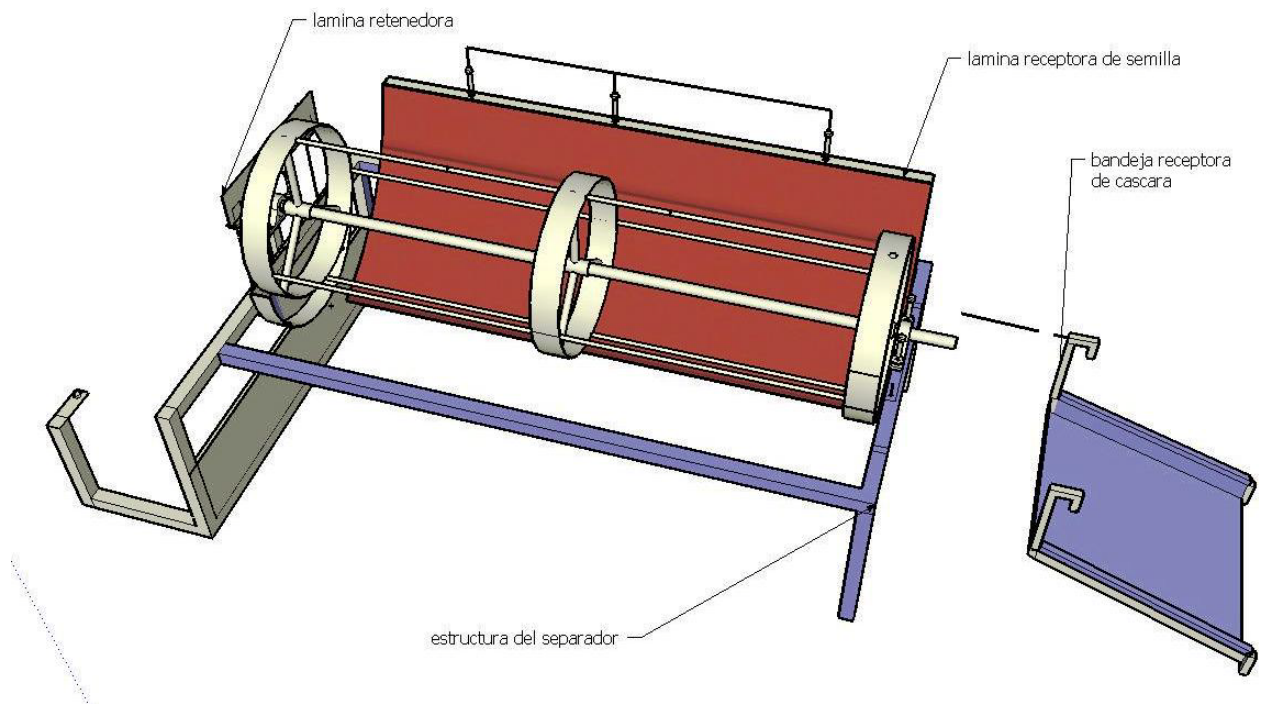


Figura 4.1 ensamble de la bandeja receptora de cáscara.

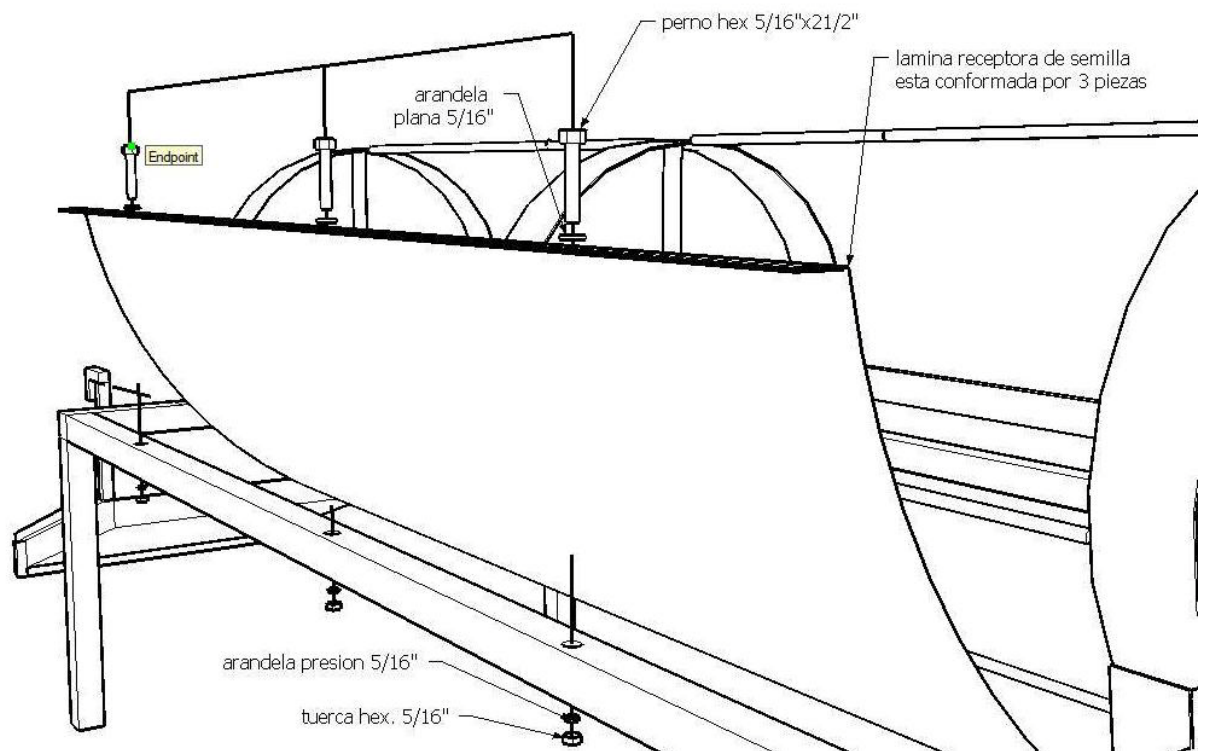


Figura 4.2 colocar las láminas receptoras de semillas.

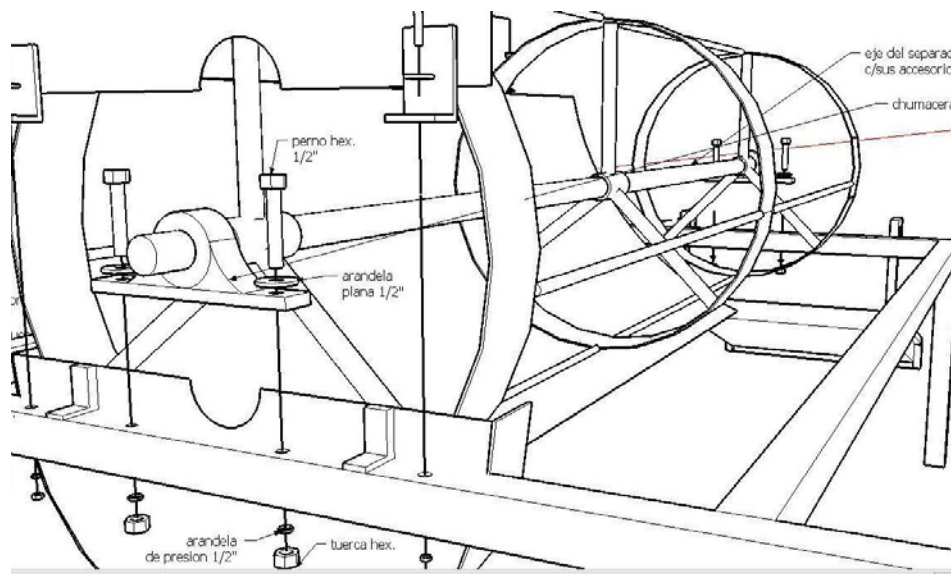


Figura 4.3 colocación del eje del separador con sus chumaceras y accesorios

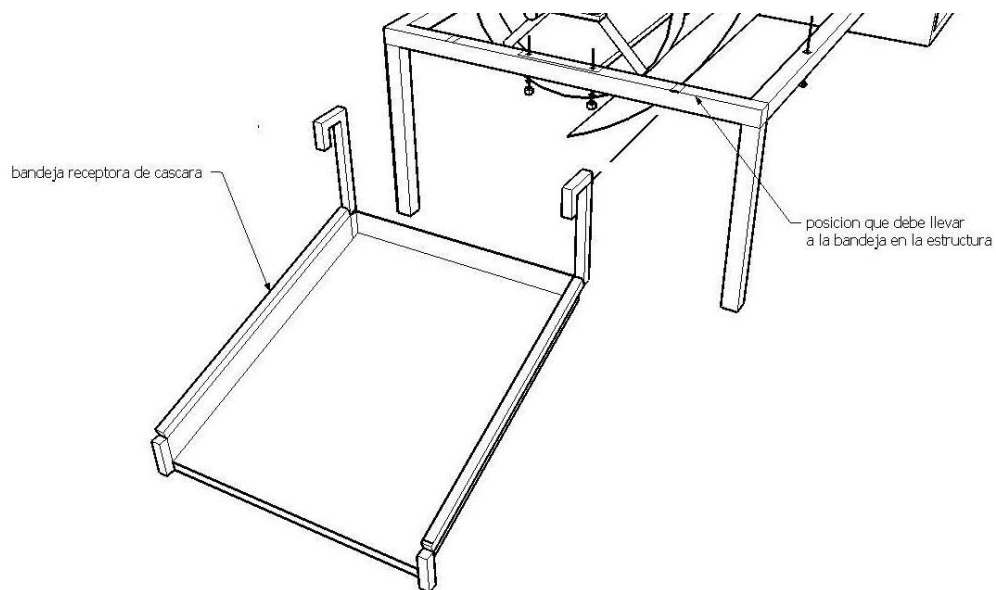


Figura 4.4 colocar la cámara receptora de semilla a presión.

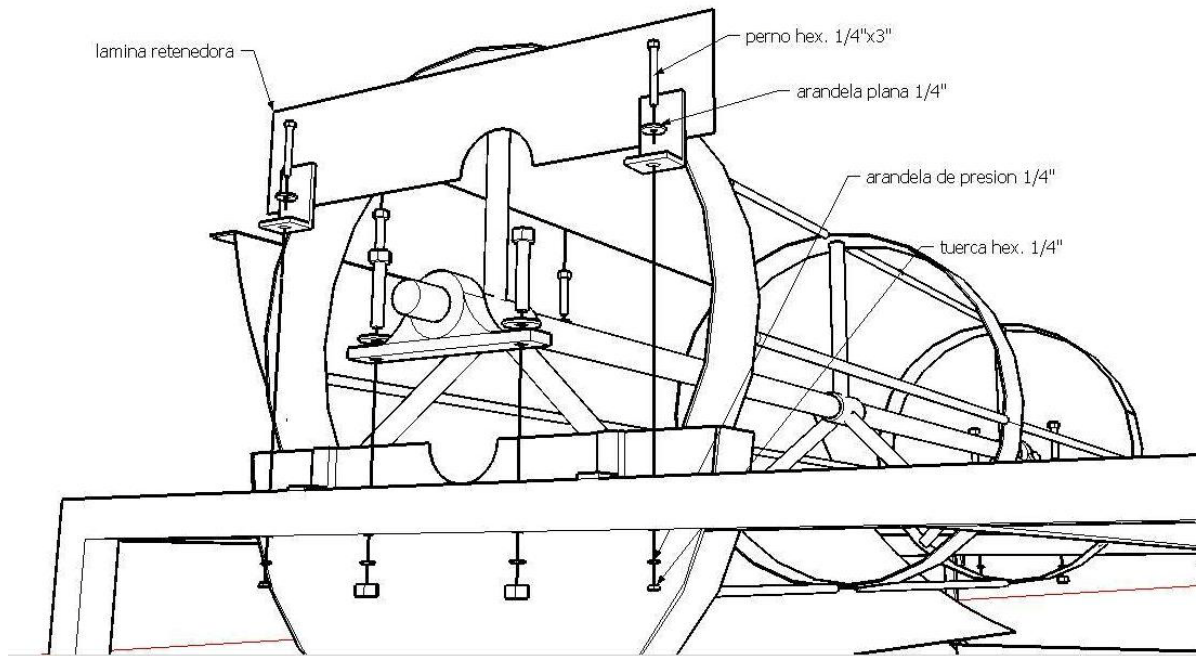


Figura 4.5 colocar la lamina retenedora para evitar que la cáscara escape por los costados.

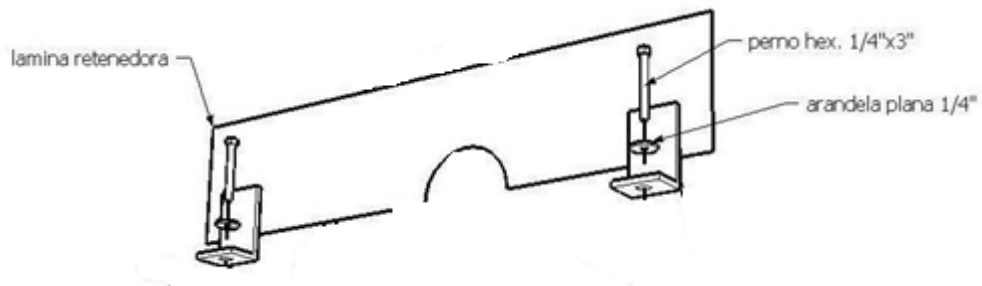


Figura 4.6 lámina retenedora de semilla para el separador

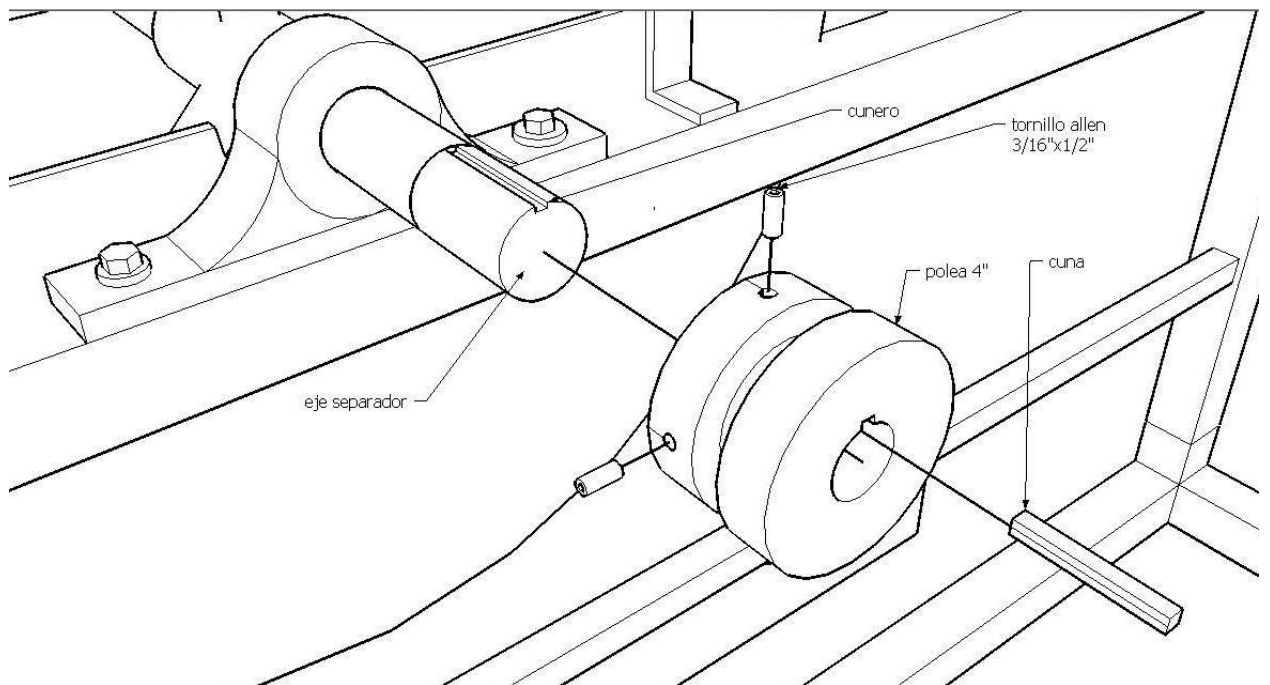


Figura 4.7 colocar polea de 4" en eje del separador manualmente.

#### 4.1.2 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA DEL SEPARADOR Y LA ESTRUCTURA DE LA DESPULPADORA

En este procedimiento se ensamblan ambas estructura, una vez armado el separador este se une a la estructura de la despulpadora, para ello solo necesitamos los siguientes accesorios y herramientas:

- 2 llaves mixtas de  $\frac{3}{4}$ "
- 2 pernos hexagonales  $\frac{1}{2}$ "x3" con sus respectivas tuercas y arandelas.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) Colocar ambas estructura de forma desalineada para poder hacer el acople, de tal forma que las uñas de la estructura del separador se acoplen a la estructura de la despulpadora (ver figura 4.8).
- b) Luego alinear los agujeros de las uñas con los agujeros de la estructura de la despulpadora, luego colocar los pernos y apretar (ver figura 4.9).

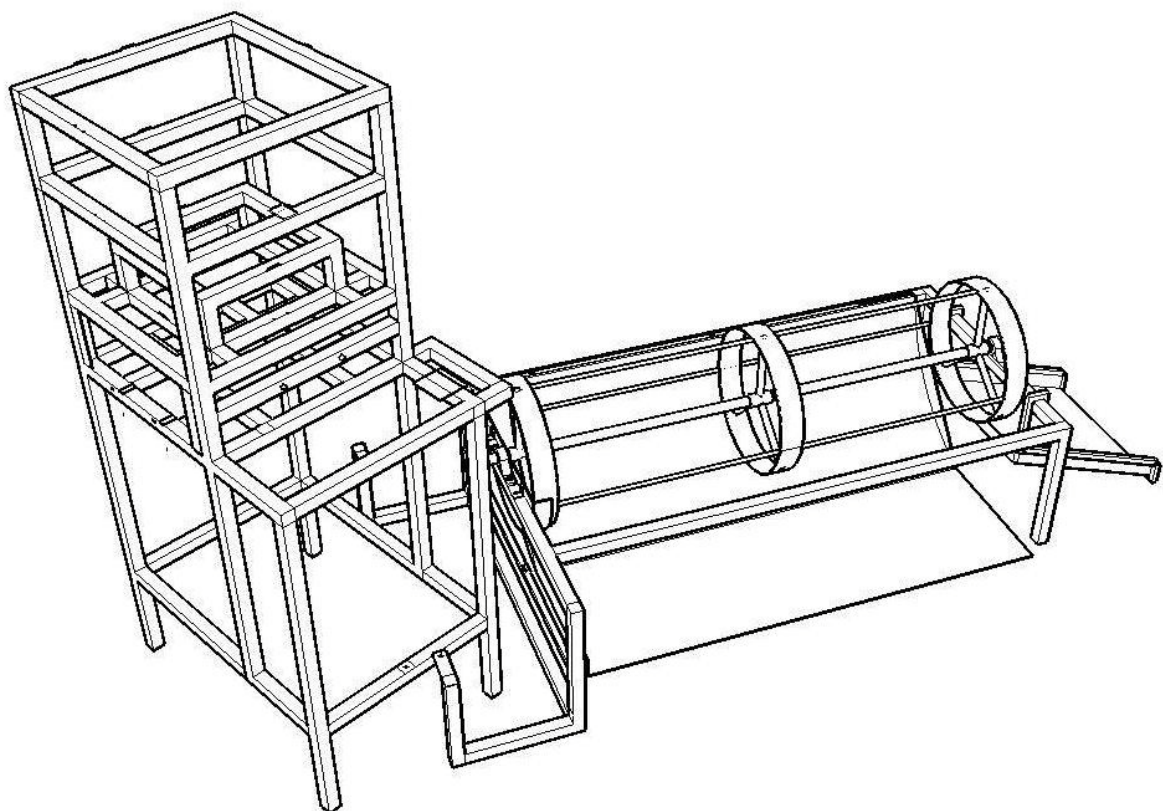


Figura 4.8 ensamble de las estructuras separador y despulpadora

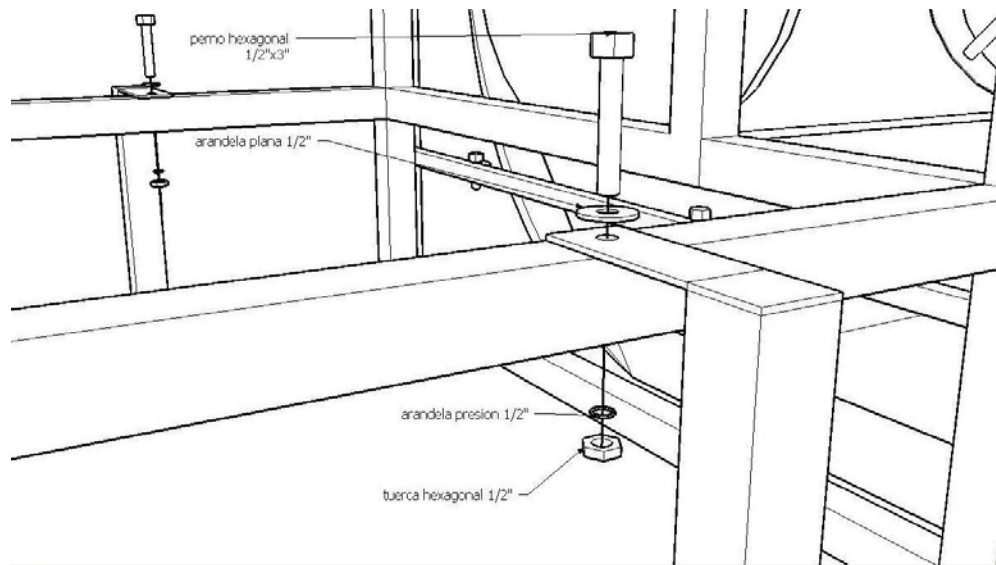


Figura 4.9 alinear los agujeros de las uñas del separador con los agujeros de la despulpadora

### 4.1.3 MESA SEPARADOR

Seguimos progresando en el ensamblaje, ahora pasamos al ensamblaje de la mesa del separador, esto incluye acoplarle a la estructura del separador e instalarle el reductor de velocidad y el motor. Para cumplir con lo anterior se necesita lo siguiente:

- 2 llaves mixtas de 9/16"
- 1 llave allen 4mm
- 1 llave allen 5/32"
- 8 pernos 3/8"x2 1/2", con sus respectivas tuercas y arandelas.

El procedimiento para la mesa es el siguiente:

- a) Colocar la mesa debajo de la estructura de la despulpadora, en posición horizontal como apuntando hacia la estructura del separador (ver figura 4.10).
- b) Luego instalar en la mesa la caja de reductora de velocidad y el motor mediante pernos en los agujeros de la mesa y apretar (ver figura 4.11). En la instalación de estos elementos es necesario instalar el acople araña que es el punto de unión del motor y la caja reductora (ver figura 4.12). Por otro lado la instalación de la caja reductora necesita cumplir con ciertos requerimientos (ver figura 4.13), la alineación es muy importante por lo que se debe verificar de alguna forma (con una regla o con un nivel).

- c) Luego instalar la polea de 3" en el eje de salida de la caja reductora y colocar su cuña y sus tornillos. (ver figura 4.14).
- d) Colocar la faja en la polea tanto en el eje del separador como en la del eje de salida de la caja reductora.
- e) Luego acoplar la mesa a la estructura del separador mediante pernos en los agujeros establecidos en la estructura del separador (ver figura 4.15).

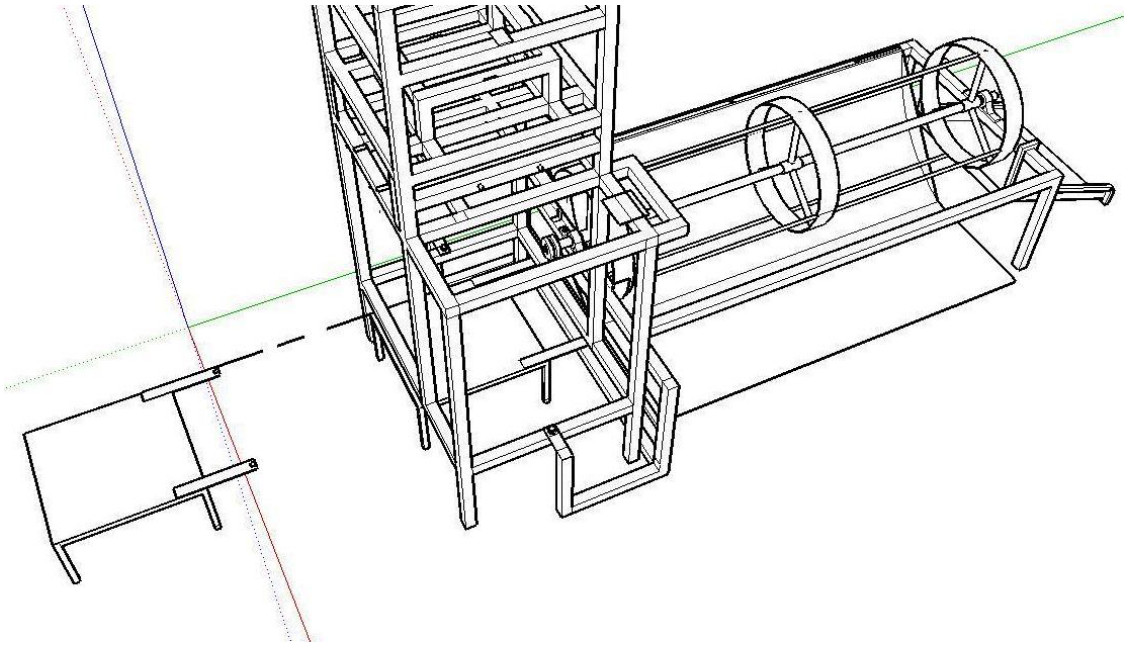


Figura 4.10 colocar la mesa debajo de la estructura de la despulpadora.



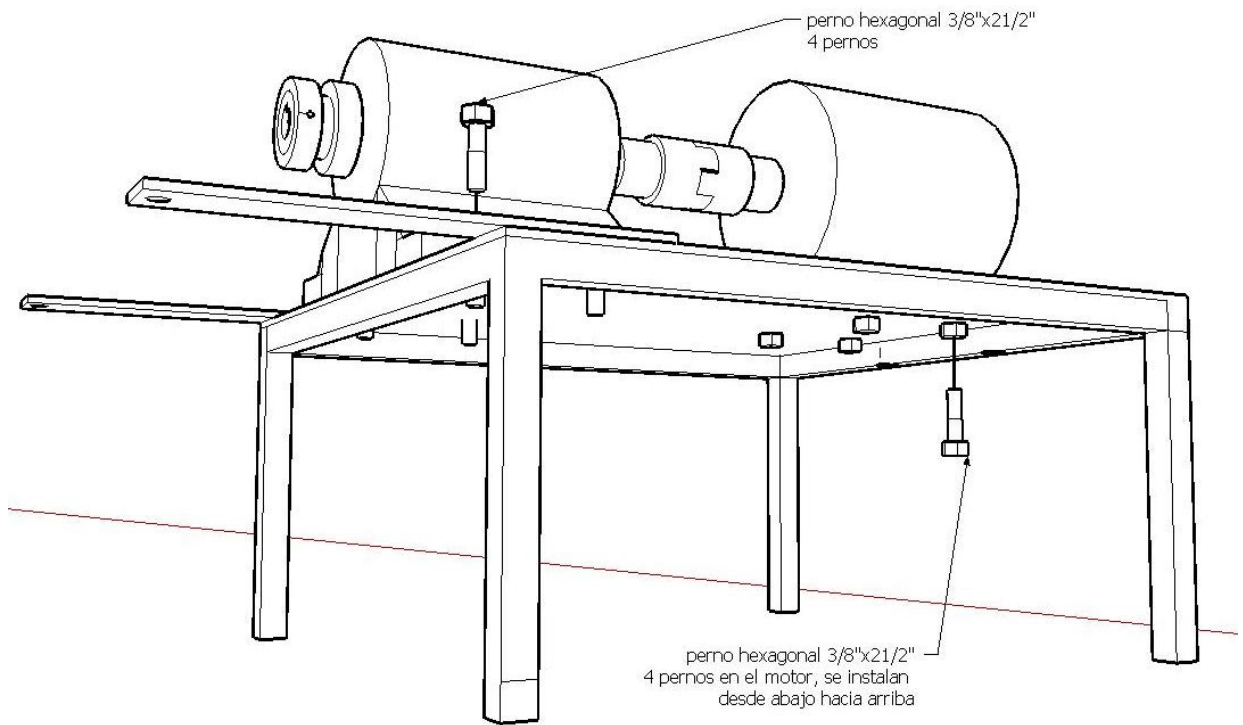


Figura 4.11 instalar el motor, caja reductora y asegurar

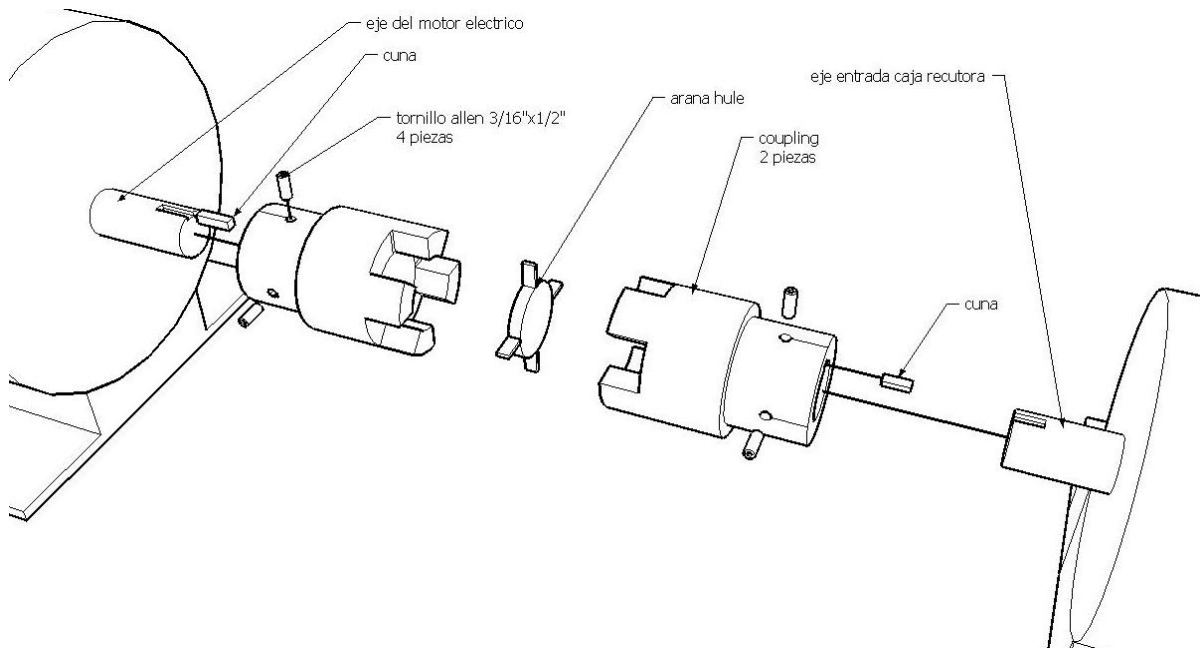


Figura 4.12 instalar acople araña

Las cargas deben estar lo mas cercano posible al cojinete del reductor

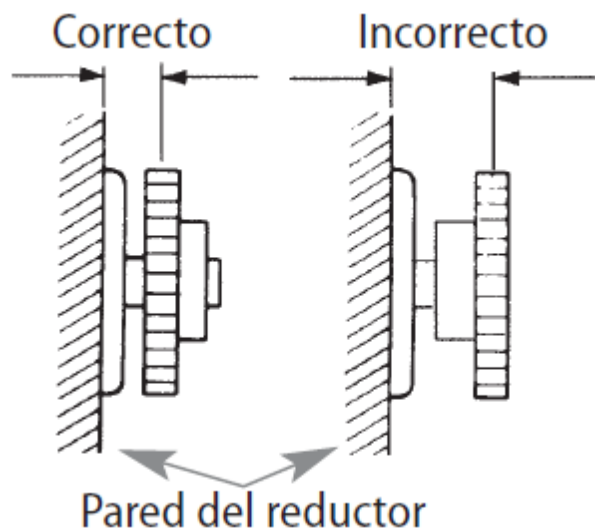


Figura 4.13 correcto acople

Colocar la polea de forma manual y verificar la alineación.

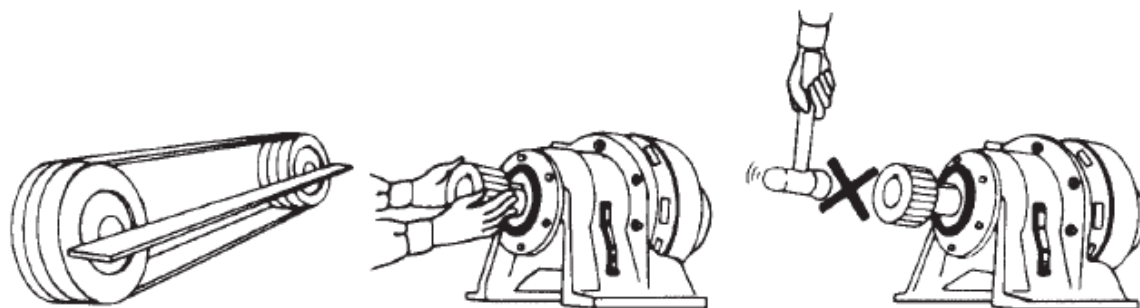


Figura 4.14 alineación entre poleas, debe ser lo más precisa posible.

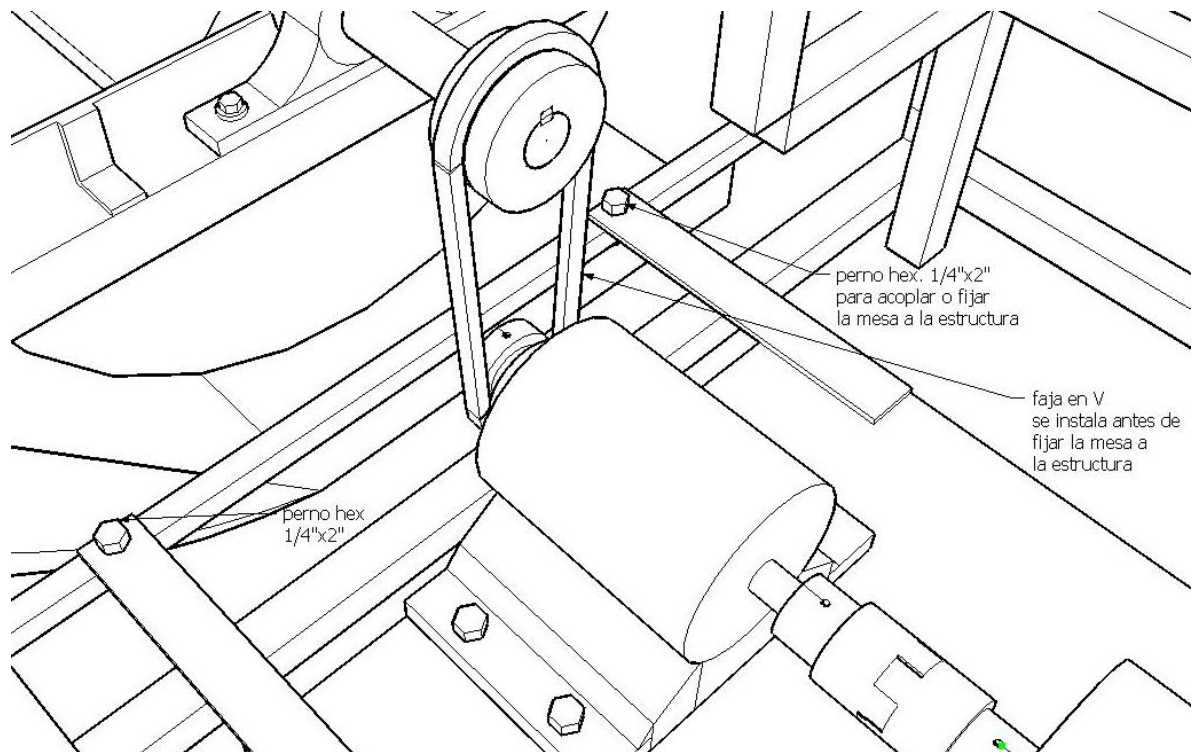


Figura 4.15 acople terminado correctamente.

#### 4.1.4 ENSAMBLE DESPULPADORA

Para la despulpadora el proceso de ensamblaje es similar a los procesos anteriores, ensamble con pernos en todas las piezas, para realizar estos procedimientos se necesitan las herramientas y los accesorios siguientes:

- 2 llaves mixtas de 3/4”.
- Un cubo hexagonal 7/16”x1/2” con su ratchet de 1/2”
- 2 llaves mixtas 13mm
- 1 llave allen 5/32”
- 1 llave cangreja 6”
- 1 desatornillador Philips
- 1 desatornillador plano
- 20 perno hexagonal 1/2”x3” c/ tuerca y arandelas
- 8 perno hexagonal 1/2”x4” c/tuerca y arandelas
- 1 perno hexagonal 1/4”x1/2” c/tuerca y arandela de presión
- 4 arandela de hule (acople) 1/2”x1”
- 2 perno hexagonal 5/16”x3” c/ tuerca y arandelas
- 4 perno hexagonal 5/16”x1 1/2” c/ tuerca y arandelas
- 16 tornillos allen cónicos 5/32”x1 1/2”, con su tuerca
- Coples de hule de 1/2”x1”

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) La primera pieza a instalar es el bushing, esta se introduce por la parte superior de la estructura, hasta llegar a la posición establecida, se debe girar el bushing para que las uñas no toquen la estructura (ver figura 4.16), se necesitan 8 pernos para acoplar el bushing (ver figura 4.17)
- b) Luego se instala el cono rotor, en el interior del bushing, este elemento no requiere ningún tipo de elemento de sujeción, ya que este solamente descansa sobre los rodos del bushing, ver figura 4.18
- c) Ahora se pueden instalar entonces los componentes de la cámara de recepción, el primer componente es el cono receptor, este lleva 8 pernos, se introduce por la parte superior de la estructura y se hace la misma maniobra que se hizo con el bushing ver figura 4.19
- d) Luego se puede instalar el cilindro receptor, necesita de solo 4 pernos ver figura 4.20
- e) Ahora se pueden instalar el sistema de regulación y soporte del cono fijo, para esta pieza se hace un desglose especial, debido a que el cono fijo lleva instaladas unas cuchillas, por lo que hay que especificar de que forma proceder, ver figura 4.21, después ensamblamos el sistema de regulación a la estructura (ver figura 4.22).
- f) Ahora se procede a instalar los dispositivos de transmisión, como lo son; el motor eléctrico, el reductor de velocidad. Para ellos instalamos primero el reductor de velocidad (ver figura 4.23), después acoplamos el motor al reductor de velocidad y empernamos ambos elementos a la estructura (ver figura 4.24), es importante verificar con un nivel si ambos están alineados después del apriete de los pernos (ver figura 4.25).
- g) Se procede ahora a instalar las poleas, una es la del cono rotor de 10" y la otra del eje de salida del reductor de velocidad que es de 3", primero se instala la polea más grande en el cono rotor(ver figura 4.26), después la polea mas chica aunque es en este momento que la faja debe ser colocada (ver figura 4.27), ya que una vez instalada la polea chica es imposible hacer llegar la faja, luego se verifica el alineamiento entre ambas poleas y se aprietan los tornillos en cada faja.
- h) Finalmente se instalan los cables del sistema eléctrico, como lo requiere cada dispositivo, ya sea el guarda motor o el motor, para ello se recurre a las instrucciones de las placas técnicas instaladas en cada dispositivo, cabe mencionar que los motores se instalaran en el lado de alta tensión es decir a 220V(ver figura 4.28).

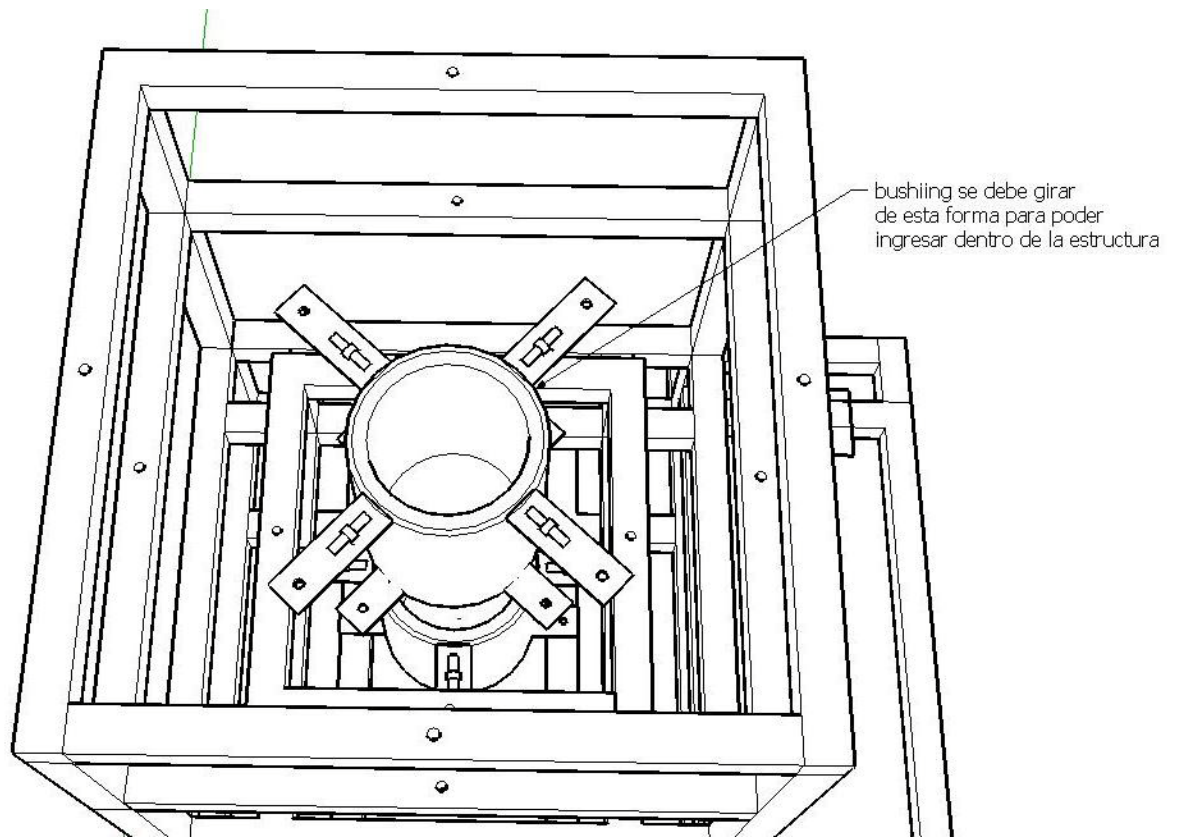


Figura 4.16 Instalacion del Bushing

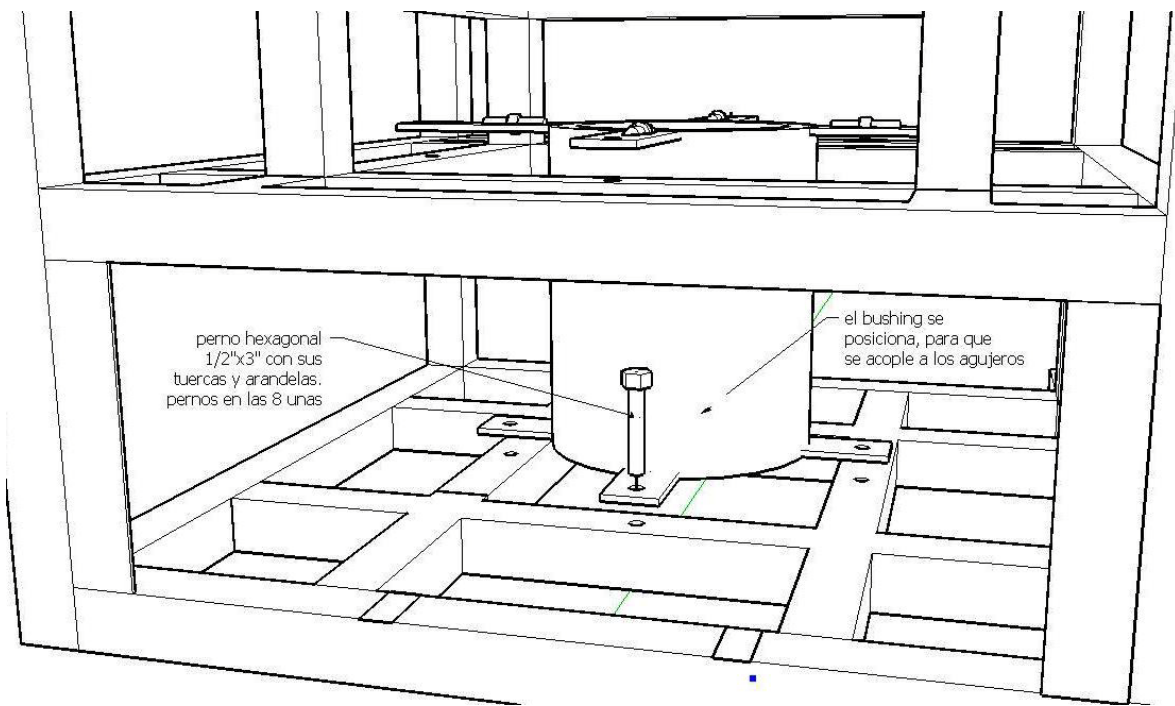


Figura 4.17 acoplar el bushing con sus respectivos pernos.

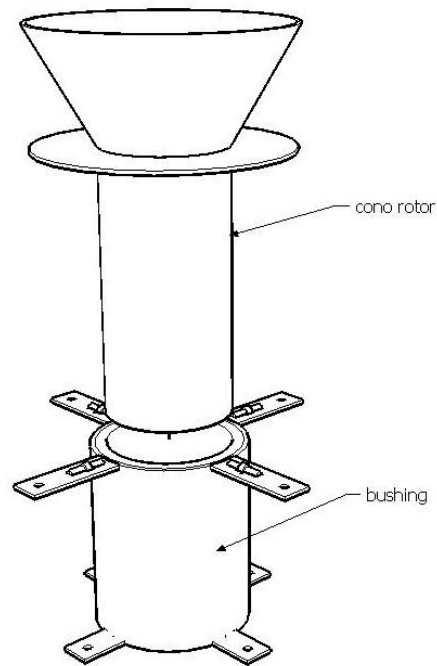


Figura 4.18 Instalación correcta del cono rotor en el bushing.

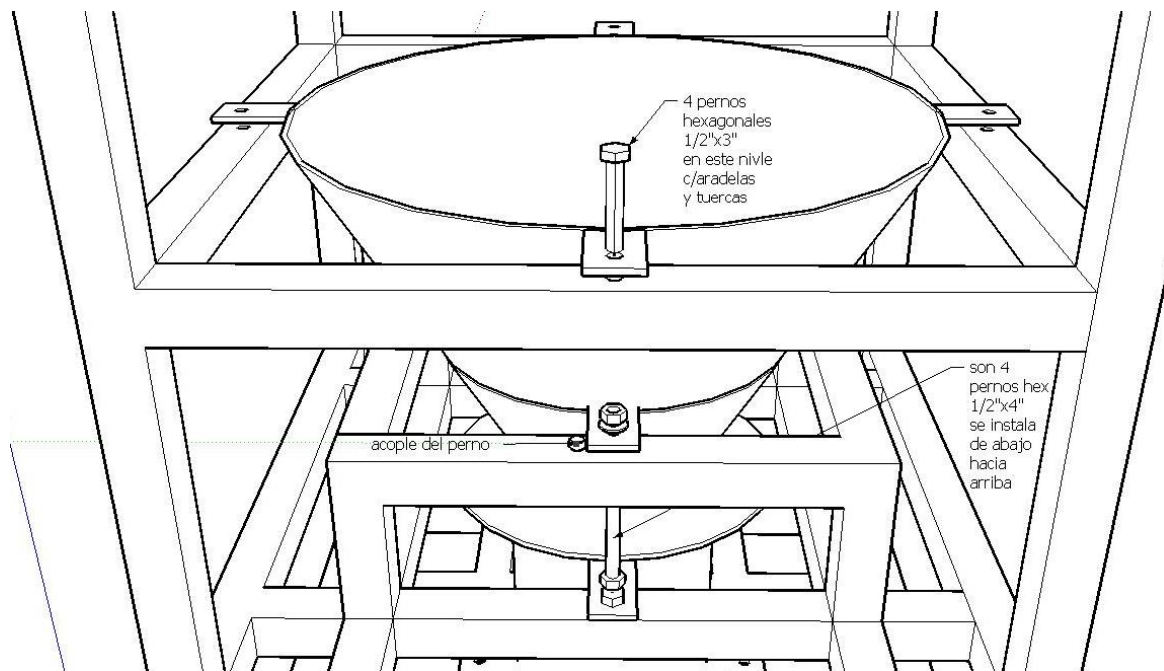


Figura 4.19 Instalar luego los componentes de la cámara de recepción.

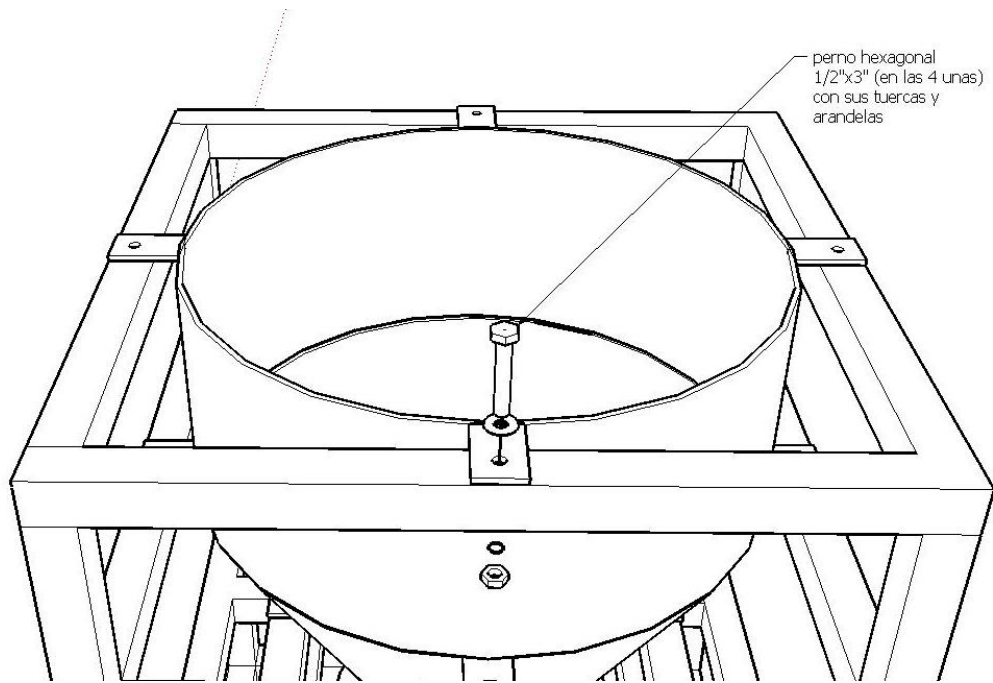


Figura 4.20 Instalar el cilindro receptor.

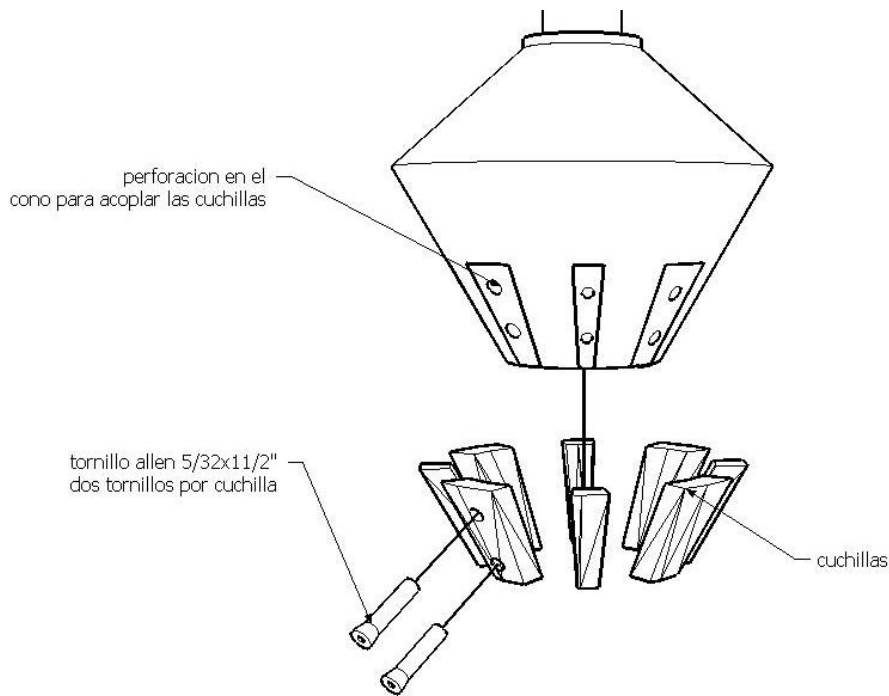


Figura 4.21 Instalación de las cuchillas tener en cuenta l numeración.

Las cuchillas tienen su lugar en la superficie del cono, por lo que el espacio (superficie del cono) y la cuchilla tienen estampado el número correspondiente.

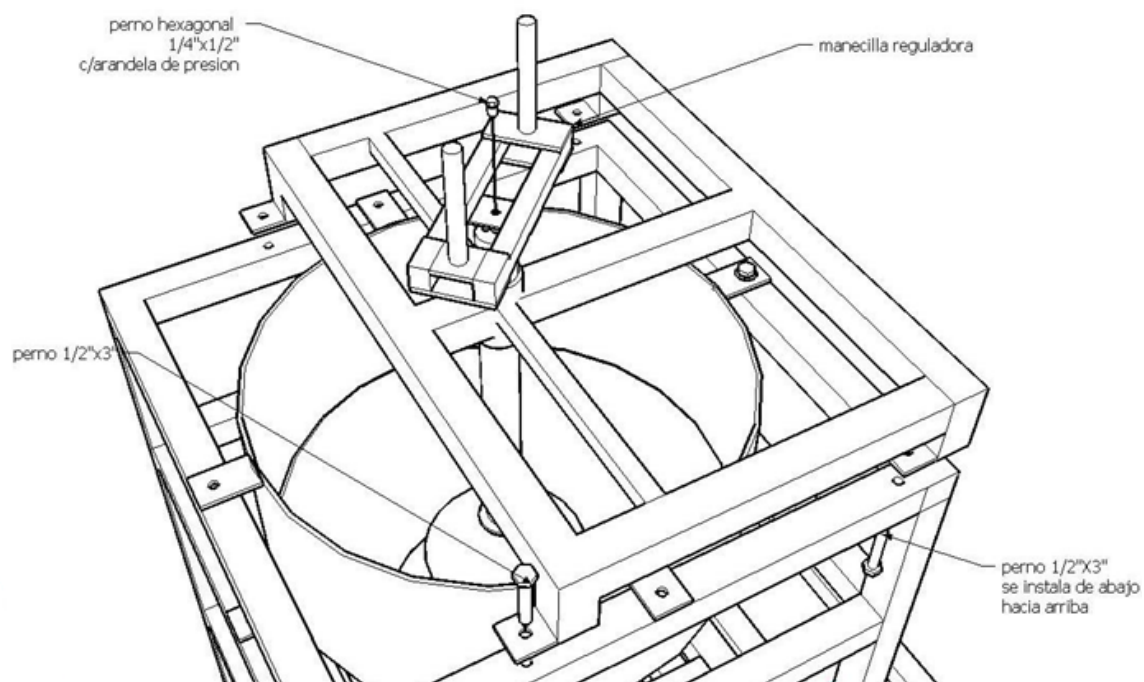


Figura 4.22 Ensamblar el sistema de regulación de la estructura.

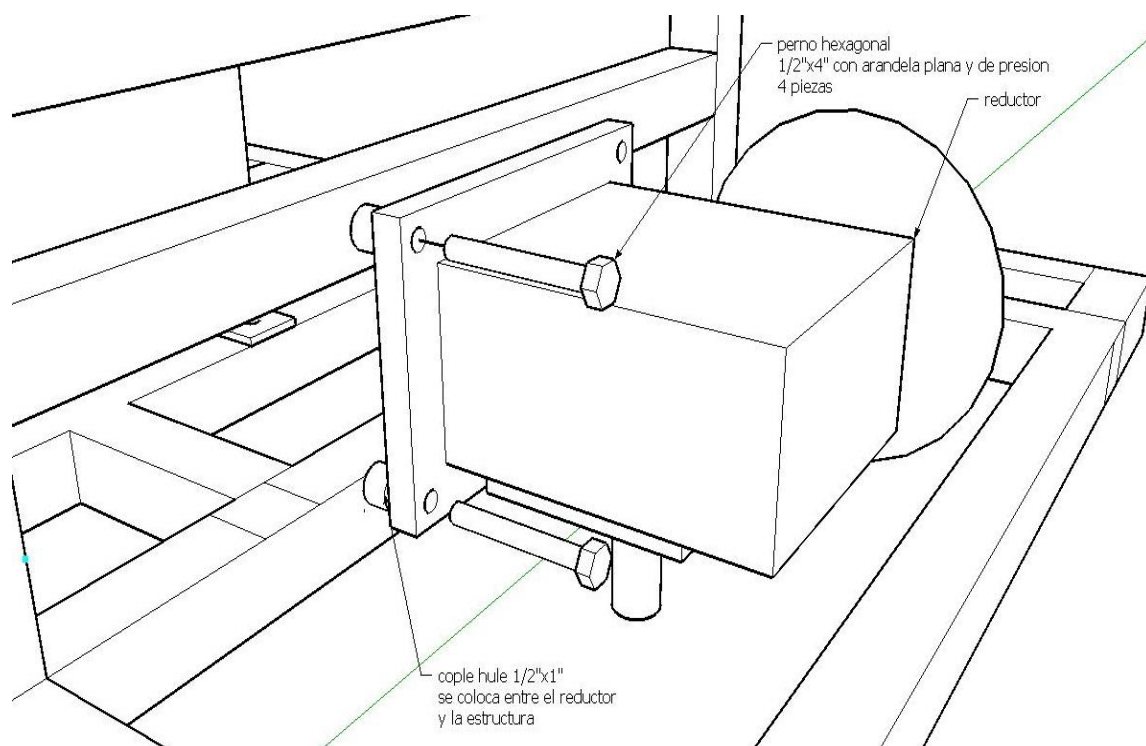


Figura 4.23 Ensamble de la caja reductora.



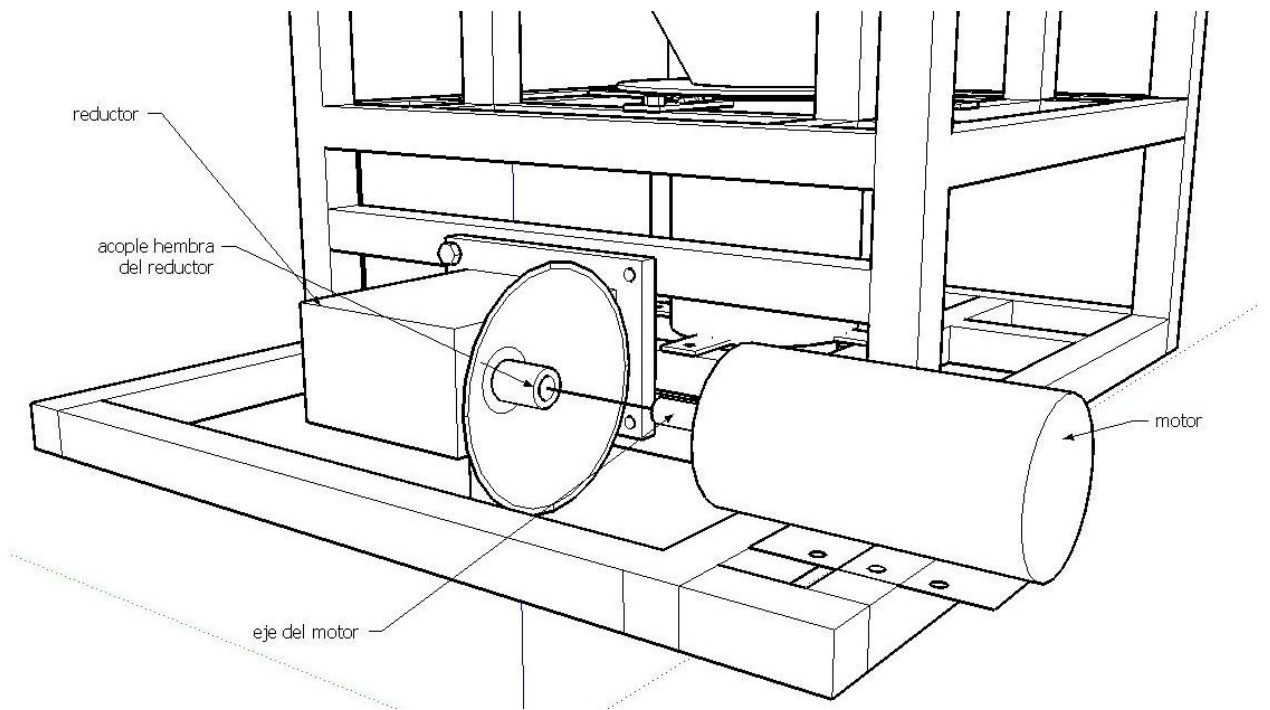


Figura 4.24 Ensamble del motor a la caja reductora.

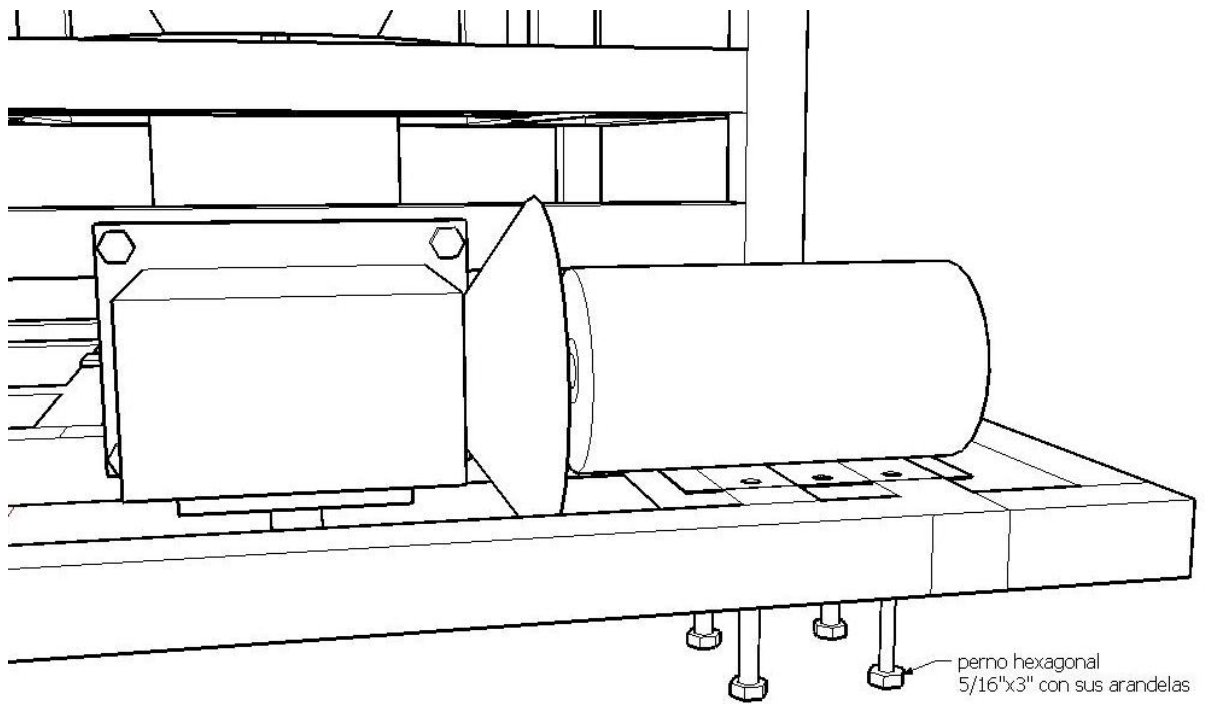


Figura 4.25 El alineamiento del motor con la caja reductora debe ser preciso.

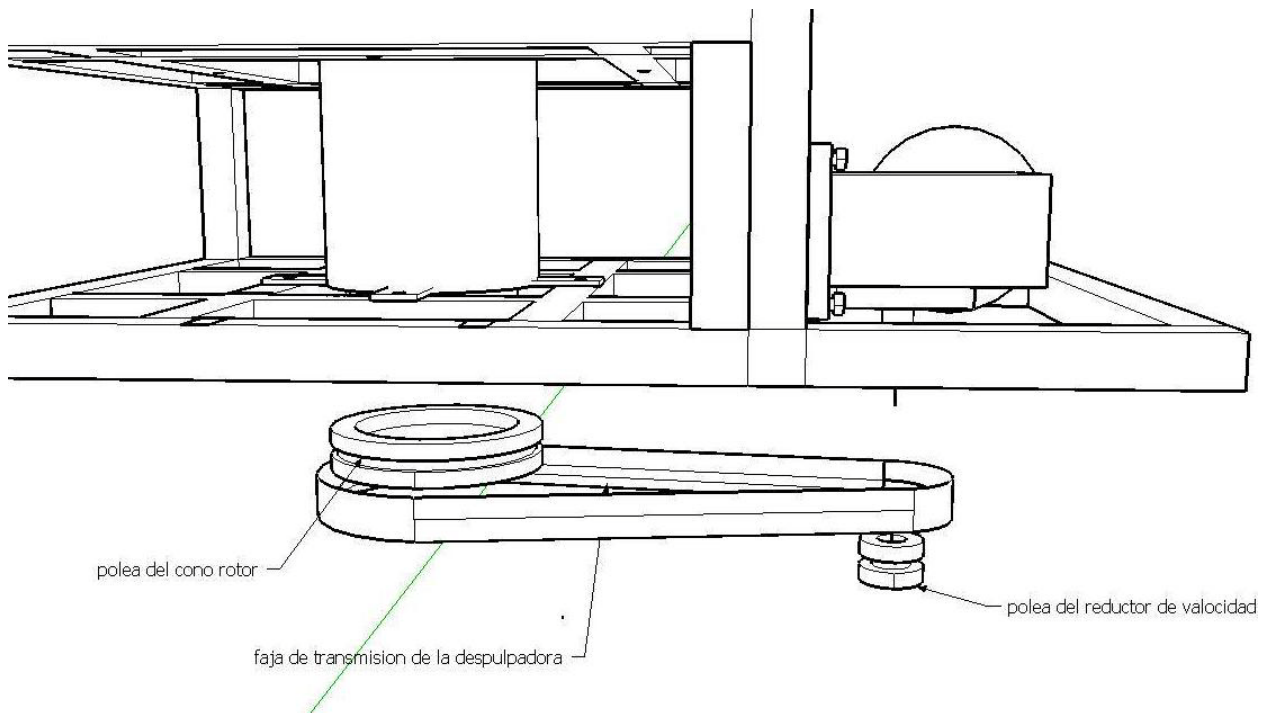


Figura 4.26 Instalar las poleas de 10" y 3" para realizar la transmisión

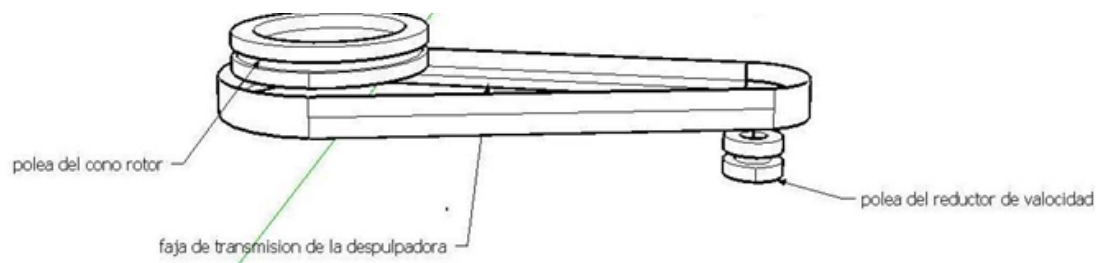


Figura 4.27 la colocación de la faja debe hacerse en el momento de la colocación de las poleas.

## CABLEADO

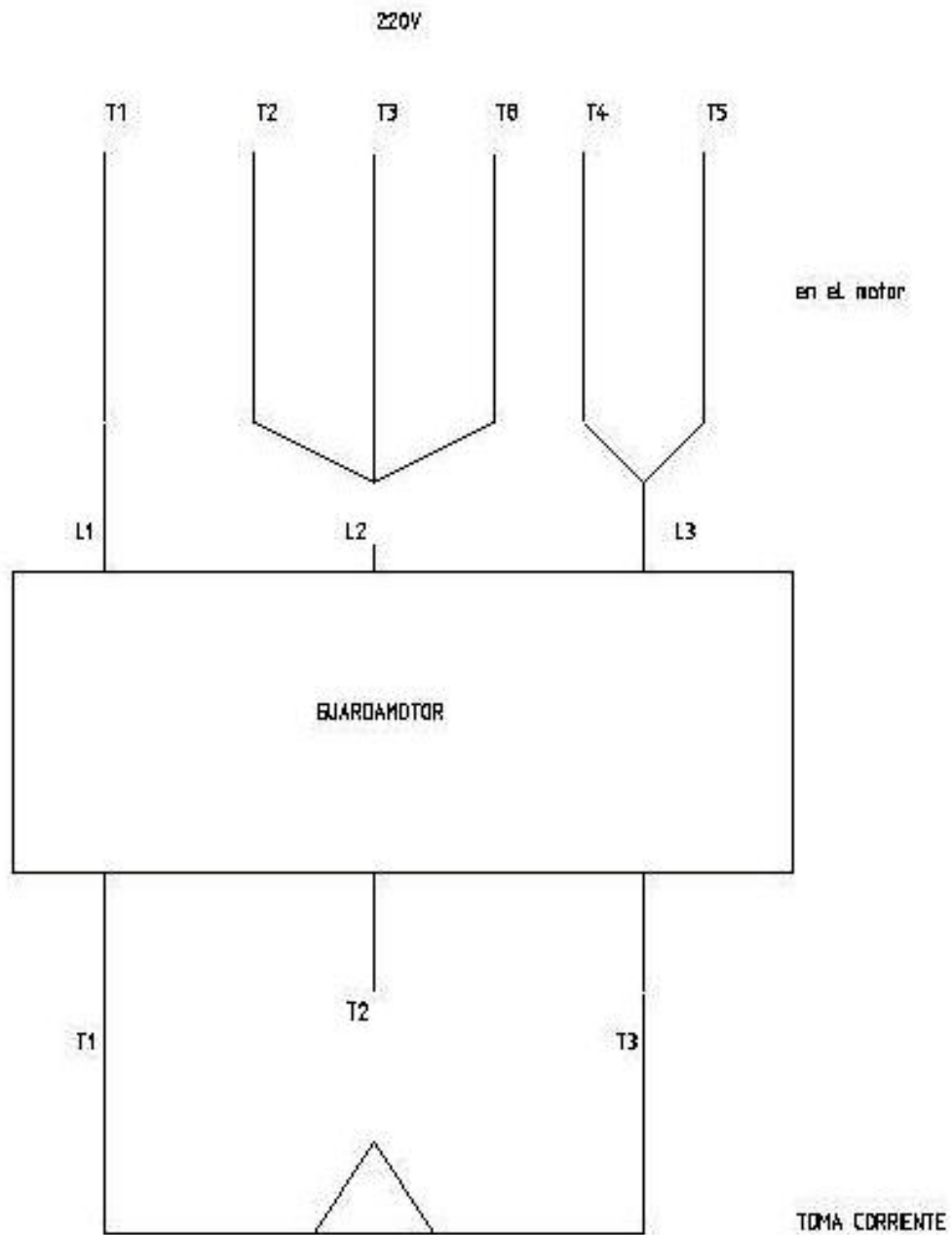


Figura 4.28 Muestra la instalación del sistema eléctrico para trabajar a 220V.

## **4.2 Mantenimiento Preventivo Periódico**

Llevar a cabo todos los procedimientos de mantenimiento y las inspecciones en los intervalos recomendados. Esto va a prolongar la vida de la máquina y a minimizar las posibilidades de fallas y reparaciones costosas.

Para registrar la historia operativa de la unidad, utilice una “Bitácora del Operador” como la que se muestra al final. La bitácora sirve como una valiosa herramienta de diagnóstico para el personal de servicio.

Al observar las tendencias en las condiciones operativas, un operador puede anticipar y evitar situaciones problemáticas antes de que éstas ocurran.

### **4.2.1 Mantenimiento Semanal Despulpadora**

1. Revisar el engrasado entre el bushing y el cono rotor

Este es de gran importancia, sobre todo en periodos largos de operación (más de 60 min consecutivos) ya que al presentar escases de la misma, se va a generar una fricción significativa que:

- Incrementa la carga de trabajo: Esto le impone un constante esfuerzo y sobrecalentamiento al motor y por tanto la reducción en la eficiencia del despulpado
- Genera desgaste: Esto se da entre la parte exterior del cilindro rotor y la pared interior del bushing; un alto grado de desgaste puede generar un des

alineamiento significativo entre las cuchillas produciendo que las mismas choquen o permitan el paso libre del fruto (mal despulpado del fruto). Si esto ocurre la pieza tendría que cambiarse e implicaría un alto costo

## 2. Engrasar los rodamientos

Puesto que estos son el soporte principal del cono rotor, y quienes a su vez facilitan el giro libre entre el cono rotor y el bushing, deben permanecer siempre lubricados.

Caso contrario pueden presentarse los siguientes problemas:

- Rodamiento atascado: esto debido a la fricción y/o suciedad entre baleros. Esto a su vez puede traer como consecuencia que la canasta se destruya y los baleros pierdan el alineamiento y se destruya el rodamiento.
- Cambio del rodamiento: debido a la disposición presentan, es importante que los rodamientos inservibles sean sustituidos ya que de lo contrario el bushing y el cilindro rotor debido al des alineamiento van a producir desgaste y todo lo antes visto.

### **4.2.2 Mantenimiento Mensual Despulpadora**

#### 3. Revisar el correcto acople entre poleas y ejes

Esto para evitar el deslizamiento entre los mismos y que los niveles para los cuales esté dispuesta la banda no se pierdan; apretar tornillo de ser necesario.

#### 4. Revisar el nivel de aceite de la caja reductora

Es necesario ya que al tener un nivel muy bajo de aceite, la caja reductora le genera una sobrecarga al motor demandándole más potencia, se puede incluso trabar y hacer que el motor se proteja o queme.

Es recomendable tras un periodo largo sin uso (4 meses o más), encender el equipo sin carga durante 2 min para que el aceite lubrique de manera correcta la caja reductora.

El aceite debe cambiarse anualmente o tras 1000 horas de trabajo

5. Revisar voltaje y corriente en el motor y la calibración del guarda motor.  
De ser necesario, revise y apriete toda conexión eléctrica.

#### **4.2.3 Mantenimiento Semestral Despulpadora**

6. Realizar limpieza en las cuchillas  
Esto con la finalidad de evitar la acumulación gruesa y permanente de residuos pequeños que no son posibles de limpiar con el sistema de auto limpieza para partes grandes instalado el cono fijo.
7. Limpiar y retocar con pintura las partes con tendencia a oxidación  
Esto para el soporte de toda la despulpadora, se evita de esta manera la oxidación y el debilitamiento de la misma, así mismo se alarga la vida de la máquina y se presta un servicio seguro. Es importante no olvidar la limpieza de la bandeja transportadora y un retoque de pintura a la misma.
8. Hacer un chequeo general de los pernos instalados y cambiar los que se necesite  
Esto debe hacerse en toda la máquina debido a la vibración que se presenta por el funcionamiento, sobre todo en sectores donde la humedad sea bastante crítica como en el caso de los instalados en las cuchillas.

#### **ADVERTENCIA**

Antes de dar mantenimiento a la máquina, desconecte toda la energía eléctrica. El no desconectar la energía antes de dar servicio podría dar como resultado lesiones severas o la muerte.

#### **4.2.4 Mantenimiento Semanal Separador**

1. Aceitar los cojinetes y revisar el alineamiento del eje

Esto para garantizar el correcto funcionamiento y evitar un cambio de cojinetes por atascamiento, el lavado de los mismos y de esta manera alargar la vida de dichos cojinetes.

#### **4.2.5 Mantenimiento Mensual Separador**

2. Revisar el correcto acople entre poleas y ejes

Esto para evitar el deslizamiento entre los mismos y que el alineamiento para los cuales esté dispuesta la banda no se pierdan; apretar tornillo de ser necesario.

3. Revisar el correcto acople entre motor y caja reductora

Un acoplamiento desalineado dará como resultado una mala transmisión y por ende un sobre esfuerzo en el motor.

4. Revisar el nivel de aceite de la caja reductora

Es necesario ya que al tener un nivel muy bajo de aceite, la caja reductora le genera una sobrecarga al motor demandándole más potencia, en este caso la parte más sensible a dañarse sería la caja reductora

Es recomendable tras un periodo largo sin uso (4 meses o más), encender el equipo sin carga durante 2 min para que el aceite lubrique de manera correcta la caja reductora.

El aceite debe cambiarse anualmente o tras 1000 horas de trabajo

5. Revisar voltaje y corriente en el motor y la calibración del guarda motor.

De ser necesario, revise y apriete toda conexión eléctrica.

6. Limpiar las bandejas de salida de semilla y cáscara  
De ser necesario dar un retoque de pintura para evitar la oxidación y alargar la vida de las mismas debido al alto contenido de humedad presente en cada una de ellas
  
7. Revisar la correcta colocación de la malla  
Esto para evitar que se rompa y haya residuos de cáscara en la bandeja para semillas.

#### **4.2.6 Mantenimiento Semestral Separador**

8. Limpiar y retocar con pintura las partes con tendencia a oxidación  
Esto para el soporte de todo el separador, se evita de esta manera la oxidación y el debilitamiento del mismo, así mismo se alarga la vida de la máquina y se presta un servicio seguro. Es importante dar un retoque de pintura al eje y las llantas ya que estos están en contacto directo con el fruto húmedo.
  
9. Hacer un chequeo general de los pernos instalados y cambiar los que se necesite  
Esto debe hacerse en toda la máquina debido a la vibración que se presenta por el funcionamiento.
  
10. Hacer un cambio de malla de ser necesario.

#### **ADVERTENCIA**

Antes de dar mantenimiento a la máquina, desconecte toda la energía eléctrica. El no desconectar la energía antes de dar servicio podría dar como resultado lesiones severas o la muerte.



Plan de Mantenimiento Despulpadora de Tempate

Nombre operador:				Fecha:			
Despulpadora				Separador			
Mantenimiento Semanal				Mantenimiento Semanal			
Descripción de la tarea		Observación		Descripción de la tarea		Observación	
Engrasado entre el bushing y el cono rotor				Aceitar los cojinetes			
Engrasar los rodamientos				Revisar el alineamiento del eje			
Mantenimiento Mensual				Mantenimiento Mensual			
Correcto acople entre poleas y ejes				Correcto acople entre poleas y ejes			
Nivel de aceite de la caja reductora				Nivel de aceite de la caja reductora			
				Correcto acople entre motor y caja reductora			
				Limpiar las bandejas de salida de semilla y cáscara			
				Correcta colocación de la malla			
Voltaje Motor		Amperaje Motor		Voltaje Motor		Amperaje Motor	
Calibración del guarda motor				Calibración del guarda motor			
Mantenimiento Semestral				Mantenimiento Semestral			
Limpieza en las cuchillas				Cambio de malla de ser necesario			
Limpieza y retoques de pintura partes oxidadas				Limpieza y retoques de pintura partes oxidadas			
Chequeo general de los pernos instalados				Chequeo general de los pernos instalados			

### **4.3 RECOMENDACIONES**

Para mejorar el la eficiencia de la maquina haremos un listado de recomendaciones que van enfocadas tanto a tareas de operación como a algunas modificaciones que se le pueden hacer a la maquina.

- Limpieza periódica después de terminado el despulpado, si es necesario despulpar durante todo el día, es necesaria la limpieza de por lo menos en dos ocasiones durante el día.
- Que una persona este en supervisión permanente durante el proceso de despulpado, para cualquier eventualidad que se presente, ya que la maquina necesita ayuda manual en el momento que el tempate sale de la cámara de despulpado, cuando la semilla sale del separador para recogerla, cuando la cascara sale del separador para reciclarla.
- Instalar una malla separadora adicional, debajo del separador ya que cuando el tempate se descascara, queda una especie de basura fina adjunta al tempate, con lo que otra maya serviría para dejar pasar la basura fina y atrapar la semilla para dejarla libre de basura.

## ***CONCLUSIONES***

- Poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica pudimos diseñar, modificar y construir una máquina despulpadora de tempate que a la vez clasifique y separe en su totalidad la cáscara de la semilla de una manera automatizada y eficiente.
- Para el proceso de despulpado de la *Jatropha* es necesario contar una máquina que permita realizar dicho proceso de manera eficiente y sin la mucha intervención humana posible ya que esto reduce los costos y disminuye las pérdidas en frutos no procesados.
- Haciendo uso de la Ingeniería Mecánica como herramienta de trabajo se hace rentable si se hacen a gran escala un proyecto como es el de la elaboración del biodiesel a través de la fabricación de diseños propios de maquinaria que efectúen las labores de manera eficaz y generen una mayor producción.
- Por medio de los manuales de instalación, operación y mantenimiento se busca que el operador de la máquina la utilice de manera adecuada y y de mantenimiento de manera autónoma al equipo.

**ANEXOS**



**Anexo 1**  
**Tallo del Tempate**



**Anexo 2**  
**Raiz del Tempate**



**Anexo 3**  
**Hojas de Tempate**





**Anexo 4**  
**Flor del Tempate**



**Anexo 5**  
**Fruto del Tempate**



**Anexo 6**  
**Semilla de Tempate**



**Anexo 7**  
**Planta de Tempate**

## Anexo 8

### Tablas para selección de fajas en V

Tabla 13-1 Factores de servicio para bandas en V

Tipo de máquina que es impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: torque normal <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en derivación Motores: de cilindro múltiple			Motores de CA: torque alto <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores: de 4 o menos cilindros		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrifugas, transportadores, ligeras	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, herramientas para máquinas, mezcladores, transportadores, grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de baldes o recipientes, máquinas textiles, molinos de martillo, transportadores, pesadas	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bola, malacates, extruidoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Cualquier máquina que pueda ahogarse	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

<sup>a</sup>Sincrónicos, de fase dividida, de tres fases con torque (par) de arranque o torque (par) al paro menor que 250% del torque con carga total.

<sup>b</sup>De fase única, trifásico con torque (par) de arranque o torque (par) al paro mayor que 250% del torque con carga total.

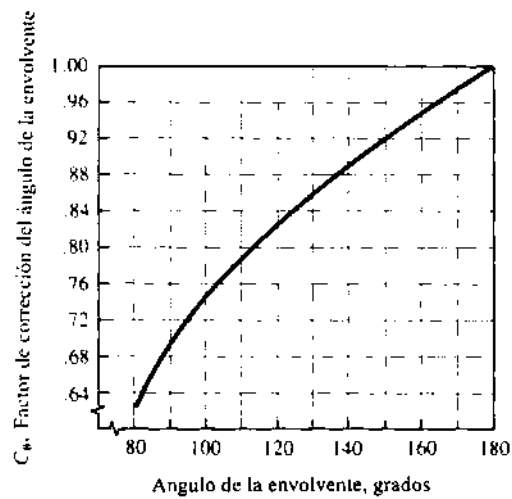


## Anexo 9

### Tabla longitudes de bandas

**Tabla 13-2 Longitudes de banda estándar para bandas 3V, 5V y 8V (pulg)**

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	
			355	



**Figura 13-14 Factor de corrección del ángulo de la envolvente,  $C_\theta$**

## Anexo 10

### Tabla selección de velocidades para motores CA

Tabla 17-2 Velocidades de motores CA

Número de polos	Velocidad sincrónica (rpm)	Velocidad con carga total <sup>a</sup> (rpm)
2	3 600	3 450
4	1 800	1 725
6	1 200	1 140
8	900	850
10	720	690
12	600	575

<sup>a</sup>Aproximadamente 95% de velocidad sincrónica (deslizamiento normal).

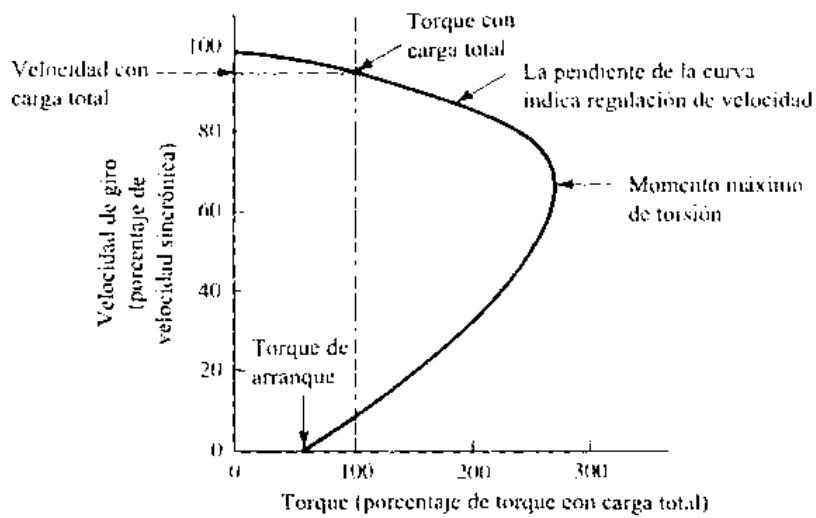


Figura 17-6 Forma general de una curva de rendimiento para motores

Anexo 11

Tabla selección tamaño de los cojinetes

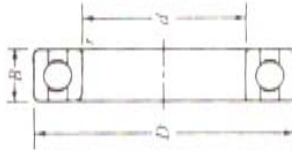


Tabla 15-2 Datos para selección de cojinetes bola, de hilera única, ranura profunda, tipo Conrad

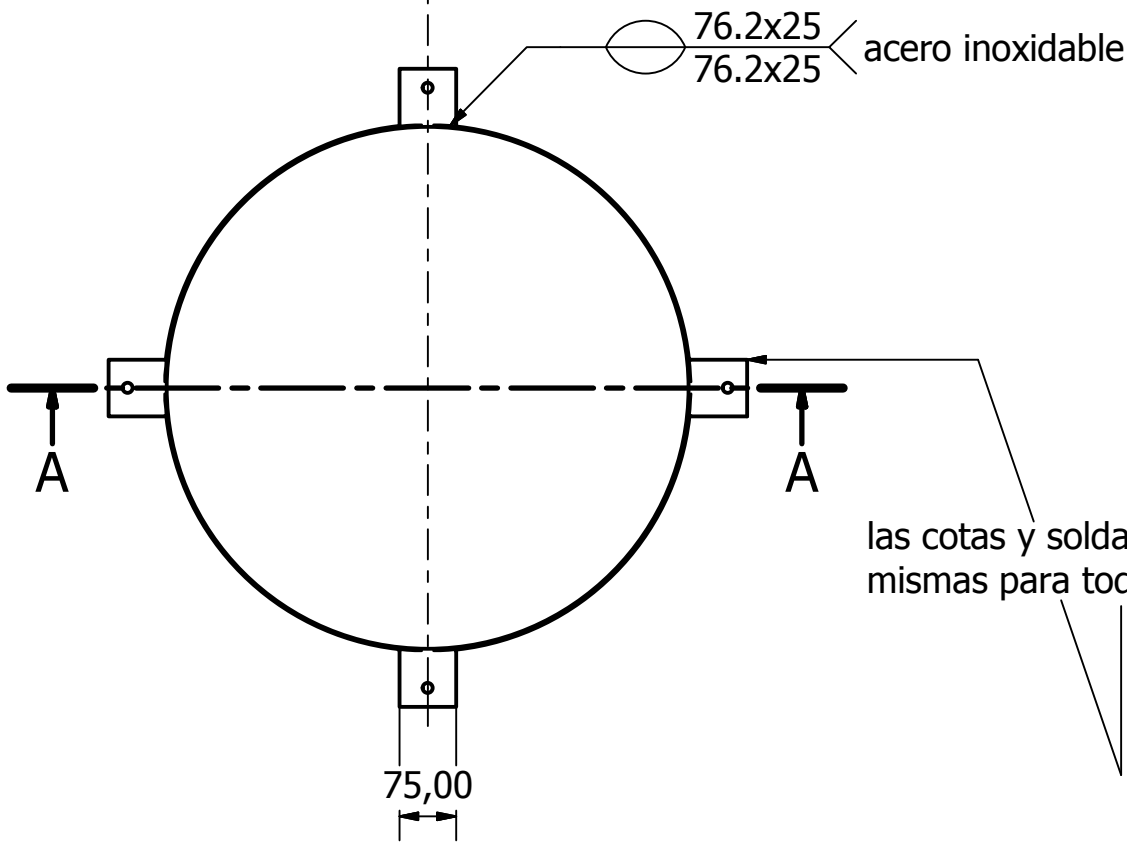
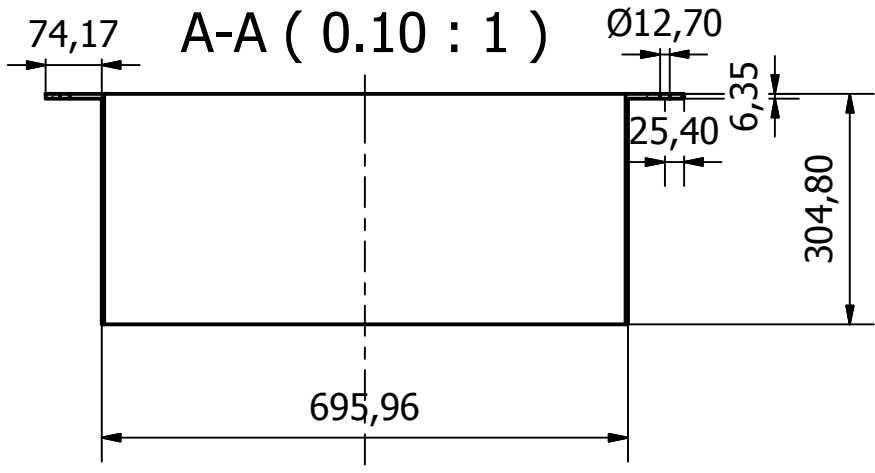
Serie 6200

Número de cojinete	Dimensiones nominales de los cojinetes										Diámetro de hombro que se prefiere		Peso del cojinete lb	Especif. básica en cuanto a carga estática lb	Especif. básica en cuanto a carga dinámica lb
	d		D		B		r'	Flecha	Carcasa	lb	lb				
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg						
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885			
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180			
6202	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320			
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660			
6204	20	0.7874	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210			
6205	25	0.9843	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430			
6206	30	1.1811	62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350			
6207	35	1.3780	72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450			
6208	40	1.5748	80	3.1496	18	0.7087	0.039	1.811	2.874	0.82	3650	5050			
6209	45	1.7717	85	3.3465	19	0.7480	0.039	2.008	3.071	0.89	4150	5650			
6210	50	1.9685	90	3.5433	20	0.7874	0.039	2.205	3.268	1.02	4650	6050			
6211	55	2.1654	100	3.9370	21	0.8268	0.059	2.441	3.602	1.36	5850	7500			
6212	60	2.3622	110	4.3307	22	0.8661	0.059	2.717	3.996	1.73	7250	9050			
6213	65	2.5591	120	4.7244	23	0.9055	0.059	2.913	4.390	2.18	8000	9900			
6214	70	2.7559	125	4.9213	24	0.9449	0.059	3.110	4.587	2.31	8800	10800			
6215	75	2.9528	130	5.1181	25	0.9843	0.059	3.307	4.783	2.64	9700	11400			
6216	80	3.1496	140	5.5118	26	1.0236	0.079	3.504	5.118	3.09	10500	12600			
6217	85	3.3465	150	5.9055	28	1.1024	0.079	3.740	5.512	3.97	12300	14600			
6218	90	3.5433	160	6.2992	30	1.1811	0.079	3.937	5.906	4.74	14200	16600			
6219	95	3.7402	170	6.6929	32	1.2598	0.079	4.213	6.220	5.73	16300	18800			
6220	100	3.9370	180	7.0866	34	1.3386	0.079	4.409	6.614	6.94	18600	21100			
6221	105	4.1339	190	7.4803	36	1.4173	0.079	4.606	7.008	8.15	20900	23000			
6222	110	4.3307	200	7.8740	38	1.4961	0.079	4.803	7.402	9.59	23400	24900			
6224	120	4.7244	215	8.4646	40	1.5748	0.079	5.197	7.992	11.4	26200	26900			

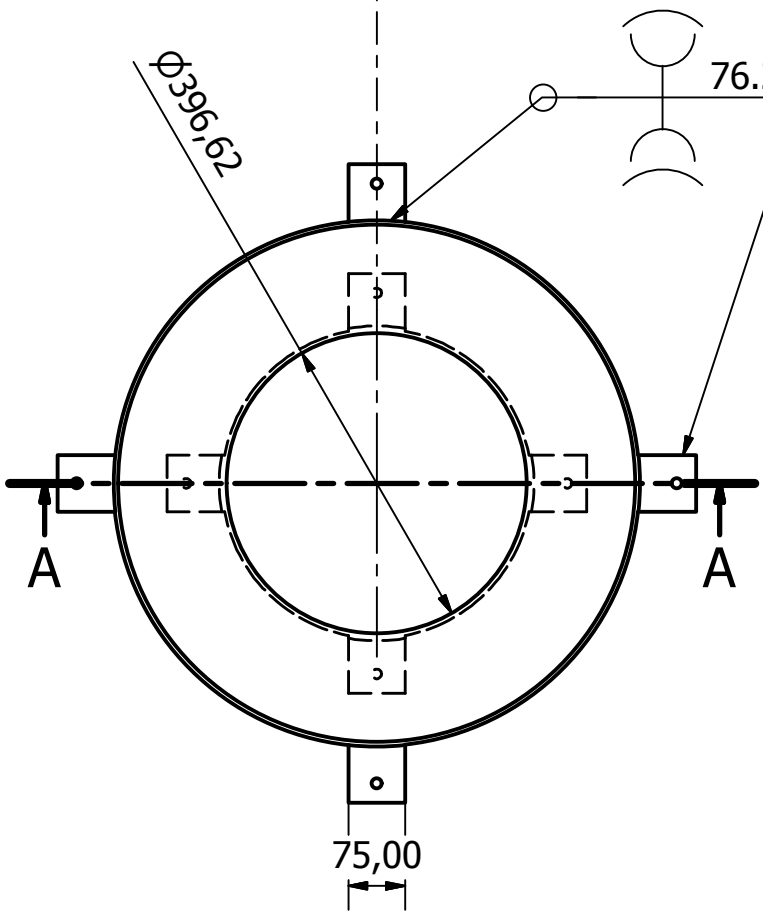
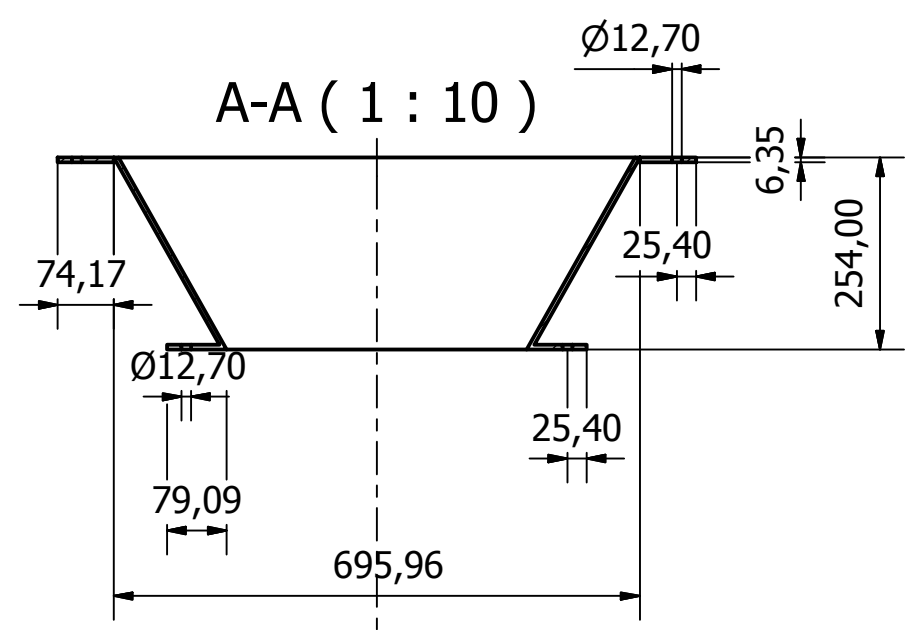
Anexo 12

**ANEXO 12**

**PLANOS DE TALLER DE LA MÁQUINA COMO CONSTRUIDO**



	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	CILINDRO RECEPTOR			TRABAJO DE GRADUACION	
1:10				MATERIAL	PLANO 1
				AISI 304	

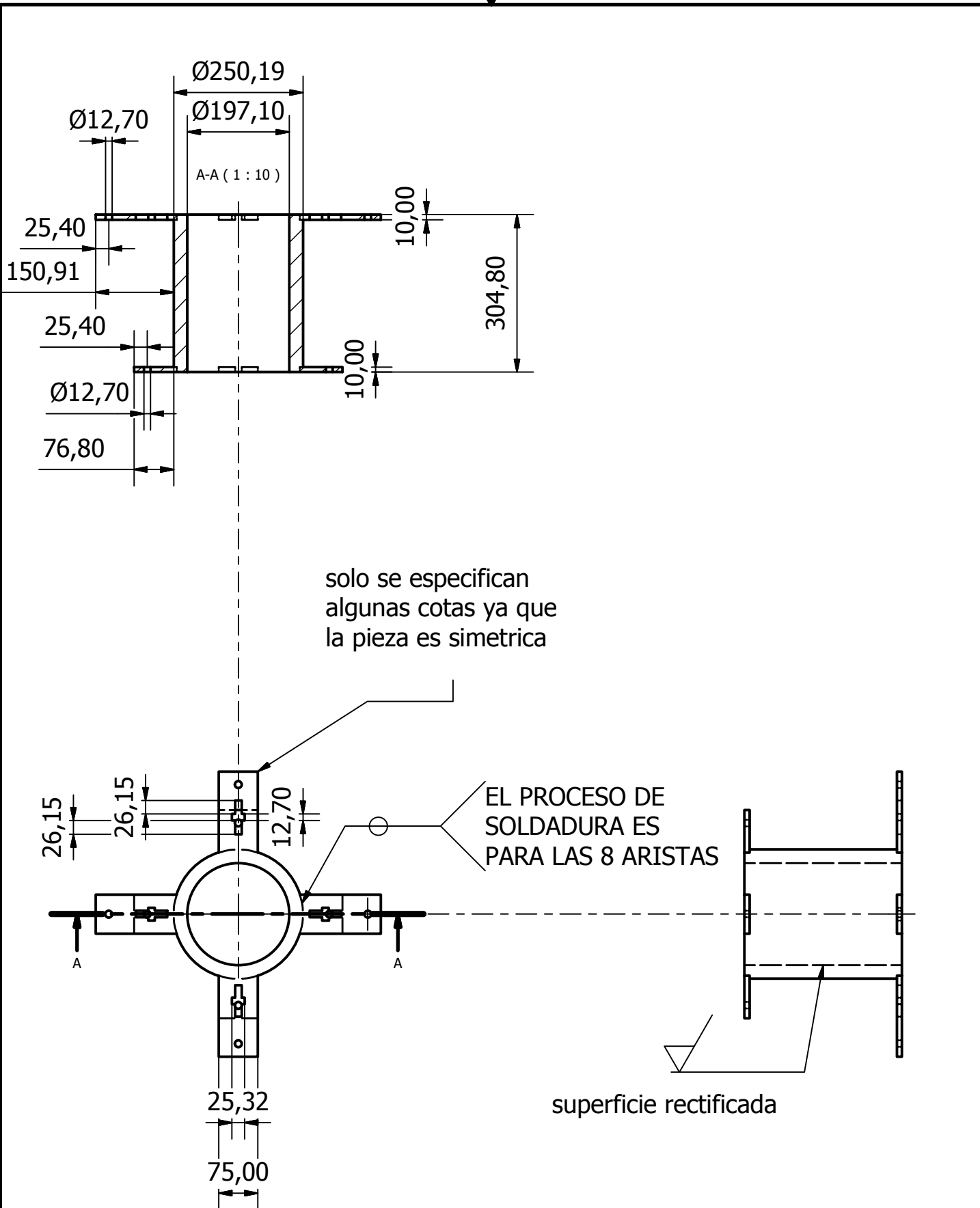


acero inoxidable

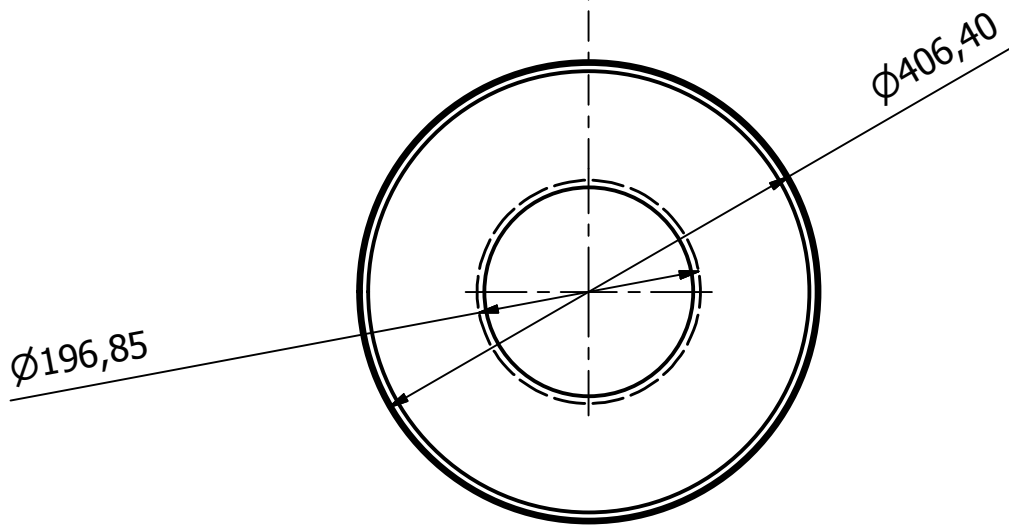
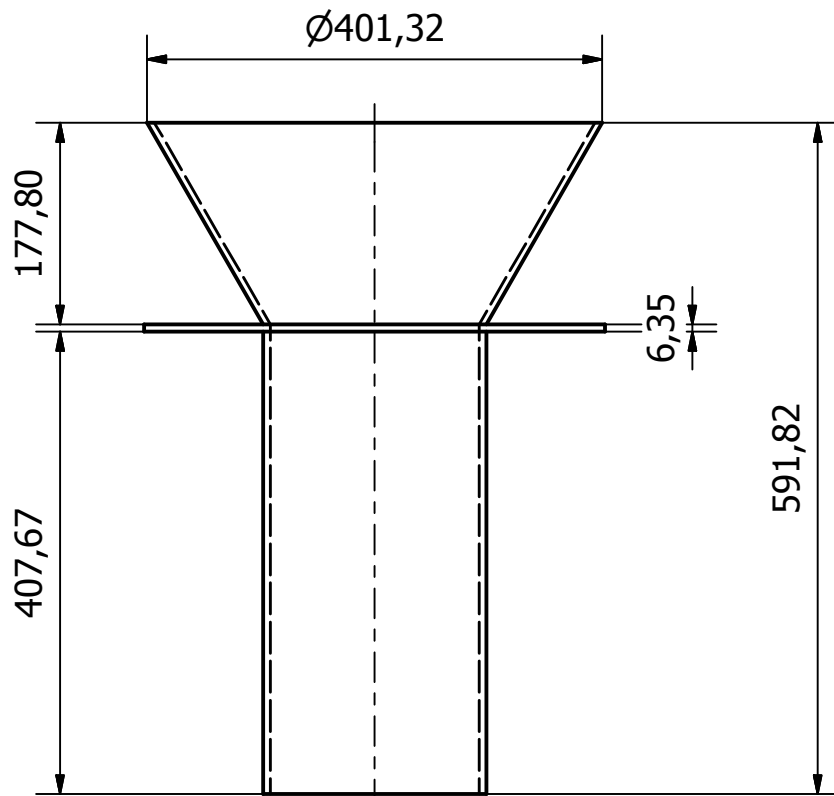
las cotas y la indicacion de soldadura aplica para 8 aristas

cotas en mm

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS	ESCUELA DE ING. MECANICA		
Escala 1:10	CONO RECEPTOR		TRABAJO DE GRADUACION		
			MATERIAL AISI 1020	PLANO 2	



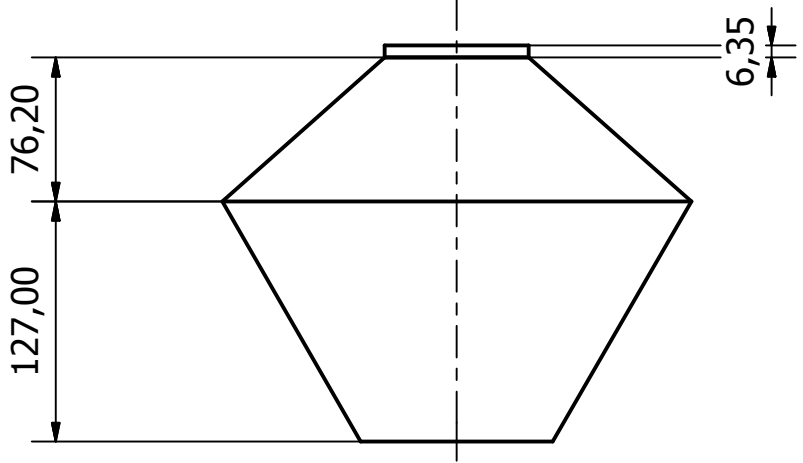
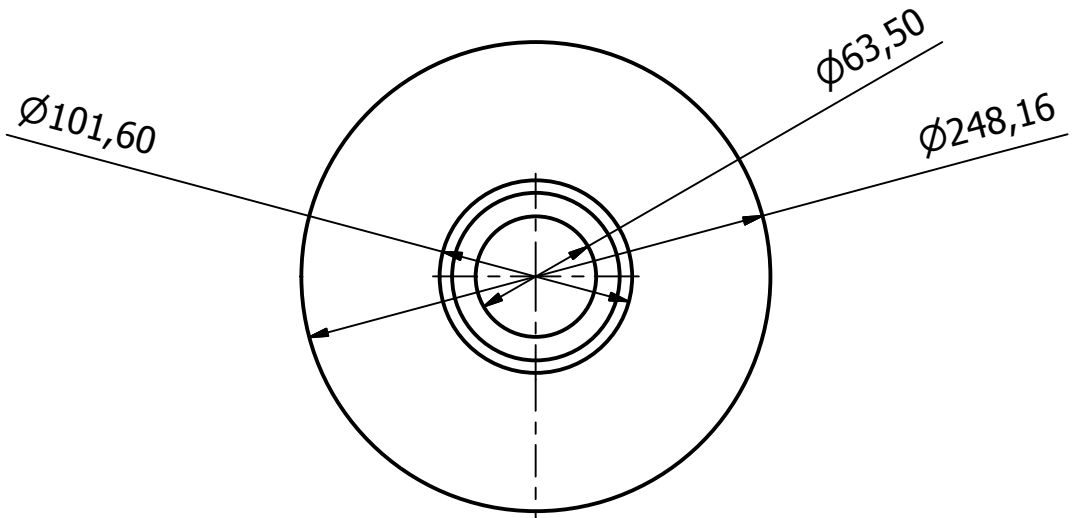
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	BUSHING DESPULPADORA		TRABAJO DE GRADUACION		
1:10			ACERO 1020	PLANO 3	



cotas en mm

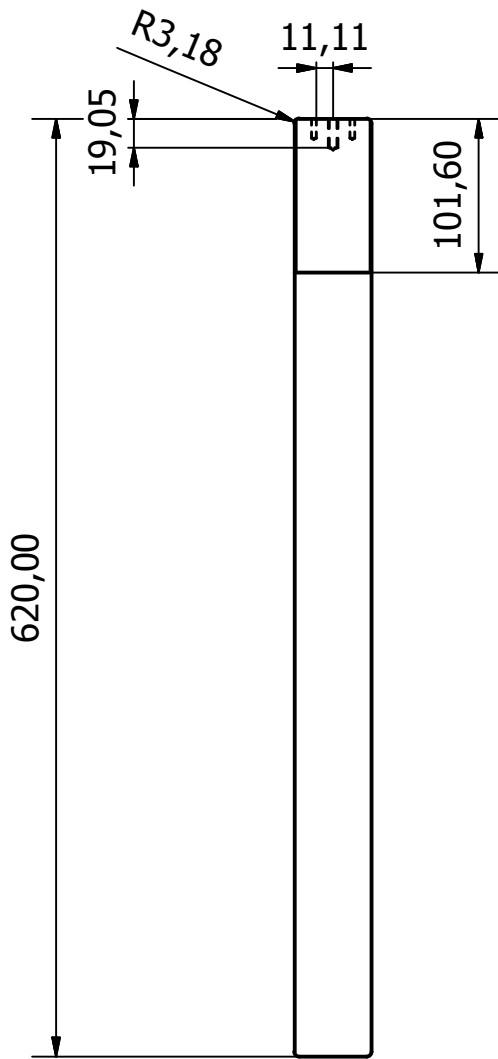
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	CONO ROTOR			TRABAJO DE GRADUACION	
1:7				AISI 1020	





cotas en mm

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	CONO FIJO			TRABAJO DE GRADUACION	
1:4				AISI 1020	PLANO 5

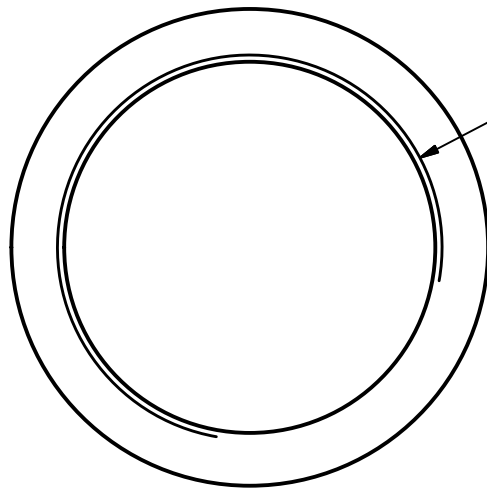


2 1/16-16 UNS - 2A      Ø0,13 -0,50 DEEP

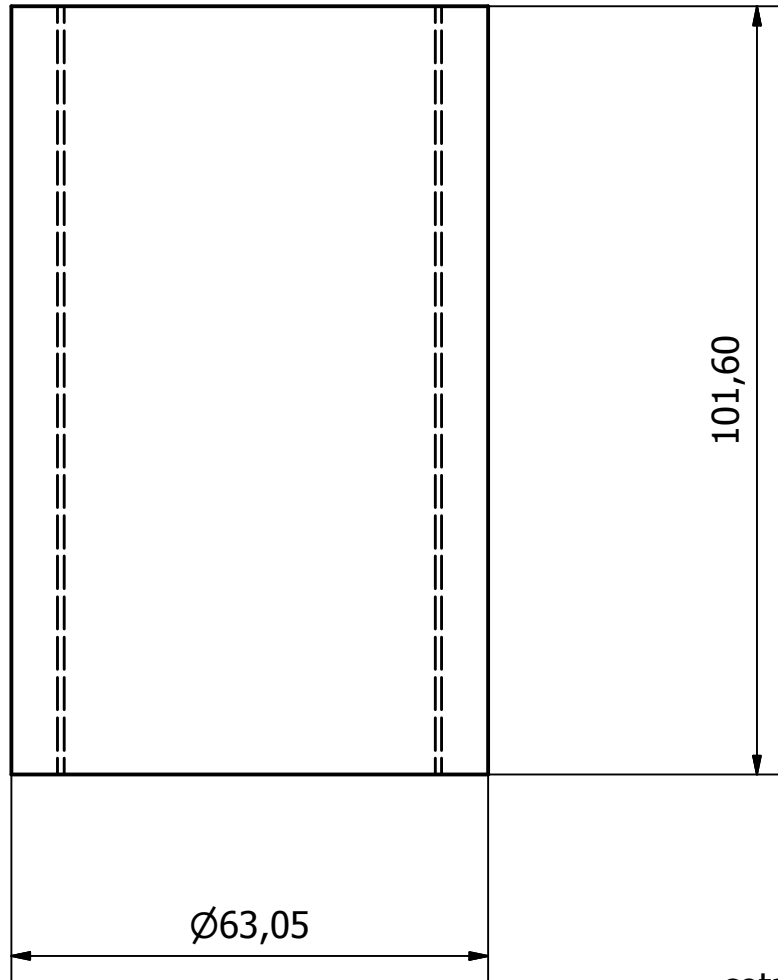
1/4-20 UNC - 2B

cotas en mm

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE ING. MECANICA	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR			
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		TRABAJO DE GRADUACION	
Escala 1:5	VASTAGO CONO FIJO			AISI 304	PLANO 6



2-16 UN - 2B

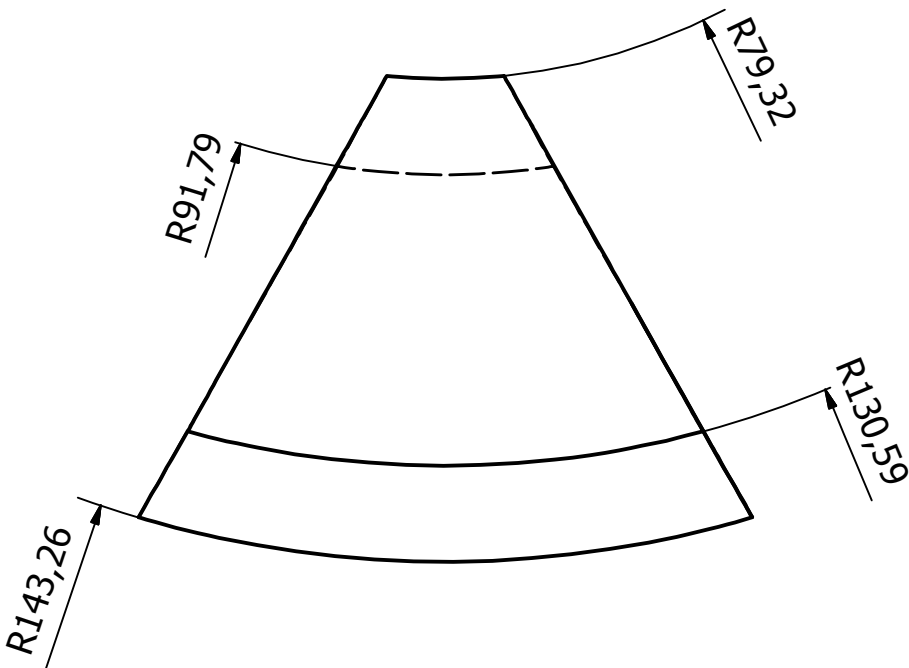
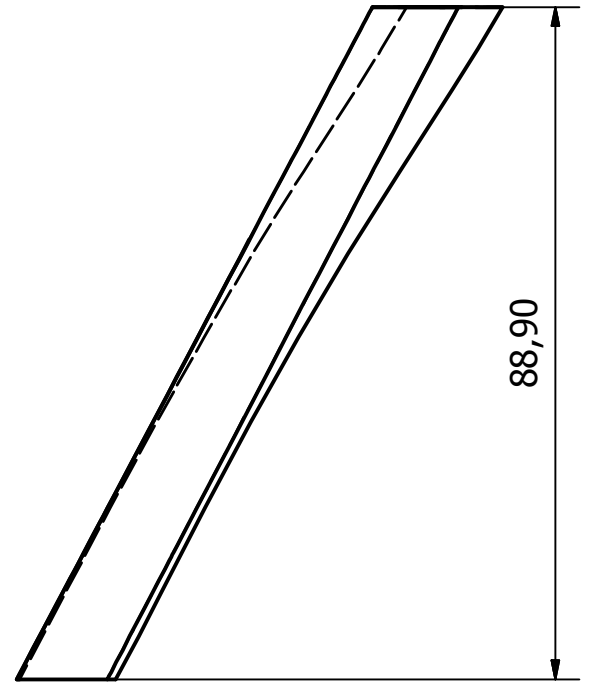
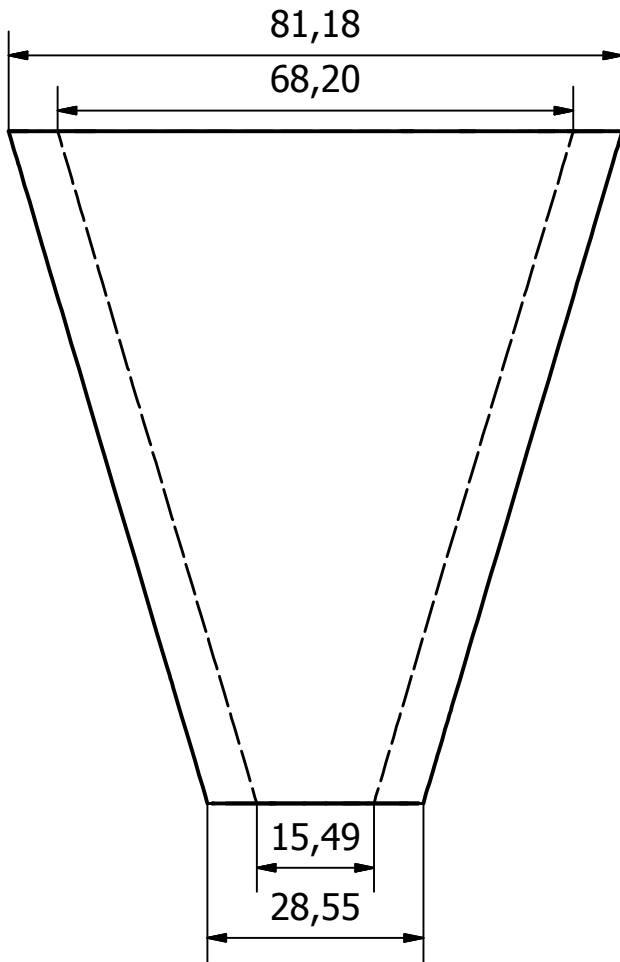


Ø63,05

101,60

cotas en mm

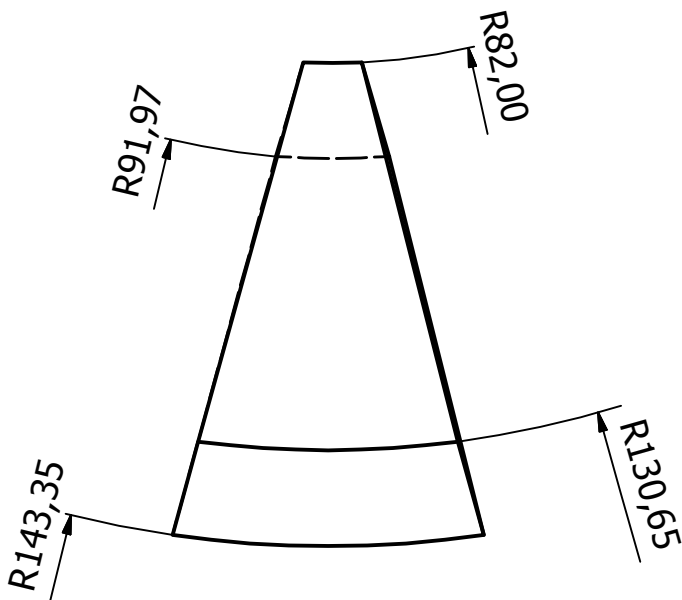
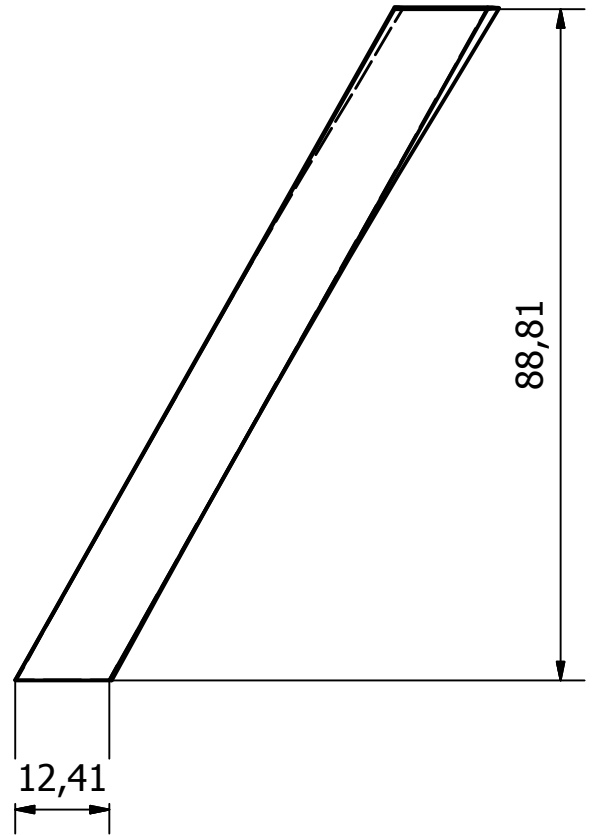
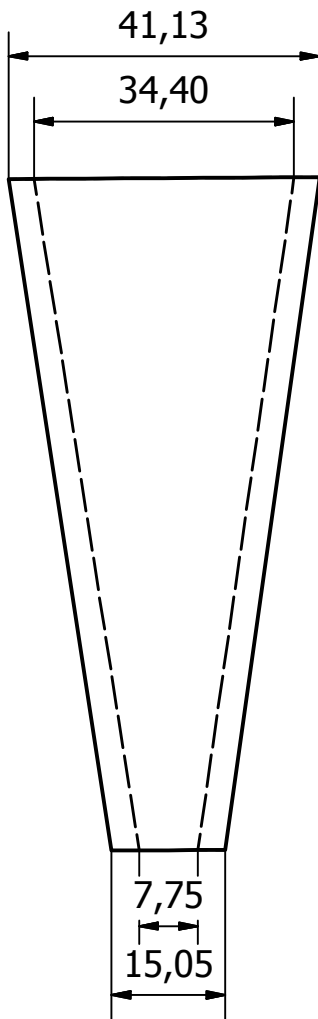
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala 1:1	BUSHING REGULACION			TRABAJO DE GRADUACION	
				AISI 1020	PLANO 7



x4 piezas

cotas en mm

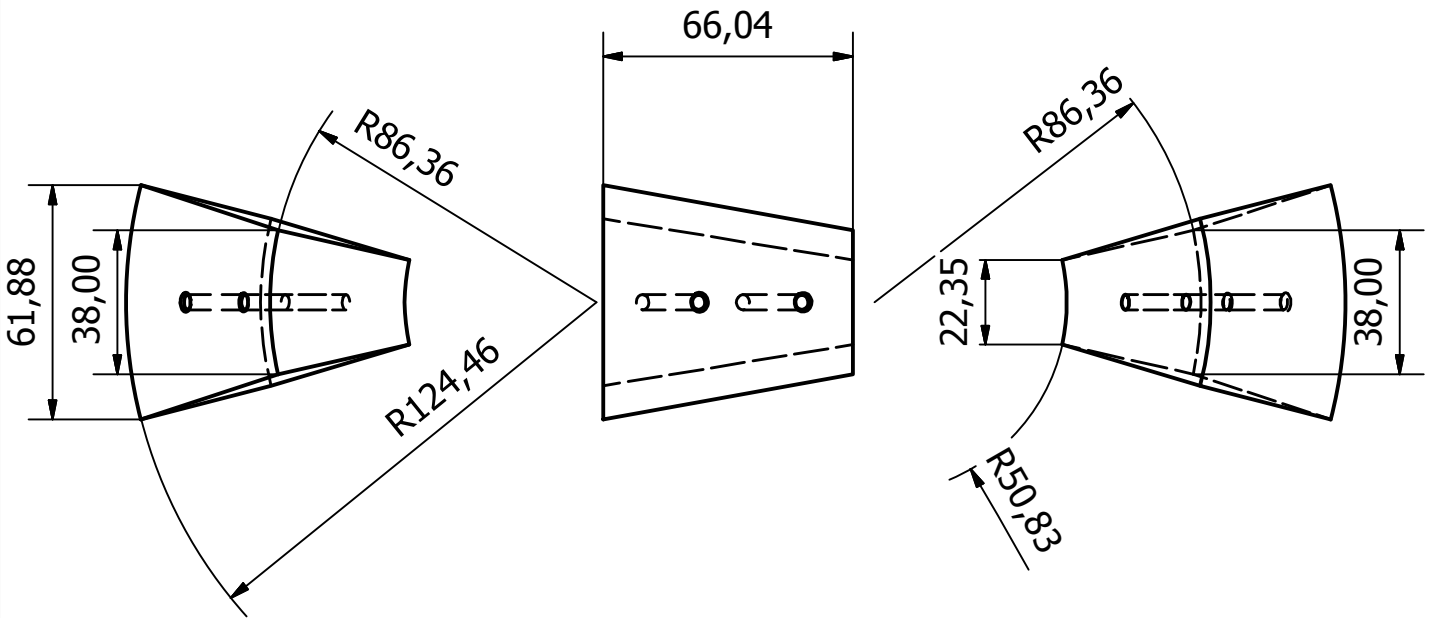
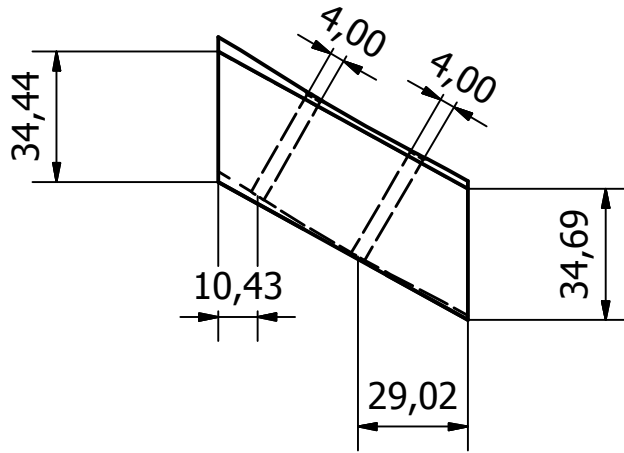
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala 1:1	CUCHILLA GRANDE CONO ROTOR			TRABAJO DE GRADUACION	
				AISI 304	PLANO 8



x4 piezas

cotas en mm

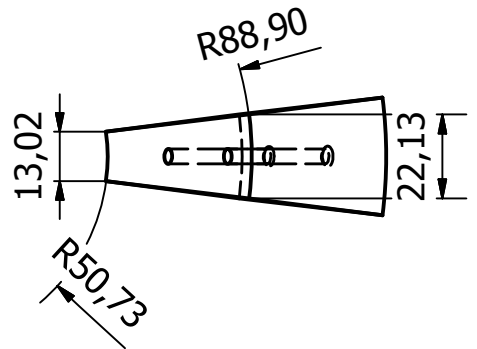
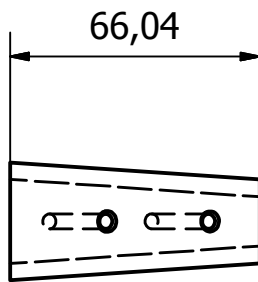
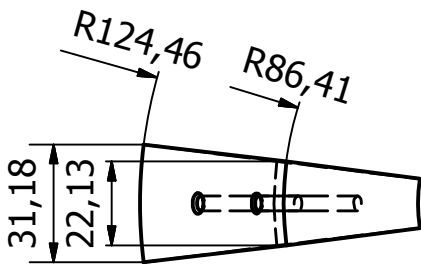
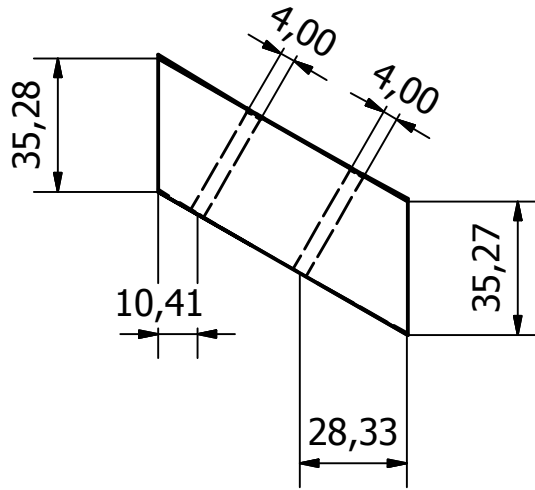
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala 1:1	CUCHILLA PEQUENA CONO ROTOR			TRABAJO DE GRADUACION	
				AISI 304	PLANO 9



x 4 piezas

cotas en mm

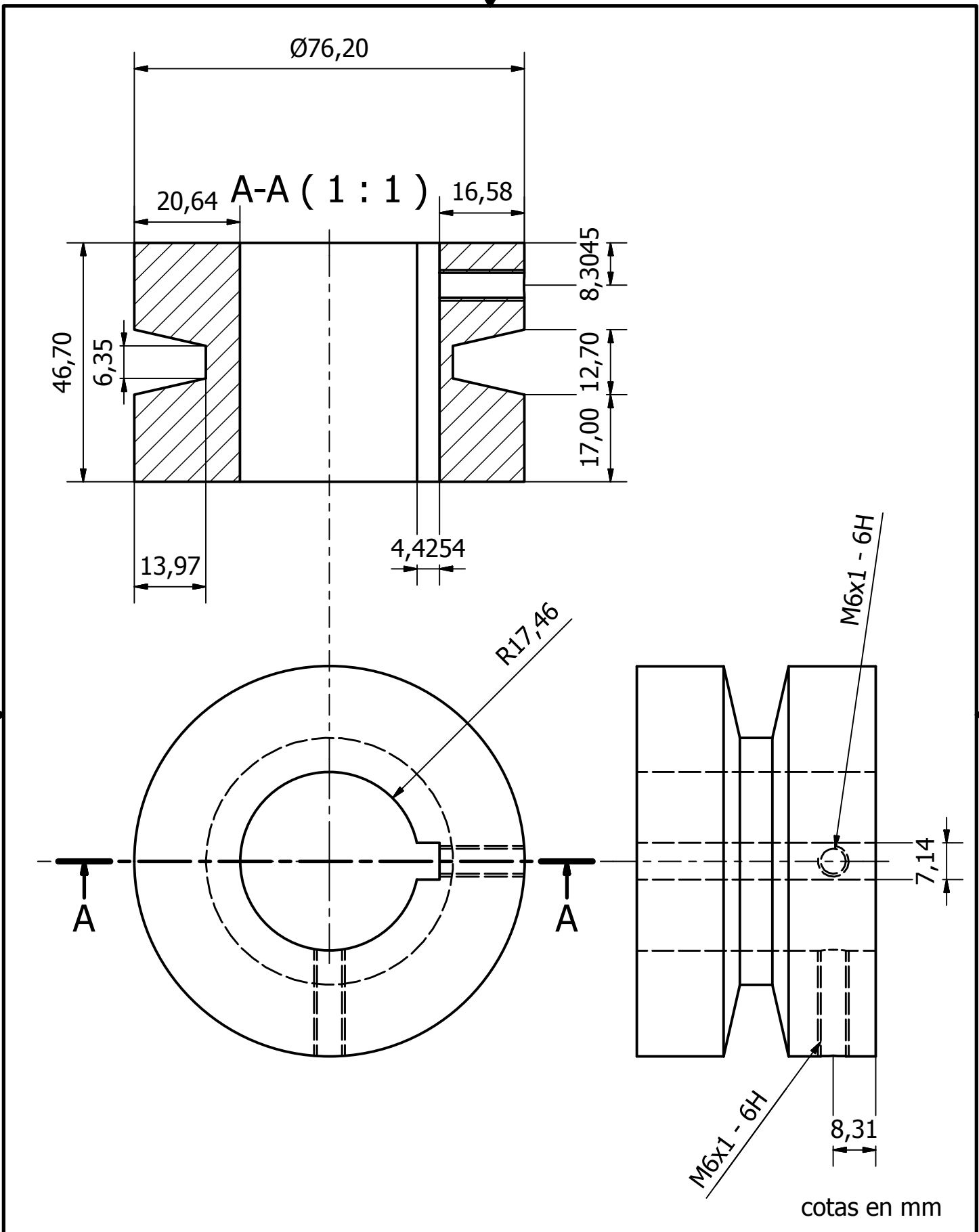
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS	ESCUELA DE ING. MECANICA		
Escala 1:2	CUCHILLA GRANDE CONO FIJO		TRABAJO DE GRADUACION		
			AISI 304	PLANO 10	



x4 piezas

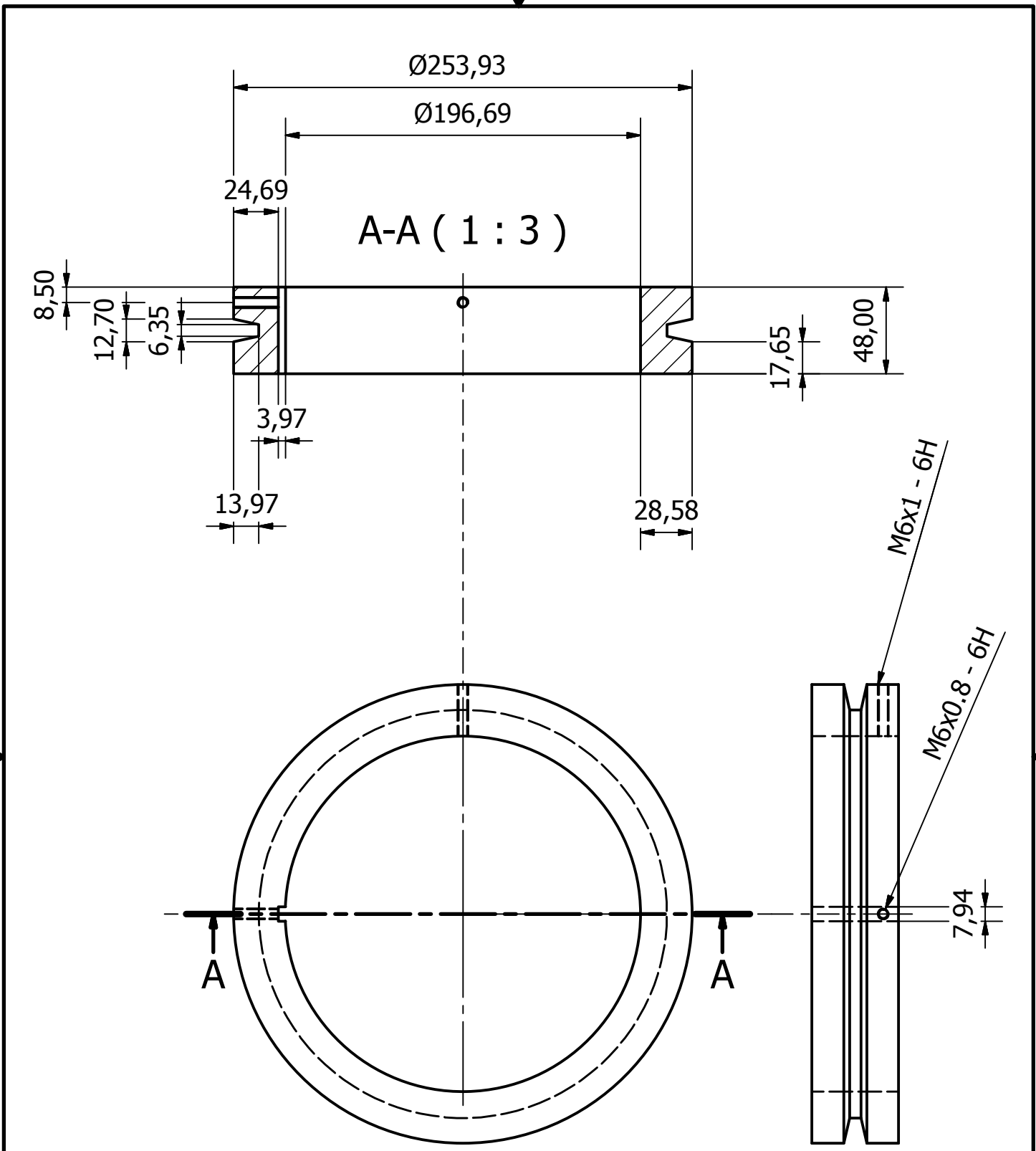
cotas en mm

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala 1:2	CUCHILLA PEQUENA CONO FIJO			TRABAJO DE GRADUACION	
				AISI 304	PLANO 11



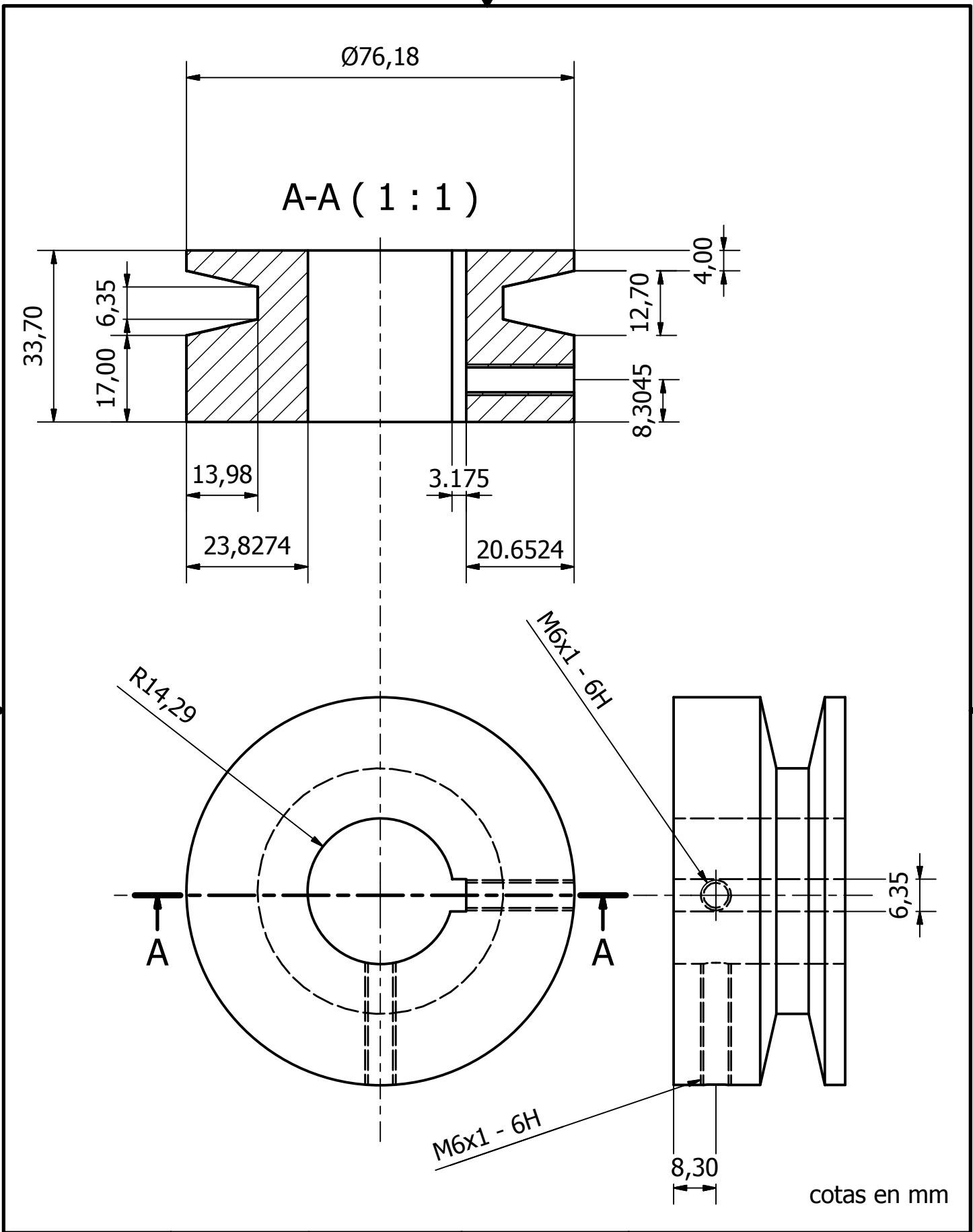
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	POLEA DESPULPADORA 3"			TRABAJO DE GRADUACION	
1:1				ALUMINIO	PLANO 12



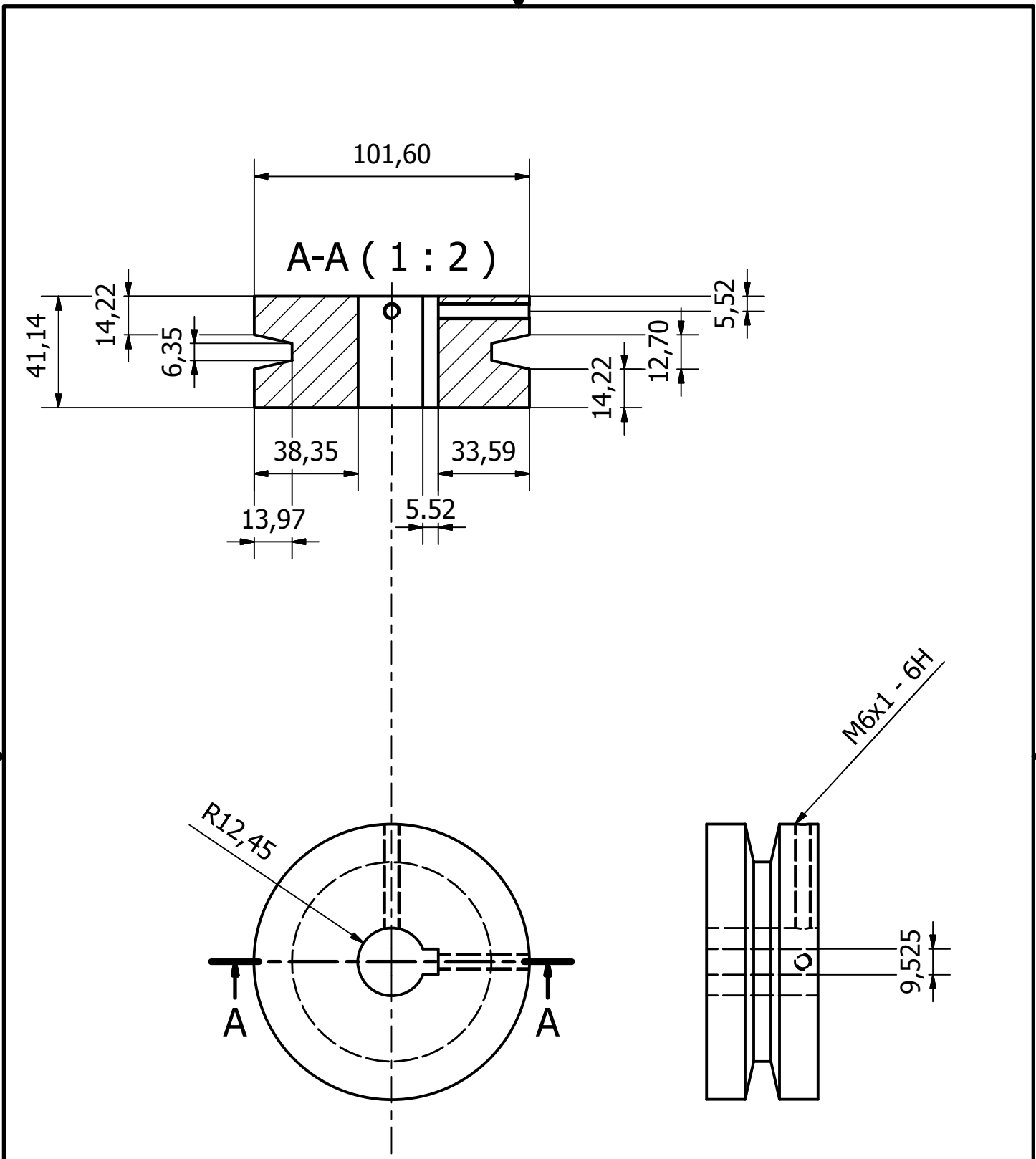


cotas en mm

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	POLEA 10" DESPULPADORA			TRABAJO DE GRADUACION	
1:3				ALUMINIO	PLANO 13



	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala	POLEA 3" SEPARADOR			TRABAJO DE GRADUACION	
1:1				ALUMINIO	PLANO 14



cotas en mm

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
Dibujado	15/08/2010	AMILCAR		FACULTAD DE INGENIERIA	
Comprobado	15/08/2010	ELVIS		ESCUELA DE ING. MECANICA	
Escala 1:2	POLEA 4" SEPARADOR			TRABAJO DE GRADUACION	
				ALUMINIO	PLANO 15

## ***BIBLIOGRAFÍA***

- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke; DISEÑO DE INGENIERIA MECÁNICA; Editorial McGraw Hill Book Co; 6ª ed. Español; México 2002.
- Robert L. Mott; DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS; Editorial Prentice Hall S.A.; 1ª Ed. Español; México 1992.
- Pedro Albarracín Aguillón; TRIBOLOGIA Y LUBRICACIÓN INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ; Tomo I; 2ª Edición.
- Joseph E. Shigley, John J. Vicker Jr.; TEORIA DE MAQUINAS Y MECANISMOS; Editorial McGraw Hill Book Co; 1ª Ed. Español; México 1986.
- Hamilton H. Mabie, Fred W. Ocvirk; MECANISMOS Y DINÁMICA DE MAQUINARIA; Editorial Limusa, 1ª ed. Español; México 1978.
- Robert C. Juvinall; FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA INGENIERÍA MECÁNICA; Editorial Limusa; 1ª ed. Español, México 1991.
- M.F. Spotts, T.E. Shoup; ELEMENTOS DE MÁQUINAS; Editorial Prentice Hall S.A.; 7ª ed. Español; México 1999.
- <http://www.jatrophacurcas.com/about.asp>
- [www.jatrophacurcas.org](http://www.jatrophacurcas.org)
- <http://www.biodieselcommunity.org/testingoilforwater/>