

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO. CAPACIDAD 2 Kg / día”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ROBERT ORLANDO PAREDES TUFIÑO

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ.

CODIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI

Sangolquí, 2006 – 04 -

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO. CAPACIDAD 2 Kg / día” fue realizado en su totalidad por Robert Orlando Paredes Tufiño, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez.

DIRECTOR

Ing. Carlos Suntaxi

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006 - 04-

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“ ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E
INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO.
CAPACIDAD 2 Kg / día”**

ELABORADO POR:

Robert Orlando Paredes Tufiño.

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL DECANO

Sangolquí, 2006 – 04 -

1.1 PRESENTACIÓN

Este proyecto forma parte del proyecto de investigación titulado *“Viabilidad técnica, ambiental y económica para la producción de madera plástica en el Distrito Metropolitano de Quito”*, a cargo de los docentes Dr. Alfonso Tierra (FIGMA, Facultad de Ingeniería Geográfica y de Medio Ambiente), Ing. José Pérez (FIME, Facultad de Ingeniería Mecánica), Msc. Ricardo Lara (FIGMA), el cual fue aceptado por el CEINCI (Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE), que se inició el 15 de abril del 2005.

Para ello, se adecuó la máquina cortadora de plástico rígido, la cual fue adquirida en el laboratorio de máquinas y herramientas de la FIME, con el propósito de moler termoplástico, de botellas de agua recicladas (polietileno teraptalpto) y otros polímeros (HDPE, LDPE, PS, PP, EPS) obteniendo de este proceso hojuelas o escamas, útiles como materia prima para extruirse.

Además se adecuó una inyectora de plástico, máquina que fue diseñada y construida en calidad de proyecto de grado, por los señores Gustavo Méndez y Cristián Lemos, con la denominación de *“Diseño y construcción de un prototipo de inyectora de plástico para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE”*. A esta inyectora se la transformó en una extrusora, para obtener probetas de PET y otros polímeros; con hojuelas de estos materiales obtenidos de la máquina para moler termoplástico. Estas probetas son motivo de análisis y estudio en el proyecto desarrollado por el CEINCI.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La Escuela Politécnica del Ejército realizó una convocatoria a través del CEINCI (Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE), para que los docentes presenten proyectos de investigación en diferentes áreas. Por lo cual, los docentes Dr. Alfonso Tierra (FIGMA, Facultad de Ingeniería Geográfica y de Medio Ambiente), Ing. José Pérez (FIME, Facultad de Ingeniería Mecánica), Msc. Ricardo Lara (FIGMA, Facultad de Ingeniería Geográfica y de Medio Ambiente), presentaron el proyecto titulado *“Viabilidad técnica, ambiental y económica para la producción de madera plástica en el Distrito Metropolitano de Quito”*, el cual fue aceptado por las respectivas autoridades, lo que permitió su desarrollo desde el 15 de abril del 2005; este proyecto tiene como objetivos técnicos los que a continuación se mencionan:

Objetivos Específicos Técnicos.

1. Realizar un estudio del proceso que se utiliza en el reciclado de plásticos.
2. Diseñar y construir los sistemas mecánicos involucrados en el proceso de transformación de plásticos ya usados.
3. Realizar pruebas de funcionamiento de los diferentes sistemas mecánicos.
4. Establecer el procedimiento experimental para definir las muestras, las variables, las pruebas y los resultados esperados.
5. Determinar mediante prueba y error la mezcla óptima de acuerdo a las variables mecánicas planteadas.
6. Realizar pruebas mecánicas sobre los elementos obtenidos en el proceso de reciclado.

7. Establecer el protocolo de retroalimentación para revisar las etapas anteriores.

De acuerdo al planteamiento de los objetivos números dos y tres del proyecto, fue necesario la obtención de estos equipos, por lo que se procuró adecuar máquinas ya existentes, que permitan lograr los objetivos del proyecto de investigación; pues la obtención de equipo especializado en realizar estos procesos, resta beneficio al proyecto global.

Se logra disponer de una cortadora de plástico rígido que no funcionaba. Por este motivo se procedió a realizar el diagnóstico técnico de la cortadora que se poseía para procurar su adecuación, el cual consistió en diseñar y construir nuevos elementos mecánicos, modificar ciertos elementos que ya existían y convertir la máquina en una cortadora de termoplástico.

También se consideró el proyecto de grado, *“Diseño y construcción de un prototipo de inyectora de plástico para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE”*, el cual lo ejecutaron el Sr. Cristián Lemos y el Sr. Gustavo Méndez. En el mencionado prototipo, se coloca pelets (pequeñas esferas de plástico), las cuales ingresan a la máquina por medio de una tolva. En el interior de la máquina se calientan los pelets hasta una temperatura que oscila entre 170 a 190 °C, para que el material plástico fundido sea inyectado en una matriz y así obtener un producto (ejemplo cajitas de vaselina).

Se investigó sobre el funcionamiento de la inyectora, para determinar parámetros de temperatura, presión, potencia, fluidez del plástico, capacidad, montaje de matriz y otros parámetros técnicos que permitan la futura adecuación de la inyectora. Para esta adecuación se diseñó y construyó nuevos elementos mecánicos que fueron necesarios para realizar la extrusión de desechos plásticos. También se procedió al análisis de boquillas, sistemas de enfriamiento, que permitan una perfecta extrusión de plásticos.

Luego de conocer el funcionamiento de las máquinas y con la idea clara de su diseño y los parámetros que influyen en ellas, se determinó alternativas de modificación, analizando cada una y seleccionando la mejor, la cual permitió alcanzar el funcionamiento requerido para cada máquina.

Una vez que se escogió la alternativa de adecuación de cada máquina, se diseñó y construyó los sistemas mecánicos necesarios, y se realizó pruebas de funcionamiento de las máquinas, para observar y analizar que los procesos de molienda y extrusión de desechos plásticos que realizan las máquinas, son los que se requerían en el proyecto de investigación.

La *molienda* es un proceso en el cual ingresan botellas plásticas de agua, cortadas en tiras alargadas, a través de una ranura tipo buzón; y, mediante un sistema de cuchillas distribuidas de forma correcta en un rotor, son cortadas en pequeñas partes; estas partes caen en un cedazo o tamizador que permite el paso de pedazos de plástico en una sección determinada por los orificios que posee el tamizador.

La *extrusión* consiste en fundir el material plástico, para luego forzarlo a pasar a través de una boquilla. A la salida de esta boquilla, el material plástico se enfría por contacto con el aire del ambiente (a veces mediante la circulación obligada de aire frío), obteniéndose así un perfil plástico cuya sección tiene la forma de la boquilla, y éste es recogido por un sistema de arrastre.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para cumplir los objetivos del proyecto de investigación “*Viabilidad técnica, ambiental y económica para la producción de madera plástica en el Distrito Metropolitano de Quito*”, era indispensable disponer de una máquina que sea capaz de moler botellas plásticas, para transformarlas en hojuelas o escamas. Además era necesario contar con una máquina que permitiera extruir estas

hojuelas, para transformarlas en probetas, y poder analizar sus propiedades mecánicas.

Se poseía una cortadora de plástico rígido a la cual se adecuó para transformarla en una máquina capaz de moler termoplástico y transformarlo en hojuelas o escamas de plástico.

Mediante la extrusión de plástico se obtienen las probetas para realizar el respectivo análisis de sus propiedades mecánicas, por lo que se adecuó la máquina inyectora de plástico, con el propósito que desarrolle el proceso de extrusión.

1.3 OBJETIVO GENERAL

- Adecuar una cortadora de plástico rígido e inyectora de plástico para moler y extruir termoplástico, con capacidad de 2 kg/día.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación sobre los procesos de molienda y extrusión de desechos plásticos que sean clasificados como termoplásticos.
- Efectuar un diagnóstico del funcionamiento de la cortadora de plástico rígido, para adecuarla y transformarla en cortadora de termoplástico, que cumpla con el proceso de molienda de desechos plásticos clasificados como termoplásticos.
- Determinar parámetros de funcionamiento de la inyectora de plásticos, que lo ejecutaron el Sr. Cristián Lemos y el Sr. Gustavo Méndez, en el proyecto de grado denominado: *“Diseño y construcción de un prototipo de inyectora de plástico para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad*

de Ingeniería Mecánica de la ESPE” , para adecuarla y convertirla en una máquina que cumpla con el proceso de extrusión de desechos plásticos clasificados como termoplásticos.

- Realizar pruebas de funcionamiento pertinentes a las adecuaciones realizadas.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

El desarrollo de este proyecto de grado, permite cumplir con aquellos objetivos planteados en el proyecto de investigación titulado *“Viabilidad técnica, ambiental y económica para la producción de madera plástica en el Distrito Metropolitano de Quito”*, a cargo de los docentes, Dr. Alfonso Tierra (FIGMA, Facultad de Ingeniería Geográfica y de Medio Ambiente), Ing. José Pérez (FIME, Facultad de Ingeniería Mecánica), Msc. Ricardo Lara (FIGMA).

Además, la investigación contribuye en el conocimiento de las características de la madera plástica, para que se determine la factibilidad de su aplicación en el Distrito Metropolitano de Quito.

CAPÍTULO 2

PROCESOS DE MOLIENDA Y EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

2.1 PROCESO DE MOLIENDA.

En los procesos industriales de reciclaje de plásticos, la molienda o reducción de tamaño de los desechos plásticos de productos, es sumamente importante, ya que de esta forma los plásticos pueden volver a utilizarse, debido a que los plásticos molidos se hacen manejables y se puede colocar en cantidades determinadas en la aplicación que se desee.

En la molienda, adoptan una forma de escamas, pelets, hojuelas o fibras pequeñas, permitiendo que la alimentación del plástico en la extrusión para el reproceso sea más fácil y efectiva.

En otros casos se utiliza la molienda con el fin de facilitar el transportar los desechos plásticos, como por ejemplo el poliestireno expandido (conocido como espuma flex) que ocupa demasiado espacio, y al ser reducido su tamaño permite su transportación con mínimo costo.

Las técnicas de molienda utilizadas involucran varias etapas, como pedaceo, granulación, densificación, compactación, aglomeración y pulverización. Depende del tipo de producto que se desee obtener para la aplicación de los pasos señalados; pues cada uno de ellos determina una característica al producto que se obtendrá.

La complejidad, mecanismos y tamaño de la máquina que muele el plástico estarán de acuerdo a las características del producto que se desee obtener.

La molienda también es utilizada frecuentemente para descomponer materiales plásticos que están formados por varias capas, como carpetas o guardabarros, etc, ya que permite reducir su área y hace más fácil su reciclaje.

En combinación con otros procesos, la molienda de plásticos tiene varias aplicaciones, por ejemplo, al realizar la molienda junto con la aplicación de aire pulverizado, facilita la clasificación y separación de muchos materiales plásticos, en el caso de textiles reforzados con plástico, fibras reforzadas con una capa plástica, tapetes reforzados con plástico, etc.

Dependiendo del tipo de máquina que se posee para moler plástico, en algunos casos, es necesario que los recipientes plásticos que van a ser reciclados sean cortados de forma manual o con un aparato auxiliar, en pedazos de una forma determinada que permitan que el ingreso a la

máquina de molienda sea correcto y el proceso se realice de la forma precisa y con eficiencia.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DE PLÁSTICOS.

Para realizar la molienda de plásticos es necesario realizar algunas etapas previas; en primer lugar, la recolección de recipientes plásticos reciclables, luego se realiza una clasificación y separación de los plásticos; después, se los limpia, para ser molidos, compactados, aglutinados, dependiendo de la forma que se desee obtener el producto.

2.1.1.1 Recolección de plásticos reciclables

En algunos países a nivel mundial, se ha incrementado últimamente el reciclaje de plásticos, para lo cual se han creado programas de reciclaje y técnicas, como el colocar en diferentes recipientes la basura de acuerdo al tipo que ésta sea, así por ejemplo: plásticos, papel, materia orgánica, diferenciados de manera que el reciclaje se facilite.

En el caso de que no exista una separación previa de basura, los plásticos son recogidos en los botaderos o sitios de recolección de basura de las ciudades, donde determinadas personas se encargan de escoger los plásticos de entre toda la basura para que posteriormente sean reciclados.

Pese a la aplicación de programas y técnicas para el reciclaje de plásticos, en países industrializados únicamente se recicla entre el 5% y 25% de los desechos plásticos que se producen, lo que nos da el referente de que en nuestro país el reciclaje de plásticos es menor.

2.1.1.2 Clasificación y separación de plásticos reciclables.

La clasificación de los desechos plásticos es fundamental para realizar la molienda de plásticos para su reciclaje, debido a que existen variedad de tipos de plásticos y cada uno tiene su particular característica, lo que obliga a tratarlos de una manera diferenciada.

Si se mezclan los plásticos sin criterio técnico, se puede degradar las propiedades de los polímeros, haciendo que el reciclaje sea un fracaso. Es por esto, que la separación y clasificación de los plásticos se hace sumamente necesaria, con el fin de utilizar plásticos con características mecánicas, químicas y térmicas similares.

Existen muchos métodos de identificación y separación de plásticos, desde uno manual, hasta muy avanzados, donde se utilizan sensores y alta tecnología.

Las técnicas de separación de plásticos usualmente están basadas en la diferencia de las propiedades químicas, visuales, eléctricas y físicas de los diferentes plásticos que van a ser separados.

Separación Manual

Para separar de forma manual los plásticos se necesita que las personas que lo realicen tengan criterios técnicos, como si el plástico es transparente o tiene color, el sonido que produce al retorcerlo; además, debe poseer información acerca de la convención mundial para la identificación de los diferentes tipos de plásticos. Para la separación manual, se puede ayudar de las reacciones a la luz de los diferentes plásticos, ya que al aplicarlos la luz ultravioleta se comportan de diferente manera; así por ejemplo, el PET adopta una apariencia muy brillante, mientras que el PVC adopta una apariencia azul oscuro.

La separación manual puede ser muy agotadora para la persona que lo realiza y en algunos casos inefectiva debido a errores humanos, lo que resulta costoso a nivel industrial, por lo que se aconseja su utilización,

cuando se desee obtener productos que no tengan mayor costo económico y en donde se pueda admitir el error humano al separar los plásticos.

Separación de plásticos por flotación – hundimiento (Método Húmedo)

Este es uno de los más antiguos métodos de separación de residuos plásticos.

La separación se realiza por medio de un fluido el cual debe tener una densidad intermedia con los plásticos que van a ser separados. Al colocar los plásticos en el fluido, los plásticos menos densos flotarán sobre el fluido y los más densos se sumergirán en el fluido.

Los fluidos que usualmente son empleados son el agua (generalmente usada para separar poliolefinas de las no poliolefinas), una mezcla de agua con metanol (separa polímeros con una gravedad específica menor a la unidad, por ejemplo las poliolefinas), soluciones de NaCl y soluciones de $ZnCl_2$ (para polímeros con gravedad específica mayor a la unidad). Este método se emplea para separar poliolefinas del PET y del PVC usando agua. Los elementos plásticos que flotan son potenciales contaminantes e incluyen la presencia de poliestireno expandido (EPS) y corcho.

El problema con este método es que puede ser muy lento o puede tener dificultad para ser controlado.

Separación Seco

En este método se utiliza aire para clasificar los plásticos. La separación con aire combinada con una banda de transportación oscilante puede ser usada para remover de manera tosca material mezclado en los plásticos como fragmentos de metal, pedazos de vidrio y plástico pesado grueso. Con el sistema de clasificación por aire se puede producir arriba de

cuatro diferente corrientes de material plástico usando solo aire. El equipo de separación mediante aire pulverizado se puede usar para la separación de mezclas que poseen hojuelas de polímetro de HDPE de tanques de combustible.

El PVC puede ser separado para luego ser molido por este método de clasificación. Las fibras textiles y las partículas livianas son removidas de los polímetros mediante una mesa de aire, mientras que arena y suciedades son eliminadas con el uso de un cernidor.

Una desventaja de la separación por aire es que el ciclado puede retener olores debido a la presencia de pedazos de comida y grasa que quedan adheridos en los plásticos, lo contrario de la separación húmeda la cual es mas eficiente para remover residuos de alimentos.

Los mencionados son los métodos mas empleados para la separación y clasificación de los plásticos, pero existen otros métodos como la separación centrífuga, separación con fluidos semi críticos y súper críticos, separación por flotación en espuma, flotación-hundimiento por un absorción de un solvente preferencial, etc.

2.1.1.3 Molienda de plásticos

La molienda es una parte fundamental del reciclaje de plásticos. Para realizar este proceso se aplican diferentes técnicas de corte mediante el uso de cuchillas, granuladoras, molinos rotatorios; una vez molido al plástico también se lo puede realizar un proceso de densificación para aglutinarlo o compactarlo y también se lo puede pulverizar.

Existen algunas máquinas para realizar la molienda de plásticos, las cuales se las debe utilizar dependiendo del tipo de plástico que se va a cortar, pues todos los plásticos tienen diferentes características, por lo cual se debe emplear una máquina que permita obtener un producto con característica ideales de tamaño y forma para que sean introducidos en máquinas para lograr su reciclado.

La reducción del tamaño de desechos plásticos es necesario también para hacer que su transporte sea mas fácil, logrando disminuir costos.

2.1.2 DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL PROCESO DE LA MOLIENDA DE PLÁSTICOS.

Es importante tener identificados y separados cada tipo de plástico previo al ingreso de estos a las máquinas que realizarán la molienda, al tener identificados los plásticos se sabrá sus característica principales.

Entre las características importante que se necesita conocer para la molienda de plásticos tenemos el espesor, el cual en caso que se emplee una máquina de cuchillas para la molienda, determinará el rango permitido de separación de las mismas para obtener un buen corte. Es importante conocer la densidad de cada plástico, de acuerdo a valor de esta el plástico presentará una mayor o menor resistencia a ser cortado.

El tipo de superficie producto plástico que va ha ser cortado es un parámetro importante, pues si tiene una superficie lisa como una lámina, se facilitará el corte ya que existirá una continuidad en el mismo, si por lo contrario la superficie presenta irregularidades el corte deberá hacerse de una forma mas compleja.

Es importante conocer el sistema por donde se alimentará el plástico a la máquina de molienda y la capacidad de esta. Algunos productos plásticos que serán reciclados antes de entrar a la máquina para ser molidos podrían necesitar ser modificados, por ejemplo las botellas de PET, galones y recipientes de HDPE deben ser cortados su fondo y pico roscado antes de ser introducidos en maquinas de molienda con cuchillas.

Los plásticos que se ingresan en las máquinas de molienda deben estar limpios totalmente, pues la presencia de residuos de los productos que

contenían, como lubricantes, comida, desinfectantes, etc, pueden acelerar el deterioro de los sistemas que realizan el corte. De igual manera deben estar libres de cuerpos ajenos como fibras metálicas, madera, arena y otras que contaminarán el producto que se obtiene.

Estos son algunos de los parámetros que se debe tener en cuenta para realizar un proceso de molienda efectivo, se debe estar pendiente de otros parámetros que pueden ir apareciendo durante el proceso, para encontrarles una solución de manera de no tener dificultades y agilizar el proceso.

2.1.3 ANÁLISIS DE MÁQUINAS QUE REALIZAN EL PROCESO DE MOLIENDA DE PLÁSTICOS.

Existen muchas máquinas que realizan la molienda de plásticos, las cuales poseen diferentes sistemas de corte. A continuación se explica el funcionamiento de la máquina más utilizadas para la molienda de plásticos.

2.1.3.1 Desmenuzadoras

Existen una gran cantidad de máquinas desmenuzadoras. Su principio de operación es basado en dos ejes o cuatro ejes sincronizados que tienen sentido de rotación contrario entre ellos, estos ejes están equipados con unos discos cortantes y con argollas distantes; como se puede ver en la figura 2.1.



Figura 2.1 Desmenuzadora de plástico industrial equipada de cuatro ejes equipados con discos cortantes y argollas distantes.

La acción de desmenuzar ocurre entre los discos adyacentes. El grado de molienda es determinado por el número de ganchos que hay en la circunferencia de los discos de corte y el espesor del disco de corte.

Estas máquinas son utilizadas para reciclar materiales plásticos como láminas, cables, productos huecos.

Los discos de corte son construidos obligatoriamente con materia duro, ya que producen grandes fuerzas de tensión cuando el producto plástico, golpea contra ellos.

Estas máquinas reducen los desechos plásticos a hojuelas de 50 mm las cuales pueden ser utilizadas sin problema en los procesos de reciclado que se desee. Los plásticos que se van a reciclar deben estar libres de sustancia extrañas por lo que es necesario realizar un proceso de separación previamente.

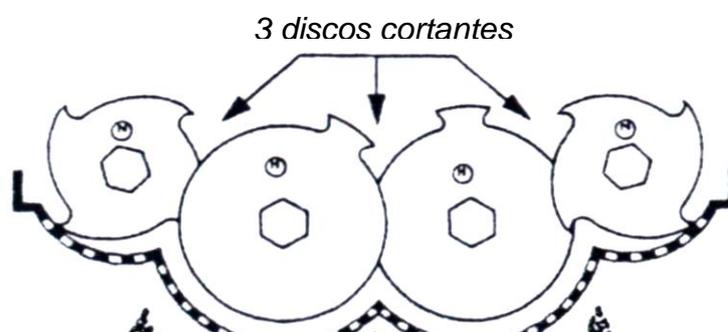


Figura 2.2 Principio de operación de las desmenuzadoras de cuatro ejes.

El producto que se obtiene depende de :

- La densidad, forma y naturaleza del material plástico que va a ser procesado.
- De las características del disco cortador, espesor, número de dientes de corte, del tamaño de la separación entre los discos de corte.
- Del diámetro de los orificios del tamiz (Figura 2.3).

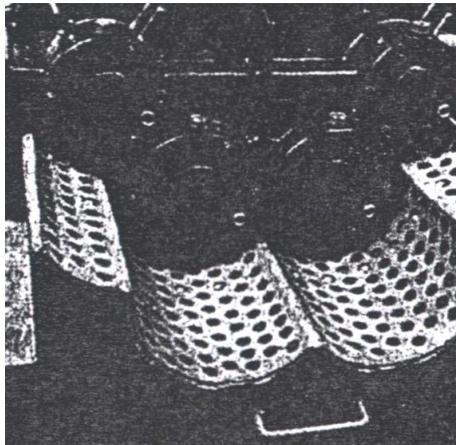


Figura 2.3 Tamiz que determina el tamaño del plástico molido.

2.1.3.2 Molinos Rotatorios

Un molino rotatorio esta equipado con bloques de acero de 2.5 a 5 cm de tamaño, montados en un rotor. Estos bloques de acero desmenuza los fragmentos de material que son forzados a ingresar en los dientes por medio de un ariete. Estas máquina producen partículas mas pequeñas que las desmenuzadoras convencionales. Se ha determinado que los molinos rotatorios son excelentes para reducir el tamaño de plásticos duraderos.

2.1.3.3 Cuchillas cortadoras rotatorias.

Las máquinas con cuchillas cortadoras rotatorias son las mas comunes en lo que se refiere a máquinas para moler plástico. Se les conoce también como molinos con cuchillas.

Esta máquinas emplean un sistema de cuchillas rotatorias tipo hoja, el sistema consta de varias cuchillas rotatorias y de tres o cuatro cuchillas fijas, lo que depende la aplicación para que se vaya utilizar el producto que sale de la máquina. La acción de molienda se produce cuando el plástico pasa entre la cuchilla fija y la cuchilla rotatoria; para que se realice el corte la cuchilla fija debe tener un ángulo respecto al rotor, mientras que la cuchillas fijas deben tener el mismo ángulo con respecto al rotor pero en dirección contraria.

La mayor precisión al ubicar las cuchillas determinará que la calidad de la molienda sea buena o mala y también permitirá reducir los costos de operación. La separación tradicional entre cuchillas esta entre 0.2 a 0.3 mm; los beneficios de una estrecha separación entre cuchillas con el consumo de energía se demuestra en la figura 2.4.

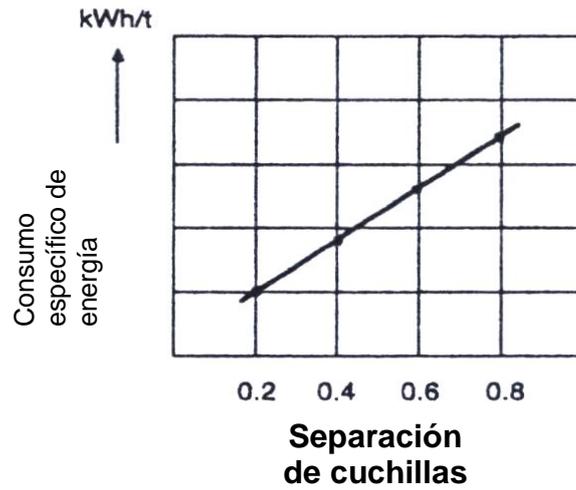


Figura 2.4 Consumo específico de energía en función de la separación entre cuchillas.

Las diferentes configuraciones como pueden ser posicionadas las cuchillas se puede observar en la figura 2.5. Para materiales con gran volumen, es necesario utilizar un rotor con gran número de cuchillas con un ángulo que permita un corte poco profundo, que realice pequeños cortes sin que se traben.

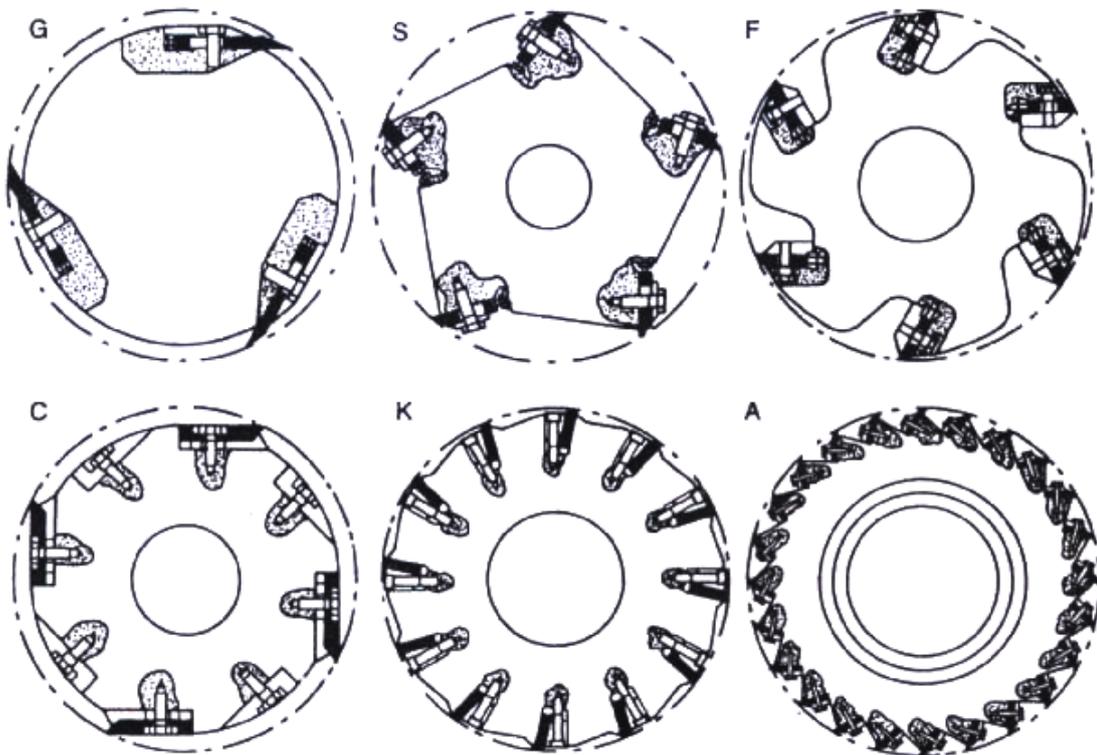


Figura 2.5 Configuraciones de rotor para granuladoras

Las granuladoras generalmente utilizan tres tipos de diseño de rotor. Los diseños más simples se caracterizan porque el rotor tiene una abertura de corte grande y un paso ángulo grande, como se muestra en las figuras 2.6 (a) y 2.6 (b). Una gran abertura del rotor es usado generalmente para granular desechos plásticos en forma de láminas, perfiles, tubos o envases con un espesor de pared mayor a 12 mm. El paso de ángulo del rotor es usado para granular desechos plásticos como láminas, películas y fibra con espesor de pared mayor a 5 mm ; en los dos casos el rotor posee tres cuchillas cortantes. El tercer tipo de rotor se le denomina rotor helicoidal, al cual se lo puede ver en la figura 2.6 (c), al cual se le puede incorporar mas de 18 cuchillas y es usado para la granular desechos plásticos resistentes como tubos y rollos de película plástica con espesores de pared mayores a 150 mm.

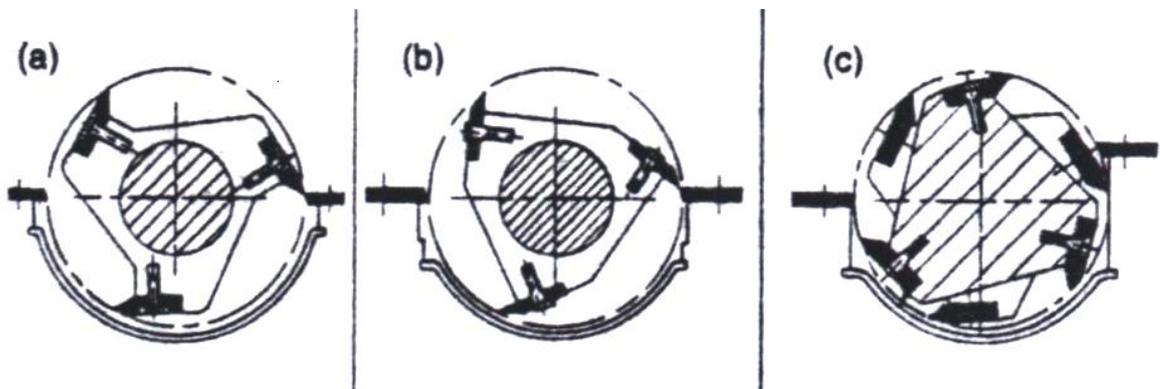


Figura 2.6 Diferentes tipos de configuraciones del rotor para granuladoras. a) abertura de corte del rotor grande, para plásticos con espesores mayores a 12 mm; b) paso de ángulo del rotor, para láminas con espesor mayor a 5 mm; c) rotor helicoidal, para secciones de plástico con espesor mayor a 150 mm.

2.1.3.4 Rebanadoras

Las cortadoras son generalmente usadas para moler desechos plásticos como fibra, rollos gruesos y cauchos. El plástico es introducido en la rebanadora mediante el uso de una banda transportadora o de un

martinete hidráulico. Contrario a las granuladoras, las rebanadoras operan generalmente en sentido de las manecillas del reloj, las cuchillas rebanadoras cortan progresivamente el material, cortando desde arriba hacia abajo. El material que se obtiene de la rebanadora es adicionalmente reducido de tamaño en un proceso secundario.

2.1.3.5 Tornillo Cortador

Los tornillos cortadores son empleados para moler materiales plásticos de gran volumen que tienen baja dureza como polímeros en forma de espuma. La zona donde reciben el material estas cortadoras tienen la capacidad de acomodar productos plásticos con sobremedida, estos pueden ser alimentadas utilizando una potente pala: en el interior existe un tornillo, que posee una rotación independiente, y que está equipado con muelas desgarradoras que son las que muelen el plástico.

2.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.

2.2.1.1 Extrusión de plásticos

El proceso de conformado por extrusión es fundamental para metales, cerámicos y polímeros.

La extrusión es un proceso por compresión en el cual se fuerza al material a fluir a través del orificio de un dado para generar un producto largo y continuo, cuya forma de la sección transversal queda determinada por la forma del orificio.

Este es un proceso de conformación de polímeros que se usa ampliamente con termoplásticos y elastómeros, pero rara vez con termofijos , para producir masivamente artículos como tubos, ductos ,

mangueras, láminas, películas, filamentos continuos, recubrimientos de alambres y cables eléctricos, perfiles estructurales como molduras de ventanas y puertas.

Para este tipo de productos, la extrusión se lleva a cabo con un proceso continuo; el producto que se extruye se corta inmediatamente en las longitudes deseadas.

Con la extrusión se realiza el mayor volumen de producción de polímeros, ya que no se usa solamente para la producción de barras, tubos, láminas y películas en materiales termoplásticos, sino también para el mezclado minucioso de todas las clases de plásticos y para la producción de gránulos.

La extrusión por émbolo se restringe a casos especiales, como la extrusión de PTFE, la primera diferencia importante en relación con la extrusión de metales es el uso de extrusores de tornillo.

2.2.1.2 Proceso y equipos de la extrusión de plásticos.

En la extrusión de plásticos el material se alimenta en forma de pelets a un cilindro de extrusión, donde se le calienta y se la hace fluir a través del orificio de un dado por medio de un tornillo giratorio (conocido también como gusano), como se puede ver en la figura 2.7. Los dos componentes principales del extrusor son el cilindro y el tornillo. El dado no es un componente del extrusor, sino una herramienta especial que debe fabricarse con el perfil particular a producir.

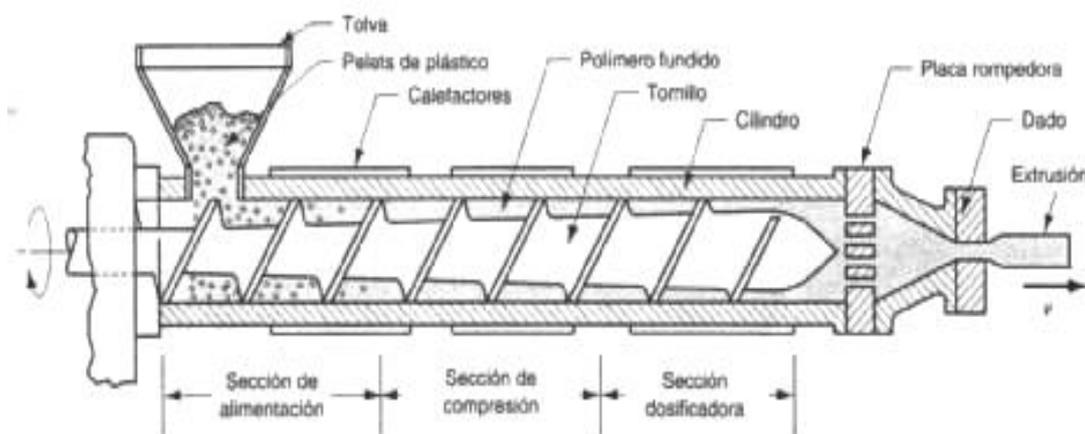


Figura 2.7 Componentes y características de un extrusor de tornillo simple.

El diámetro interno del cilindro extrusor fluctúa normalmente entre 1.0 y 6.0 pulgadas (25 mm a 150mm). El cilindro es largo con respecto a su diámetro, con una relación L/D (largo sobre diámetro) usualmente entre 10 y 30. Las relaciones más grandes se usan para materiales termoplásticos, mientras que los valores más bajos de L/D son para elastómeros. La tolva que contiene el material de alimentación se localiza en un extremo del cilindro. Se utilizan calentadores eléctricos (resistencias) para fundir los pelets inicialmente sólidos; el mezclado y el trabajo mecánico del material que se realiza a continuación, genera calor adicional que mantiene la fusión. En ciertos casos, el mezclado y la acción cortante generan el calor suficiente, de manera que no se requiere calentamiento externo. En algunas ocasiones el cilindro debe ser enfriado externamente para prevenir el sobrecalentamiento del polímero.

El material se transporta a través del cilindro hacia la abertura del dado por la acción del tornillo extrusor, que gira aproximadamente a 60 rev/min. Este tornillo tiene varias funciones y se divide en secciones, que son las siguientes:

1. *Sección de alimentación*, en la cual el material se mueve desde la puerta de la tolva y se precalienta.
2. *Sección de compresión*, donde el polímero adquiere una consistencia líquida, el aire atrapado entre los pelets se extrae de la fusión y el material se comprime.
3. *Sección dosificadora*, en la cual se homogeniza la fusión y se desarrolla suficiente presión para bombearla a través del orificio del dado.

La operación del tornillo está determinada por su geometría y su velocidad de rotación. La geometría típica de un tornillo extrusor se describe en la figura 2.8.

El tornillo consiste en paletas o espas espirales (roscas) con canales entre ellas, que conducen el polímero fundido. El canal tiene un ancho w_c y una profundidad d_c . Al girar el tornillo, las paletas empujan el material hacia delante a través del cual desde la tolva hasta el dado. El diámetro de la paleta es más pequeño que el diámetro del cilindro D con un pequeño claro de aproximadamente 0.002 plug (0.05mm). La función de este claro es limitar la fuga de la fusión hacia atrás, a través del canal conductor.

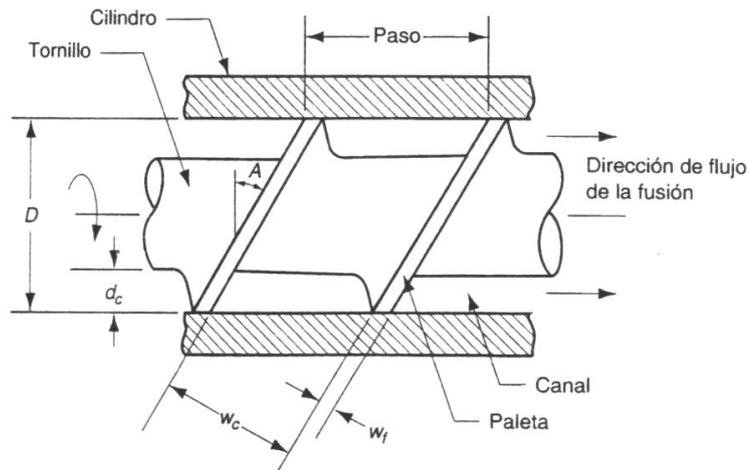


Figura 2.8 Detalle de un tornillo extrusor dentro del cilindro.

La pared de la paleta tiene un ancho w_f y está hecha de acero endurecido para resistir el desgaste al girar y rozar contra el interior del cilindro. El tornillo tiene un paso, cuyo valor es generalmente cercano al diámetro D . El ángulo de la paleta A es el ángulo aproximado de la hélice del tornillo y puede determinarse mediante la relación:

$$\tan A = \frac{\text{paso}}{\pi D} \quad (2-1)$$

El incremento de presión que se aplica en el polímero en las tres secciones del cilindro se determina en gran parte por la profundidad del canal d_c . En la figura 2.7 se observa relativamente grande la sección de alimentación para admitir grandes cantidades de polímero granular en el cilindro.

En la sección de compresión d_c , se reduce gradualmente, aplicando así presión creciente en el polímero al ser fundido.

En la sección dosificadora, d_c es pequeño y la presión alcanza un máximo al restringirse el flujo por el empaque de la pantalla y la placa de sostén.

En la figura 2.7, las tres secciones del tornillo se muestran iguales en longitud; esto es apropiado para un polímero que funde gradualmente, como el polietileno de baja densidad (LDPE).

Para otros polímeros, las longitudes óptimas de las secciones son diferentes. Para polímeros cristalinos como el nylon, la fusión ocurre mas bien abruptamente en un punto específico de la fusión, en consecuencia es apropiada una sección corta de compresión. Los polímeros amorfos como el cloruro de polivinilo (PVC) funden más lentamente que el LDPE, y la zona de compresión para estos materiales debe tomar casi la longitud entera del tornillo. Aunque el desempeño óptimo del tornillo para cada tipo de material es diferente, es una práctica común usar tornillos de propósito general. Estos diseños representan un compromiso entre los diferentes materiales y se evita la necesidad de hacer frecuentes cambios de tornillos, lo que se asocia de manera directa con los paros del equipo.

El avance de los polímeros a lo largo del cilindro conduce finalmente a la zona del dado. La fusión antes de llegar al dado pasa a través de una malla, la cual es una serie de cribas de alambre soportadas por un plato rígido (al cual se lo llama *plato rompedor*) que contiene pequeños agujeros axiales.

La malla tiene las siguientes funciones:

1. Filtrar contaminantes y terrones duros de la fusión.
2. Acumular presión en la sección acumuladora.
3. Enderezar el flujo del polímero fundido y borrar su memoria de del movimiento circular impuesto por el tornillo.

Esta última función se relaciona con la propiedad viscoelástica del polímero; si el flujo no fuera enderezado hacia la izquierda, el polímero podría recuperar sus giros dentro de la cámara de extrusión, tendiendo a crecer y a distorsionar la extrusión.

Lo descrito se refiere a una *máquina convencional de extrusión del tornillo simple*. Existen también *extrusores de tornillo doble*, los que tienen gran importancia en la industria. En estos extrusores los tornillos son paralelos dentro del cilindro. Estas máquinas de tornillos gemelos son ideales para PVC rígido, un polímero que es difícil de extruir normalmente, y para materiales que requieren mayor mezclado.

2.2.1.3 Defectos en la extrusión.

Los productos de extrusión pueden sufrir numerosos defectos. Uno de los peores es la *fractura de fusión*, en la cual los esfuerzos que actúan sobre la fusión inmediatamente antes y durante el flujo, a través del dado, son tan altos que causan rupturas que originan una superficie altamente irregular.

Como se indica en la figura 2.9, la fractura de fusión puede ser causada por una aguda reducción en la entrada del dado que causan un flujo turbulento y rompe la fusión. Esto contrasta con el flujo laminar uniforme en el dado gradualmente convergente.

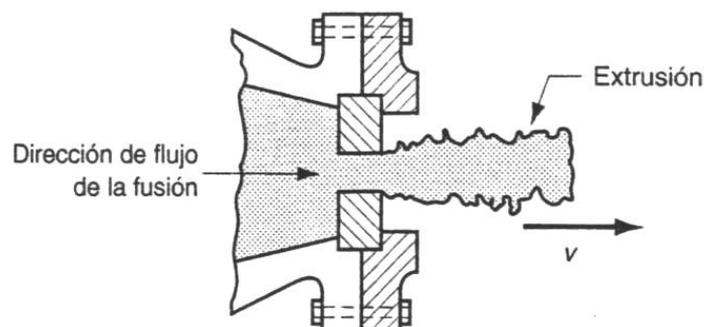


Figura 2.9 Fractura de la fusión, causada por flujo turbulento en la fusión a través de una aguda reducción a la entrada del dado.

Un defecto muy común en extrusión es la *piel de tiburón*, en la cual la superficie del producto se arruga al salir del dado. Conforme la fusión atraviesa la abertura del dado, la fricción con la pared produce un perfil diferencial de velocidades a través de la sección transversal, lo que se puede observar en la figura 2.10. Esto ocasiona esfuerzos tensiles en la superficie del material que se estira para igualar el movimiento más rápido del núcleo central. Estos esfuerzos causan rupturas menores que arrugan la superficie.

Si el gradiente de velocidad se vuelve más grande, se forman marcas prominentes en la superficie que dan la apariencia de un *tallo de bambú*, que es el nombre como se conoce a este defecto más severo.

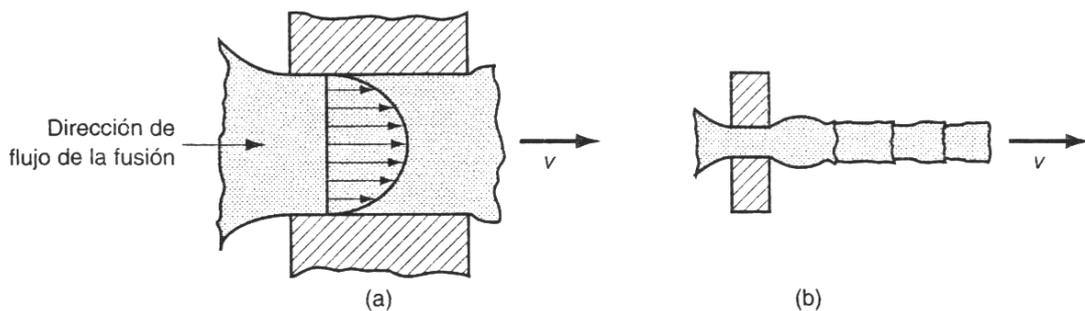


Figura 2.10 a) Perfil de velocidades de la fusión al fluir a través de la abertura del dado, el cual puede conducir el defecto llamado *piel de tiburón*, b) formación del tallo de bambú.

2.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.

A continuación se desarrolla modelos matemáticos para describir varios aspectos de la extrusión de polímeros.

2.2.2.1 Flujo fundido en el extrusor

Al girar el tornillo dentro del cilindro, se fuerza al polímero fundido a moverse en dirección del dado. El principal mecanismo de transporte es el *flujo por arrastre*, que resulta de la fricción entre el flujo viscoso y las dos superficies que se mueven una con respecto a la otra, 1) el cilindro estacionario y 2) el canal del tornillo giratorio.

El fenómeno que ocurre es semejante al que se produce cuando un fluido fluye entre una placa estacionaria y una placa móvil separada por un líquido viscoso. Dado que la placa móvil tiene una velocidad v , se infiere que la velocidad promedio del fluido es $v/2$, generando una velocidad de flujo volumétrico

$$Q_d = 0.5vdw \quad (2.2)$$

Donde Q_d = velocidad de flujo volumétrico por arrastre pulg^3/seg (m^3/seg); v = velocidad de la placa móvil, pulg/seg (m/s); d = distancia que separa las dos placas, pulg (m); y w = ancho de las placas perpendiculares en dirección a la velocidad, pulg (m). Estos parámetros se pueden comparar a los del canal, definidos por el tornillo de extrusión rotatorio y la superficie del cilindro estacionario.

$$v = \pi DN \cos A \quad (2-3)$$

$$d = d_c \quad (2-4)$$

$$y \quad w = w_c = \left(\pi D \tan A - w_f \right) \cos A \quad (2-5)$$

Donde D = diámetro de la paleta del tornillo, pulg (mm); N = velocidad de rotación del tornillo, rev/seg ; d_c = profundidad del canal del tornillo, pulg (mm); w_c = ancho del canal del tornillo, pulg (mm); A = ángulo de la paleta; y w_f = ancho del borde de la paleta, pulg (mm). Si se asume que el ancho del borde de la paleta es despreciable debido a que es pequeño, entonces la ecuación (2-5) se reduce a:

$$w_c = \pi D \tan A \cos A = \pi D \sin A \quad (2-6)$$

si se sustituye las ecuaciones (2-3),(2-4),(2-6) en la ecuación (2-2) y usando varias identidades trigonométricas tenemos la siguiente ecuación:

$$Q_d = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{sen} A \cos A \quad (2-7)$$

Si no existen fuerzas que se opongan al movimiento hacia adelante del fluido, la ecuación (2-7) puede suministrar una descripción razonable de la velocidad de flujo de fusión dentro del extrusor. Se debe tomar en cuenta que al comprimir el polímero fundido a través de la corriente hacia delante, se genera una *contrapresión* en el cilindro, que reduce el transporte del material por arrastre en la ecuación (2-7). Esta reducción de flujo, al la que se la denomina *flujo a contrapresión*, depende de las dimensiones del tornillo, de la viscosidad del polímero fundido y del gradiente de presión en el cilindro. Estos parámetros se resumen en la siguiente ecuación.

$$Q_b = \frac{\pi D d_c^3 \text{sen}^2 A}{12\eta \left(\frac{dp}{dl}\right)} \quad (2-8)$$

donde Q_b = flujo a contrapresión, pulg^3/seg (m^3/seg); η = viscosidad, $\text{lb}\cdot\text{seg}/\text{pulg}^2$ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$); dp/dl = gradiente de presión (lb/pulg^2)/ pulg (MPa/m); y los otros términos ya se definieron anteriormente. El gradiente de presión real en el cilindro es función de la forma del tornillo a lo largo de su longitud; en la figura 2.11 se ilustra un perfil típico de presión. Si asumimos como una aproximación que el perfil es una línea recta, indicada por la línea punteada en la figura, entonces el gradiente de presión se vuelve constante p/L , y la ecuación anterior se reduce a.

$$Q_b = \frac{\pi D d_c^3 \text{sen}^2 A}{12\eta L} \quad (2-9)$$

donde p = presión estática en el cilindro lb/pulg^2 (MPa); L = longitud del cilindro, pulg (mm).

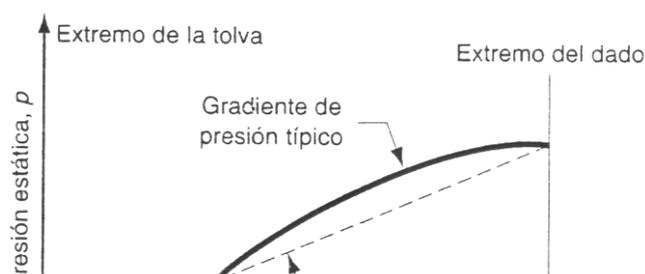


Figura 2.11 Gradiente típico de presión en un extrusor.

El flujo a contra presión no es realmente un flujo por sí mismo, sino es una reducción del flujo de arrastre. Por lo que se puede calcular la magnitud del flujo de la fusión en un extrusor como la diferencia entre el flujo de arrastre y el flujo de contra presión:

$$Q_x = Q_d - Q_b$$
$$Q_x = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{sen} A \cos A - \frac{p\pi D d_c^3 \text{sen}^2 A}{12\eta L} \quad (2-10)$$

Donde Q_x = velocidad del flujo resultante del polímero fundido en el extrusor. La ecuación (2-10) asume que hay una mínima *pérdida de flujo* a través del claro entre las paletas y el cilindro. La pérdida de flujo de la fusión será pequeña comparada con el arrastre y con el flujo a contra presión, a menos que el extrusor este dañado.

La ecuación (2-10) contiene muchos parámetros que pueden dividirse en dos tipos:

1.-*Parámetros de diseño*, son aquellos que definen la geometría del tornillo y del cilindro: diámetro D , profundidad del canal d_c y el ángulo de la hélice A . Estos factores no se pueden cambiar durante el proceso de operación de un extrusor.

2.-*Parámetros Operativos*, son aquellos que si se pueden cambiar durante el proceso para efectuar el flujo de salida; estos incluyen la velocidad de rotación N , presión estática p , y la viscosidad de la fusión η . La viscosidad de fusión

solamente es controlable a medida que pueda manipularse la temperatura y la velocidad de corte para modificar esta propiedad.

2.2.2.2 Características del extrusor y dado.

Si la contra presión es cero de manera que el flujo de la fusión sea libre en el extrusor, entonces el flujo podría igualar al flujo de arrastre Q_d , determinado por la ecuación (2-7). Una vez que se establecen el diseño y los parámetros de operación, la capacidad de flujo máxima, $Q_{m\acute{a}x}$, está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{m\acute{a}x} = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{sen} A \cos A \quad (2.11)$$

Si la contra presión fuera tan grande para anular el flujo entonces el flujo a contra presión igualaría al flujo de arrastre, o sea:

$$Q_d = Q_b$$

Al sustituir las expresiones Q_d y Q_b en la ecuación (2-10) podemos determinar el valor de la presión máxima estática $p_{m\acute{a}x}$ que podría anular el flujo en el extrusor.

$$p_{m\acute{a}x} = \frac{6\pi D N L \eta \cot A}{d_c^2} \quad (2.12)$$

Los valores de $Q_{m\acute{a}x}$ y $p_{m\acute{a}x}$ son puntos a lo largo de los ejes conocidos como *características del extrusor* (o *características del tornillo o gusano*) que se ven en la figura 2.12.

Esto define la relación entre la presión estática y la velocidad de flujo en una máquina de extrusión con los parámetros establecidos.

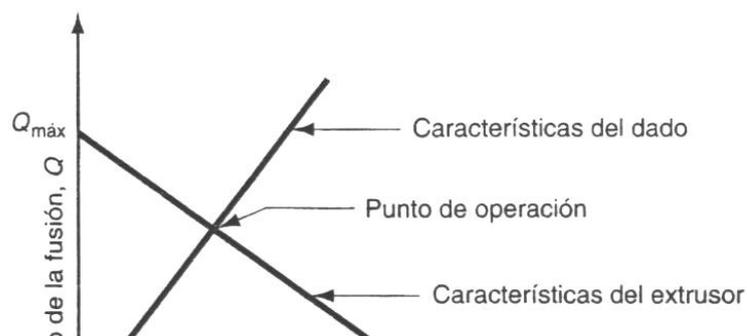


Figura 2.12 Característica del extrusor y característica del dado.

Con un dado en la máquina y el proceso de extrusión en operación, los valores actuales de Q_x y p se localizaran en algún lugar entre los valores extremos, la localización está determinada por las características del dado. La velocidad de flujo a través del dado depende del tamaño y la forma de la abertura, y de la presión aplicada para forzar la fusión a través de dicho lado. Esto se puede expresar como:

$$Q_x = K_s p \quad (2.13)$$

Donde Q_x = velocidad de flujo pulg³/seg (m³ /seg); p = presión estática, lb/pulg² (MPa); y K_s = a factor de forma del dado, pulg⁵/lb-seg (m⁵/N s). Para la abertura circular de un dado de una longitud dada de canal, el factor de forma se puede calcular como:

$$K_s = \frac{\pi D_d^4}{128 \eta L_d} \quad (2.14)$$

Donde D_d = diámetro de la abertura del dado, pulg (mm) ; η = viscosidad de la fusión, lb- seg/pulg² (Ns/m²); y L_d = longitud de la abertura del dado, pulg (m). Para formas no redondas, el factor de forma es menor que para la redonda con la misma área de sección transversal esto significa que se requiere mayor presión para lograr la misma velocidad de flujo.

La relación entre Q_x y p en la ecuación (2-13) se llama *característica del dado*. En la figura 2.12 esta se dibuja como una línea recta, añadida a las características previas del extrusor. Los dos trazos se intersecan; los valores

correspondientes de Q_x y p se conocen como *punto de operación* para el proceso de extrusión.

2.2.3 ANÁLISIS DE MÁQUINAS Y SISTEMAS ADICIONALES PARA LA EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.

De acuerdo a los perfiles y formas que se desee obtener del proceso de extrusión es necesario emplear sistemas adicionales para obtener productos de buena calidad. La forma de la sección transversal de la extrusión esta dada por el orificio del dado.

2.2.3.1 Perfiles sólidos

Estos perfiles incluyen formas regulares, como secciones redondas, cuadradas e irregulares, como los perfiles estructurales, molduras para puertas y ventanas, accesorios automotrices y chapas domésticas.

En la figura 2.13 se muestra la vista lateral de la sección de un dado para producir estas formas sólidas. Al final del tornillo y antes del dado, la fusión del polímero pasa a través de un *empaquetador* y de una *placa rompedora* para enderezar las líneas de flujo. Luego fluye hacia el interior de la entrada convergente del dado, cuya forma es diseñada para mantener un flujo laminar y evitar los puntos muertos en las esquinas que podrían presentarse cerca del orificio. La fusión fluye entonces a través del orificio del dado.

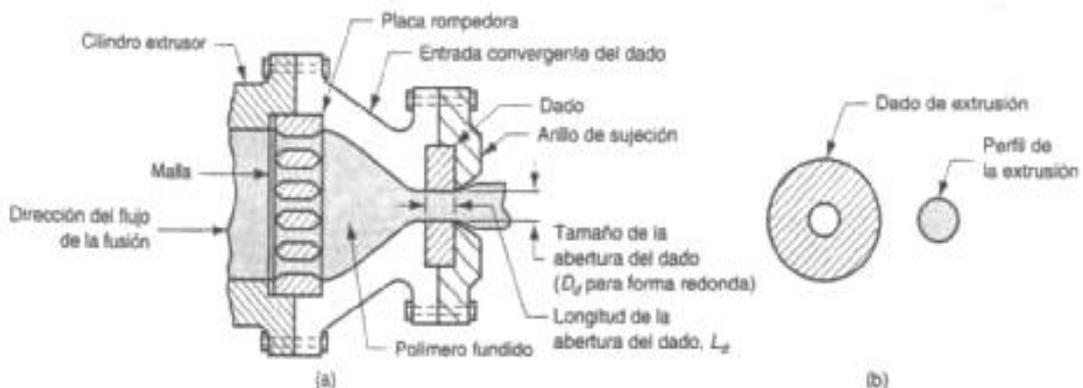


Figura 2.13 a) Vista lateral de la sección de un dado de extrusión para formas sólidas regulares, b) Vista frontal del dado con el perfil de la extrusión.

Para formas no redondas, la abertura del dado se diseña con una sección ligeramente diferente del perfil deseado, de esta forma el efecto de la expansión en el dado provee la corrección de la forma.

Esta corrección se muestra en la figura 2.14 para una sección cuadrada; la forma de la sección del cuadrado depende del material a extruír, ya que los diferentes polímeros exhiben diferentes grados de dilatación en el dado.

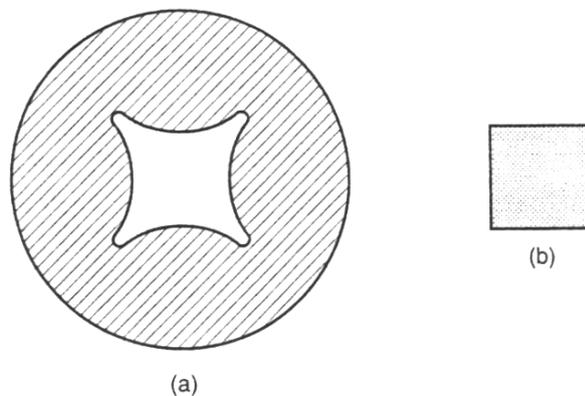


Figura 2.14 a) sección transversal del dado mostrando el perfil requerido para obtener, b) un perfil cuadrado de extrusión.

2.2.3.2 Perfiles huecos.

La extrusión de perfiles huecos como tubos, ductos, mangueras y otras secciones similares, requiere de un mandril para dar la forma hueca. Una configuración típica del dado se muestra en la figura 2.15. El mandril se mantiene en su sitio empleando una araña, como se ve en la sección A – A de la figura. El polímero fluye alrededor de las patas que soportan el mandril para volver a reunirse, formando la pared monolítica del tubo.

El mandril incluye frecuentemente un canal a través del cual se sopla aire para mantener la forma hueca de la extrusión durante el endurecimiento.

Los tubos y ductos se enfrían usando cubetas abiertas de agua o jalando la extrusión suave mediante tanques llenos de agua con mangueras calibradoras que limitan el diámetro exterior del tubo, mientras se mantiene la presión del aire en el interior.

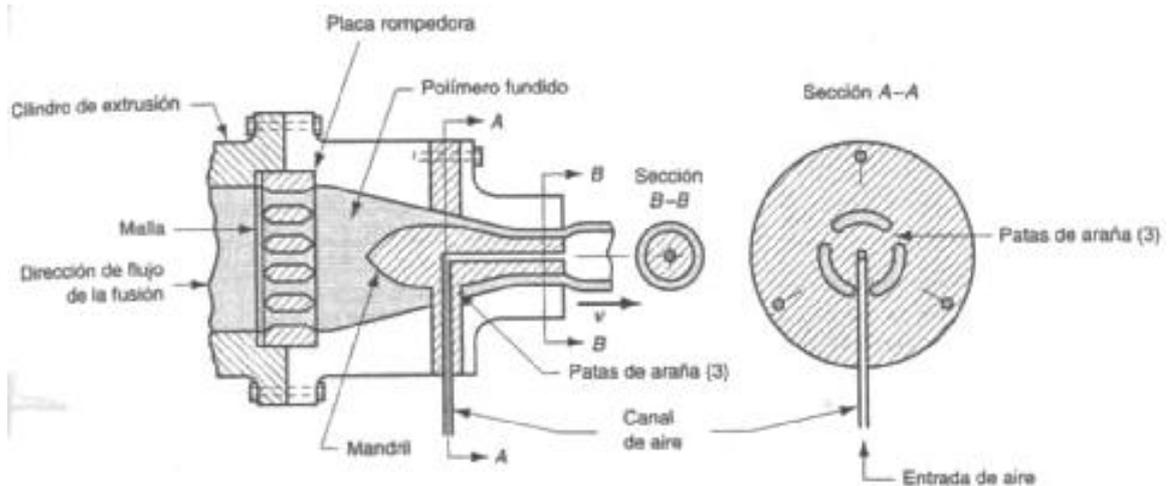


Figura 2.15 Corte lateral de un dado de extrusión para formar secciones huecas como ductos y tubos; la sección A-A muestra como se sujeta el mandril; la sección B-B muestra la sección tubular antes de salir del dado.

2.2.3.3 Recubrimiento de alambres y cables.

El recubrimiento de cables y alambres aislados es uno de los procesos de extrusión de polímeros más importante, como se muestra en la figura 2.16 para recubrimiento. La fusión de polímero se aplica al alambre desnudo, mientras está pasa a alta velocidad a través del dado. Se aplica un ligero vacío entre el alambre y el polímero para propiciar la adición del recubrimiento. El alambre provee la rigidez necesaria durante el enfriamiento, al pasarlo ya recubierto a través de una cubeta de agua. El el producto se enreda en grandes carretes a velocidades de 10000 pie/min (50 m/seg).

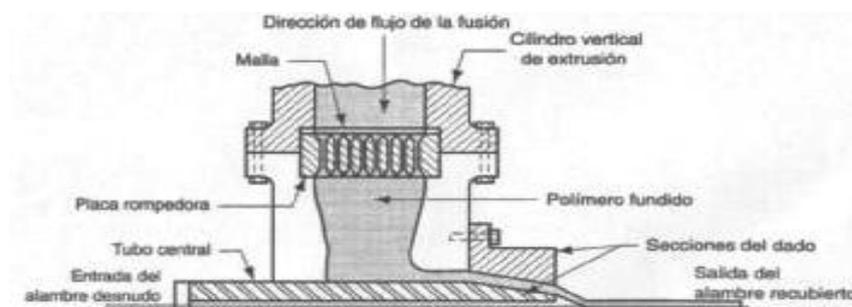


Figura 2.16 Corte lateral de un dado para recubrir alambre

2.2.3.4 Láminas y películas.

Las láminas y las películas se producen espesores mediante extrusión convencional, usando un dado cuya abertura tiene la forma de una rendija delgada. La rendija delgada puede tener hasta 10 pies (3 m) de largo con un ancho cercano a 0.015 pulg (0.04 mm). En la figura 2.17, se ilustra una configuración posible de dado: Este incluye un conducto distribuidor que extiende la fusión del polímero lateralmente, antes de que fluya a través de la rendija (orificio delgado). Una dificultad del método de extrusión es la uniformidad del espesor a lo ancho del material.

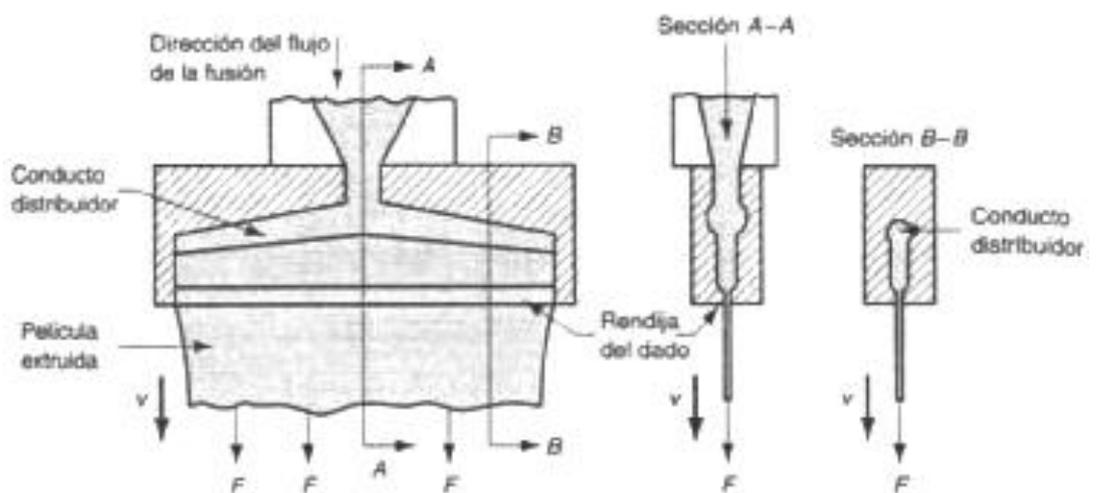


Figura 2.17 Configuración para extrusión de láminas y películas.

Esto se debe al cambio drástico de forma que experimenta la fusión del polímero durante su paso a través del dado y las variaciones de

temperatura y de presión en el dado. Los bordes de la película generalmente deben cortarse, debido a que su espesor es mas grande.

Para ayudar a compensar estas variaciones los dados incluyen labios ajustables, que se puede apreciar en la figura 2.18, que permiten alterar el ancho de la rendija.

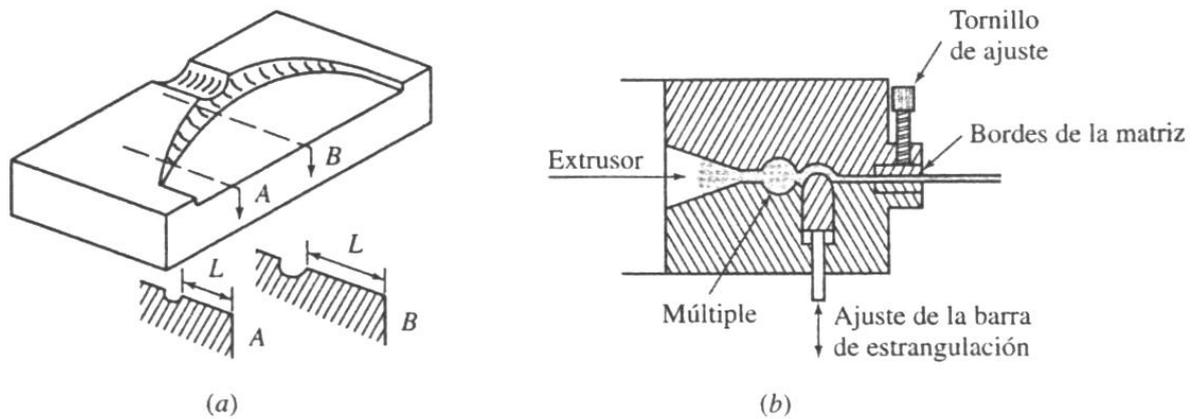


Figura 2.18 Regulación de flujo a) matriz gancho de ropa, b) matriz con barra de estrangulamiento y ajuste de los bordes.

Para alcanzar altas velocidades de producción es necesario incorporar al proceso de extrusión, métodos eficientes de enfriamiento y recolección de la película; esto se logra conduciendo inmediatamente la extrusión hacia un baño de temple con agua o sobre rodillos refrigerados como se muestra en la figura 2.19.

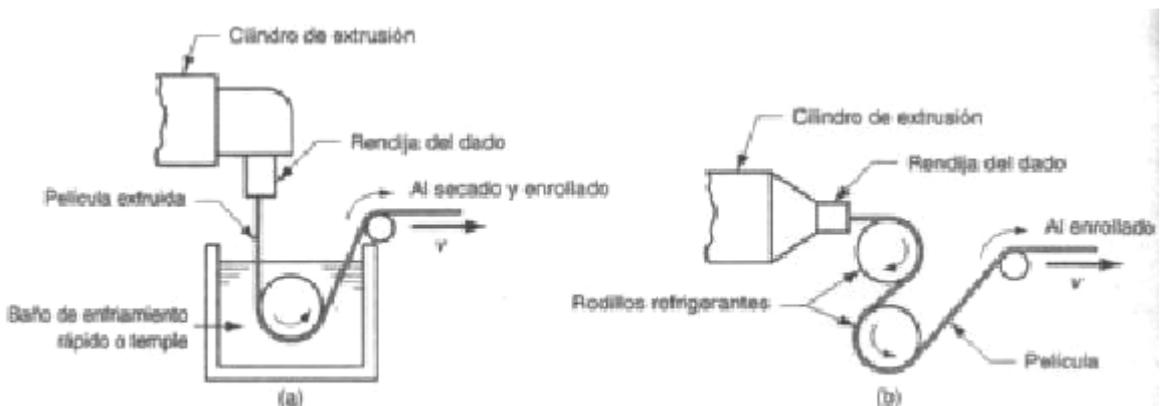


Figura 2.19 a) Uso de baño de enfriamiento rápido o b) rodillos refrigerantes para solidificar la película después de la extrusión.

El método de los rodillos refrigerados parece ser el más importante comercialmente. Las bajas temperaturas de los rodillos provocan el rápido enfriamiento y solidificación en la extrusión, el extrusor sirve como un dispositivo de alimentación de los rodillos refrigerantes, pero estos son los que realmente forman la película. El proceso es notable por sus altas velocidades de producción de hasta 1000 pie/min (5 m/s). Además pueden lograrse estrechas tolerancias en el espesor de la película. Debido al método de enfriamiento usado en este proceso se le conoce como *extrusión con rodillos refrigerantes*.

2.3 ANÁLISIS DE POLÍMEROS.

2.3.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS.

2.3.1.1 Definición de Polímeros

La palabra *polímero* literalmente significa muchas piezas.

Los polímeros son materiales formados por grandes moléculas. Estas grandes moléculas están formadas por la unión de otras moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Los monómeros son la unidad estructural de todos los polímeros. Estos materiales están basados en el carbono.

2.3.1.2 Clasificación de los polímeros.

Los polímeros pueden dividirse en dos clases, *termoplásticos* y *termoestables*, dependiendo de la estructura química de su enlace.

Termoplásticos.

Esta clase de plásticos necesitan calor para deformarse y después de enfriarse mantienen la forma a la que fueron moldeados. Estos materiales pueden calentarse y volver a moldearlos un buen número de veces sin que se produzca un cambio significativo de sus propiedades. La mayoría de termoplásticos consisten en cadenas principales muy largas de átomos de carbono enlazados entre sí. Algunas veces también se encuentran enlazados en la cadena principal de manera covalente átomos de nitrógeno, oxígeno o azufre. En los termoplásticos las largas cadenas moleculares se enlazan entre sí mediante enlaces secundarios.

Plásticos Termoestables.

Estos plásticos adquieren una forma permanente y son curados mediante una reacción química, no pueden ser refundidos y remodelados en otra forma, sino que se degradan y se descomponen al ser calentados a temperaturas demasiado altas, por este motivo los plásticos termoestables no pueden reciclarse.

Estos plásticos necesitan el calor para mantener permanente su forma, aunque existen muchos plásticos termoestables que fraguan o curan a temperatura ambiente, solamente con una reacción química.

La mayor parte de plásticos termoestables están formados de una red covalente de átomos de carbono enlazados entre sí para formar un sólido rígido. A veces el nitrógeno, oxígeno y azufre se enlazan de forma covalente en la red de la estructura reticular del plástico termoestable.

2.3.2 ANÁLISIS DE LOS TERMOPLÁSTICOS.

2.3.2.1 Ventajas y desventajas de los termoplásticos.

Los polímeros tienen muchas ventajas con respecto a otros materiales:

- Son, en general, materiales ligeros.

- Son muy buenos aislantes de la electricidad.
- Son resistentes a la corrosión y a la acción de agentes químicos.
- Son fáciles de fabricar y su moldeo es sencillo y puede realizarse mediante diversos métodos.
- Son más baratos que otros materiales como la madera o los metales.

El principal inconveniente de los plásticos es que no soportan altas temperaturas. A una temperatura superior a los 200 C° se funden o degradan. La mayoría de los polímeros son sintéticos y se obtienen de materias primas como el petróleo, el gas natural o el carbón, pero también existen polímeros naturales como la celulosa y el caucho.

2.3.2.2 Forma de Obtención de los Polímeros

Los monómeros se unen entre sí para formar un polímero por medio de la polimerización.

2.3.2.2.1 Tipos de polimerización

La polimerización consiste en unir varias moléculas pequeñas para formar moléculas más grandes.

La polimerización puede realizarse por distintos métodos:

Polimerización por Adición

Este tipo de polimerización consiste en la unión de varios monómeros semejantes.

Estas moléculas se unen mediante enlaces covalentes dobles, de modo que las moléculas comparten así dos electrones. Estos enlaces pueden romperse por medio de un agente que rompe uno de los enlaces, un agente iniciador o catalizador que normalmente suele ser la luz o el calor.

Estos enlaces rotos son llamados incompletos y permiten la unión de otro monómero en la misma situación, formándose así una cadena. Hay varios tipos de polimerización por adición:

- Adición por apertura del doble enlace sin eliminación de ninguna parte de la molécula (tipo vinilo).
- Adición por apertura de un anillo sin eliminación de ninguna parte de la molécula (tipo epóxido).
- Adición por apertura del doble enlace con eliminación de una parte de la molécula (tipo diazo).
- Adición por apertura de un anillo con eliminación de una parte de la molécula (tipo aminocarboxianhidro).

Algunos polímeros fabricados mediante este método son el polietileno (PE), el policloruro de vinilo (PVC), el teflón, el neopreno, el poliestireno, el poliacetato de vinilo (PVA), el polimetacrilato de metilo (plexiglás) y fibras textiles como el acrilón o el orlón, derivadas del acrilonitrilo.

Ejemplo de la polimerización por adición podemos ver en la figura 2.20 a la molécula de etileno, la cual se activa por medio de calor, luz o catalizador, hace que el doble enlace entre los átomos de carbono se abra, el doble enlace covalente es sustituido por un enlace covalente sencillo. Por resultado de la activación, cada átomo de carbono de la anterior molécula de etileno tiene un electrón libre para el enlace covalente con otro electrón libre de otra molécula.

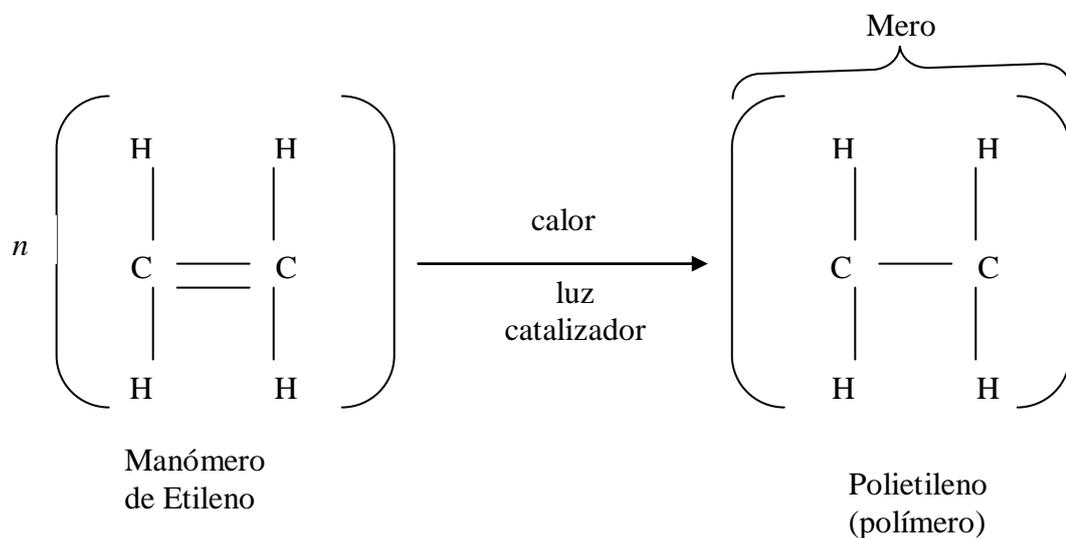


Figura 2.20 Estructura de enlace de una molécula de Etileno activada.

Polimerización por Condensación

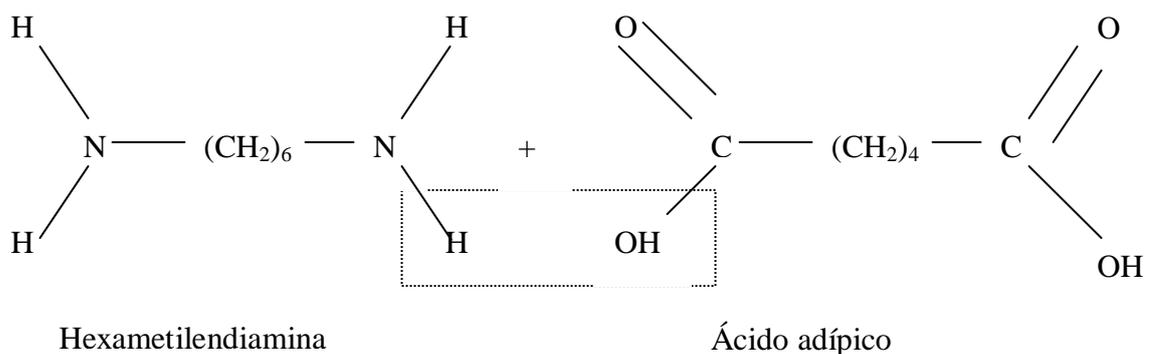
Este tipo de polimerización consiste en la unión de dos o más monómeros diferentes, formando así una molécula más compleja.

En este proceso se obtiene, además del polímero, un subproducto, que puede ser agua, alcohol, amoníaco, etc.

Este procedimiento es más lento y complicado que el de adición, y suelen formarse en general polímeros más pequeños

Algunos polímeros fabricados por condensación son el polietilentereftalato (PET), los poliésteres (como el tergal o el tyrelene), los poliuretanos (usados como espumas aislantes), las poliamidas (como el nailon) o las resinas fenólicas (como la baquelita y las resinas epoxi).

Un ejemplo de polimerización por condensación es la reacción de la hexametildiamina con el ácido adípico para producir *nylon 6.6* y *agua* como subproducto, como se muestra en la figura 2.21.



butadieno- estireno						
Terpolímero de acrílonitrilo estireno acrilato	ASA	1.07	1.3	230-260	40-90	0.4-0.6
Poliétileno de baja densidad	LDPE	0.954	2-2.1	160-260	50-70	1.5-5
Poliétileno de alta densidad	HDPE	0.92	2.3-2.5	260-300	30-70	1.5-3
Polipropileno	PP	0.917	0.84-2.5	250-270	50-75	1-2.5
<i>Material</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Densidad</i>	<i>Calor específico promedio</i>	<i>Temp de procesamiento</i>	<i>Tempa del molde</i>	<i>Concen tración</i>
Policloruro de vinilio flexible	PVC soft	1.38	0.85	170-200	15-20	0.5
Policloruro de vinilio rígido	PVC rigid	1.38	0.83-0.92	180-210	30-50	0.5
Polifloruro de vinilideno	PVDF	1.2		250-270	90-100	3-6
Poli(tetrafluoretileno) teflón	PTFE	2.12-2.17	0.12	320-360	200-230	3.5-6
Poli(etileno tereftalato)	PET	1.37		260-290	140	1.2-2
Poli(butileno tereftalato)	PBT	1.3		240-260	60-80	1.5-2.5
Poli(sulfuro de fenileno)	PPS	1.64		340-425	150	0.2
Poli(éterimida)	PEI	1.27		360-390	64-175	0.4-0.7
Resina de fenolformaldehído	PF	1.4	1.3	60-80	170-190	1.2
Poliéster insaturado	UP	2-2.1	0.9	40-60	150-170	0.5-0.8
Resina epoxi	EP	1.9	1.7-1.9	70	160-170	0.2

2.3.2.3.2 Aplicaciones de los termoplásticos

Algunas de las propiedades principales y las aplicaciones que tienen los termoplásticos son indicadas en la tabla 2.2, a continuación presentada.

Tabla 2.2 Aplicaciones de termoplásticos

Plásticos termoplásticos	Características	Aplicaciones principales
---------------------------------	------------------------	---------------------------------

<i>Polietileno de alta densidad (HDPE)</i>	Denso, pesado y muy resistente.	Envases de alimentos o líquidos, bolsas, carcasas de electrodomésticos, juguetes, engranajes y tuberías.
<i>Polietileno de baja densidad (LDPE)</i>	Ligero y flexible.	Bolsas y envoltorios, juguetes y artículos de menaje.
<i>Policloruro de vinilo (PVC)</i>	Duro y tenaz, impermeable, poco inflamable y resistente a la corrosión.	Construcción, tuberías y válvulas, películas impermeables, recubrimiento de cables.
<i>Polipropileno (PP)</i>	Bastante rígido, resistente a esfuerzos y a la acción de productos químicos y buen aislante.	Piezas industriales, componentes eléctricos y electrónicos, envases y menaje de cocina, cascos, papelería, juguetes, fibras para tapicerías, alfombras, moquetas y cuerdas
<i>Poliestireno (PS)</i>	Bastante rígido, aunque con resistencia mecánica moderada.	Envases de alimentos, carcasas de electrodomésticos, aislante acústico y térmico, embalajes, juguetes.
<i>Polietilentereftalato (PET)</i>	Rígido y tenaz, resistente a la corrosión y a la acción de productos químicos.	Envases de alimentos, botellas, fibras textiles (dacrón), base para cintas magnéticas (mylar).
<i>Polimetacrilato de metilo (PMMA)</i>	Transparente, rígido, no muy duro y con buenas propiedades mecánicas.	Se usa como sustituto del vidrio en artículos domésticos, decoración, envases, faros, etc.
<i>Poliamida (PA)</i>	Resistente al desgaste y a la acción	Recubrimientos, rodamientos, fibras textiles (nylon).

	de productos químicos.	
Policarbonato (PC)	Tenaz y resistente a los golpes.	Chasis de máquinas, cascos y revestimientos.
Politrafluoretileno (PTFE), teflón	Buen aislante térmico y eléctrico, resistente a la corrosión.	Industria eléctrica y electrónica (revestimiento de cables), recubrimientos en general.

2.3.2.4 Reciclaje y Reuso de los Termoplásticos.

Si bien existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son sólo seis, y se los identifica con un número dentro de un triángulo a los efectos de facilitar su clasificación para el reciclado, ya que las características diferentes de los plásticos exigen generalmente un reciclaje por separado.

Tabla 2.3 Denominación, características y usos de plásticos reciclables

TIPO / NOMBRE	CARACTERISTICAS	USOS / APLICACIONES
 <p>PET</p> <p>Polietileno Tereftalato</p>	<p>Se produce a partir del Ácido Tereftálico y Etilenglicol, por poli condensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.</p>	<p>Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.).</p> <p>Películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas para horno, bandejas para microondas, cintas de video y audio, geotextiles (pavimentación /caminos); películas radiográficas.</p>

 <p>PEAD Polietileno de Alta Densidad</p>	<p>El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede transformar de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión, o Rotomoldeo.</p>	<p>Envases para: detergentes, lavandina, aceites automotor, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para pescados, gaseosas y cervezas, baldes para pintura, helados, aceites, tambores, caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje</p>
 <p>PVC Cloruro de Polivinilo</p>	<p>Se produce a partir de dos materias primas naturales: gas 43% y sal común (*) 57%.</p> <p>Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles (Inyección - Extrusión - Soplado).</p> <p>(*) Cloruro de Sodio (2 NaCl)</p>	<p>Envases para agua mineral, aceites, jugos, mayonesa.</p> <p>Perfiles para marcos de ventanas, puertas, caños para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, blister para medicamentos, pilas, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado (carne, fiambres, verduras), film cobertura, cables, cuerina, papel vinílico (decoración), catéteres, bolsas para sangre.</p>
 <p>PEBD Polietileno de Baja Densidad</p>	<p>Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión y Rotomoldeo.</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. Películas para: Agro (recubrimiento de Acequias), envasamiento automático de alimentos y</p>

<p>Densidad</p>	<p>Su transparencia, flexibilidad, tenacidad y economía hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones.</p>	<p>productos industriales (leche, agua, plásticos, etc.). Streech film, base para pañales descartables. Bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos. Tubos y pomos (cosméticos, medicamentos y alimentos).</p>
 <p>PP</p> <p>Polipropileno</p>	<p>El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. (El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado y extrusión/termoformado)</p>	<p>Película/Film (para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envases industriales (Big Bag). Hilos cabos, cordelería. Caños para agua caliente. Jeringas descartables. Tapas en general, envases. Bazar y menaje. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Potes para margarina. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc. Telas no tejidas (pañales descartables). Alfombras. Cajas de batería, paragolpes y autopartes.</p>
	<p>PS Cristal: Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo. PS Alto Impacto: Es un polímero de estireno</p>	<p>Envases para lácteos (yoghurt, postres, etc.), helados, dulces, etc. Envases varios, vasos, bandejas de supermercados y rotiserías. Heladeras:</p>

<p style="text-align: center;">PS</p> <p style="text-align: center;">Poliestireno</p>	<p>monómero con oclusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto. Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de: Inyección, Extrusión/Termoformado, Soplado.</p>	<p>contrapuertas, anaqueles. Cosmética: envases, máquinas de afeitar descartables. Bazar: platos, cubiertos, bandejas, etc. Juguetes, cassetes, blisters, etc. Aislantes: planchas de PS espumado.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

La clasificación previa y la recolección diferenciada es el primer paso en el camino hacia la recuperación de plásticos. A los efectos de reducir significativamente los costos, la clasificación debe realizarse en origen, es decir en los lugares en los que se genera el desecho, como en los hogares, centros educativos, centros de salud, oficinas, etc.

Existen distintos criterios para clasificar los plásticos. Si consideramos su capacidad para volver a ser fundidos mediante el uso de calor, entonces los plásticos pueden clasificarse en termofijos y termoplásticos. Los termoplásticos son los de uso más común en la vida diaria. También los plásticos pueden ser utilizados como fuente de energía, aunque la quema de los mismos no es aconsejable ya que algunos de ellos —por ejemplo el PVC— despide cloro, pudiendo generar la formación de corrosivos como el ácido clorhídrico, así como sustancias tóxicas y cancerígenas como las dioxinas y furanos.

CAPITULO 3

ADECUACIÓN DE LA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO

3.1 DIAGNÓSTICO

La cortadora de plástico rígido, que fue adquirida al Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE, no funcionaba, sus diferentes partes se encontraban con óxido, y las instalaciones eléctricas estaban sueltas, por lo cual el motor que posee esta cortadora no encendía, haciendo imposible que se realice un análisis previo del funcionamiento de la cortadora.

La cortadora una vez que fue adquirida, se la llevó al Laboratorio de Mecánica de Materiales, para aquí realizar la limpieza del equipo y el análisis de cada elemento y sistema, para determinar el estado en que se encontraban

3.1.1. ANÁLISIS DE ELEMENTOS Y SISTEMAS DE LA CORTADORA.

La cortadora de plástico rígido, esta conformada por algunos elementos y sistemas, mediante los cuales realiza el proceso de corte. A continuación se detalla las características principales de estos elementos y sistemas.

3.1.1.1 Motor eléctrico.

El motor eléctrico, con el que esta equipada la cortadora, es el que provee la potencia para que la máquina realice el corte.

Cuando fue adquirida la máquina cortadora, no se pudo determinar si el motor eléctrico estaba funcionando o no, ya que algunos de sus cables de

alimentación de energía estaban sueltos, y los que se encontraban unidos estaban en mal estado , como muestra la figura 3.1.



Figura 3.1. Condiciones en las que se encontró el motor eléctrico.

Era sumamente importante conocer si el motor estaba funcionando, ya que es uno de los elementos principales de la cortadora. Por esta razón se procedió a realizar las adecuaciones necesarias, con el fin de observar el funcionamiento del motor y al mismo tiempo de toda la máquina.

Al motor se lo limpió detenidamente, ya que en laboratorio de Máquinas y Herramientas se encontraba a la intemperie, sin ninguna protección ni un cobertor, por lo que tenía polvo, tanto en su carcasa como en sus partes internas.

En primer lugar se obtuvieron las especificaciones del motor (Tabla 3.1), de donde se conoció que es un motor de marca CENTURY, fabricado en Estados Unidos, se trata de un motor trifásico que funciona a 220 voltios, tiene una potencia de $\frac{1}{2}$ HP (caballo de fuerza) y genera una velocidad angular en su eje de 1140 rpm.

Tabla 3.1. Especificaciones del motor eléctrico de la cortadora de plástico rígido.

Marca: CENTURY					
<i>PART:</i>	8-107.720-01	<i>TYPE:</i>	SC	<i>FRAME:</i>	J56
<i>VOLTS:</i>	208-220/440	<i>FORM:</i>	KCH	<i>PH: 3</i>	<i>CÓDIGO: J</i>
<i>HP:</i>	1/2	<i>AMPS:</i>	2.0 - 1.9 / .95	<i>SF:</i>	1.25
			2.2 / 1.1		1.00
<i>RPM:</i>	1140	<i>CY:</i>	60	<i>SPEC:</i>	NA
	950		50	<i>COMM</i>	NA
				<i>DIAG:</i>	
<i>Thermaly Protec:</i>	not	<i>Ser N°:</i>	G12	<i>Open Cont:</i>	40/50
Made in U:S:A					

Conocidas ya las especificaciones del motor eléctrico, era necesario conectar los cables del motor, para observar su funcionamiento. Los cables con que los que estaban hechas las conexiones se encontraban en mal estado, como se observa en la figura 3.2, por lo que se los cambió y se los aumentó, con el fin que se pueda mover la máquina lejos de la toma de 220 Voltios.



Figura 3.2. Cables de motor eléctrico en mal estado

El motor al ser trifásico, posee tres fases, y una para el neutro, por este motivo del motor salen nueve cables, los cuales están numerados: Para obtener una fase se debe conectar un par de cables, de acuerdo a las especificaciones de conexión que vienen dadas para cada motor. En este caso como se realizó únicamente un cambio de cables, se mantuvo los

pares de cables que estaban conectados, pues al adquirir la cortadora indicaron que con ese orden funcionaba de manera correcta el motor.

Las fases se formaron al unir para la primera fase (fase R) los cables número 7 y número 1, para la segunda fase (fase S) los cables número 2 y número 8, para la tercera fase (fase T) se unió los cables número 3 y número 9, quedaron sobrantes los cables número 4, 5 y 6, los cuales son el neutro de cada fase, por lo que al unirlos forman un neutro común para todas las fases, esta distribución de la conexión de los cables se observa en la figura 3.3.

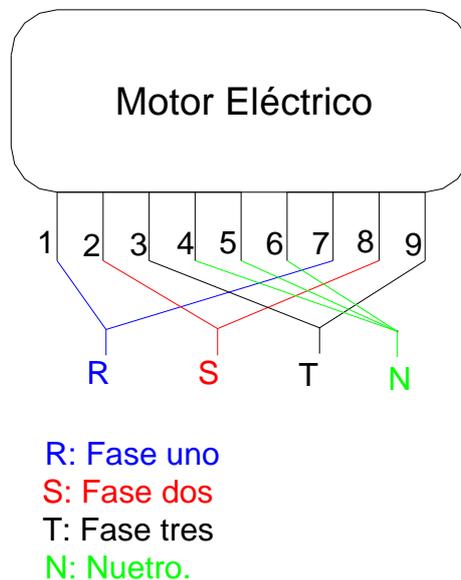


Figura 3.3. Conexión determinada para las fases y el neutro común del motor eléctrico.

Al tener las fases y el neutro del motor eléctrico, se conectó en una toma eléctrica de 220 V, observando que el motor funciona de manera correcta, no produce sonido extraño, ni se observó algún cortocircuito o alguna novedad. Con esto se comprobó que el motor funciona de manera correcta y las conexiones realizadas están bien realizadas.

Para verificar las especificación que tiene el motor de 950 rpm a 1140 rpm, se midió con un tacómetro manual las revoluciones del eje del motor eléctrico,

obteniendo un valor promedio de 1080 rpm, con lo que confirmamos que el motor se encuentra en buen estado.

3.1.1.2 Sistema de transmisión de potencia .

Este sistema de transmisión de potencia, esta conformado por una banda, dos poleas, dos ejes y un par de chumaceras, como se puede ver en la figura 3.4

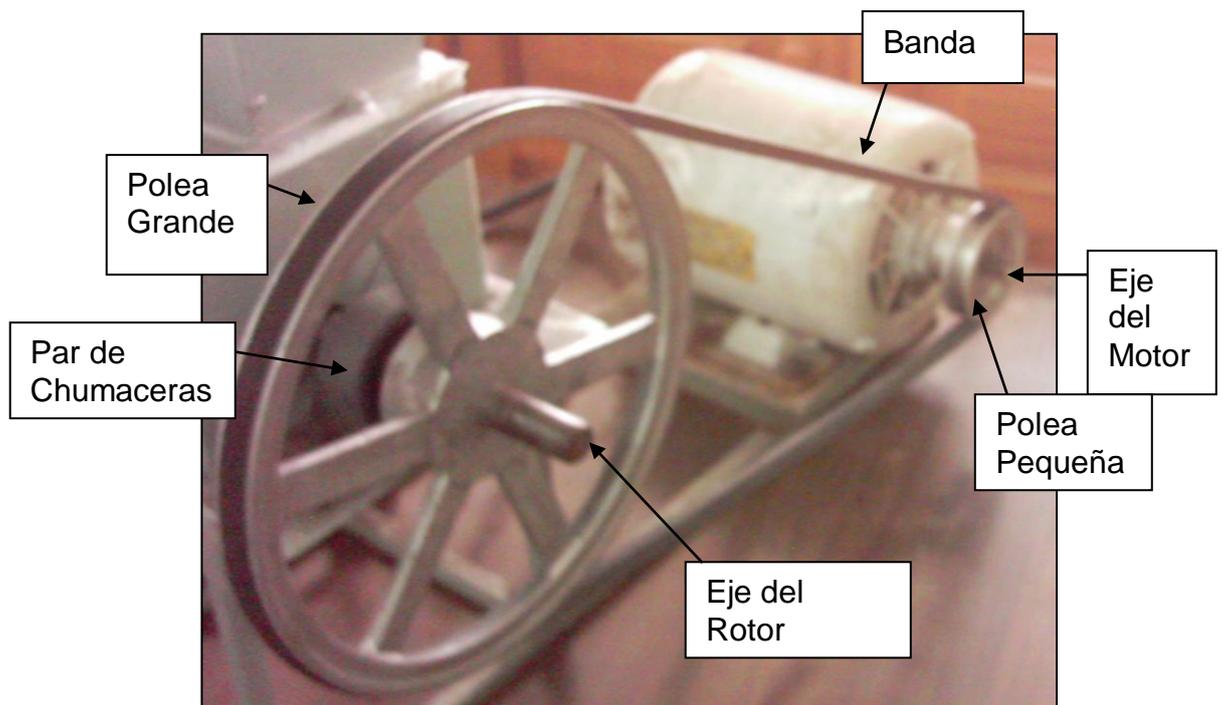


Figura 3.4 Partes del sistema de transmisión.

3.1.1.2.1. Banda.

La banda utilizada para transmitir la potencia que genera el motor eléctrico, es una banda en V A-55, de marca HANCHANG, con una longitud de 1420 mm; esta banda se encuentra en estado aceptable para el uso, no presenta fracturas a lo largo de su sección, ni tampoco fibras del cordón de poliéster que la forma.

Las bandas tipo V poseen un tejido externo, que se hace entre una chaqueta de algodón y caucho antiestático, estos materiales hacen que se produzca una buena adhesión entre el tejido externo y el alma, esta parte de la banda la protege del ataque del aceite y la hace resistente a condiciones climáticas adversas. Esta alma es de caucho de excelente calidad y con una alta dureza, las propiedades que posee el caucho hace que este sea muy estable y que su carrera en el canal de la polea sea firme. Las bandas tienen cordones de poliéster, para que el cordón quede totalmente unido al alma de caucho se utilizan adhesivos especiales. Las partes que forman una banda en V se las puede observar en la figura 3.5.

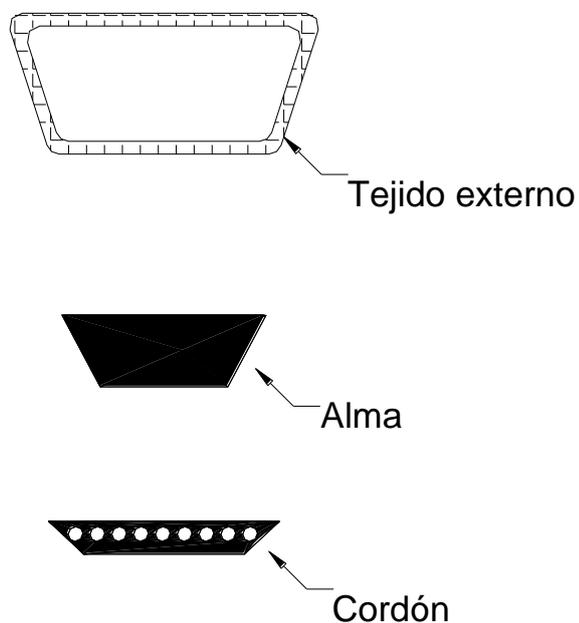


Figura 3.5. Componentes de bandas tipo V.

Las bandas tipo V tienen un monocordón o multicordón de poliéster, por lo que se escoge de acuerdo a la aplicación que se da a la banda.

La banda que posee la cortadora es una de monocordón, en este tipo de bandas el cordón está incrustado en el alma y situado en una zona neutral (en la región de la banda donde las resistencias a la flexión son cero, la zona donde la banda se apoya para girar alrededor de las poleas), haciendo a las bandas muy flexibles y resistentes a la fatiga, los

monocordones se emplean en bandas de secciones pequeñas y en bandas con una longitud de hasta 2500 mm. Estas bandas se usan en sistemas con poleas pequeñas y distancia entre centros pequeñas, ya que en estos casos se emplea totalmente las propiedades de diseño de estas bandas.

En las bandas de multicordón, el cordón se incrusta en la banda mediante la unión de diversas capas; este diseño se realiza en todas las secciones y se utiliza cuando se requieren bandas de gran longitud, para transmitir grandes fuerzas y en el caso que las bandas se las utilice en máquinas de servicio pesado. En la figura 3.6 se puede observar las bandas con monocordón y multicordón.

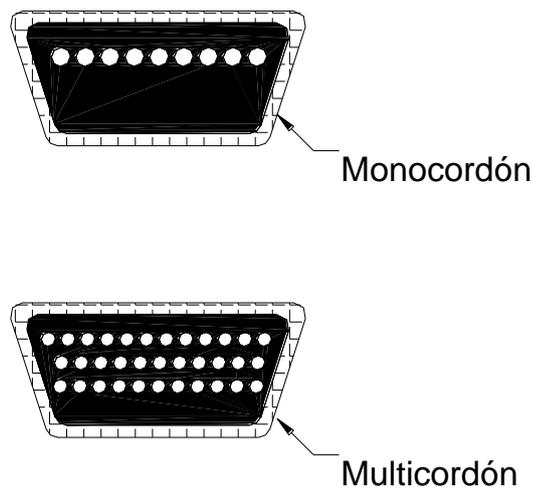


Figura 3.6. Diseños de bandas tipo V, a) monocordón y b) multicordón.

3.1.1.2.2 Poleas.

Este sistema de transmisión de potencia posee dos poleas de un canal, por las cuales pasa la banda en V descrita anteriormente. Estas poleas hallan en buen estado, y no existe juego entre ellas y el eje en que se encuentran montadas.

La *polea conductora* tiene un diámetro de 75 mm. Esta acoplada al eje que sale del motor eléctrico y que genera la potencia del sistema, para el ensamblaje de la polea con el eje se emplea un prisionero, el que no permite que exista juego entre la polea y el eje.

La *polea conducida* tiene un diámetro de 635 mm. Esta polea se encuentra acoplada al eje en el cual se encuentra el rotor, de igual manera que la polea conductora, esta se encuentra ensamblada con el eje, mediante un prisionero, el que no permite que haya juego, y que la polea funcione de manera correcta.

3.1.1.2.3 Ejes

El *eje del motor* es de un diámetro de 11 mm, se encuentra en buen estado, tiene una buena cilindridad y no presenta irregularidades en su superficie. Esta funcionando de manera correcta.

Se midió la velocidad angular con la que gira este eje, utilizando un tacómetro manual, obteniendo en valor de 1080 rpm.

El *eje del rotor*, tiene un diámetro de 20 mm y una longitud de 340 mm; se le denomina de esta forma ya que en el esta montado un rotor que forma parte del sistema de corte, que se lo describirá a continuación. Este eje esta montado sobre un par de chumaceras, el eje presenta una buena cilindridad , con pequeñas irregularidades en su superficie, principalmente porque roza con el sistema de alimentación lo que ha generando unas pequeñas ranuras, las que no influyen de gran manera en el funcionamiento de eje.

Igual que al eje del motor, se midió la velocidad angular con la que gira este eje, utilizando un tacómetro manual, obteniendo en valor de 310 rpm.

Al conocer las velocidades angulares, se calculó la relación de transmisión del sistema, el mismo que es de 3.48.

$$n1 = 1.08 \times 10^3 \quad \text{rpm}$$

$$n2 := 310 \quad \text{rpm} \quad \text{Velocidad de ingreso medida en una polea colocada en el eje adicional}$$

$$i := \frac{n1}{n2}$$

Ecuación: 3 - 1

$$i = 3.484$$

3.1.1.2.4 Chumaceras.

El sistema tiene un par de chumaceras HBF P204, en estas se asienta el eje del rotor. Se encuentran con suciedad y necesitan ser engrasadas; las chumaceras están empernadas en una base metálica, no presentan juego, por lo que al realizarlas una limpieza adecuada y un mantenimiento, podrán funcionar sin problema.

3.1.1.3 Sistema de corte.

Este sistema es uno de los más importantes de la cortadora, ya que como su nombre lo indica, es el que permite realizar el corte y el que determina que tipo de material se puede cortar.

Los elementos que conforman el sistema de corte son. un rotor porta cuchillas de sección transversal triangular, una cuchilla fija, tres cuchillas móviles y la base para fijar la cuchilla fija. Las características de estos elementos se explica a continuación y se los puede observar en la figura 3.7.

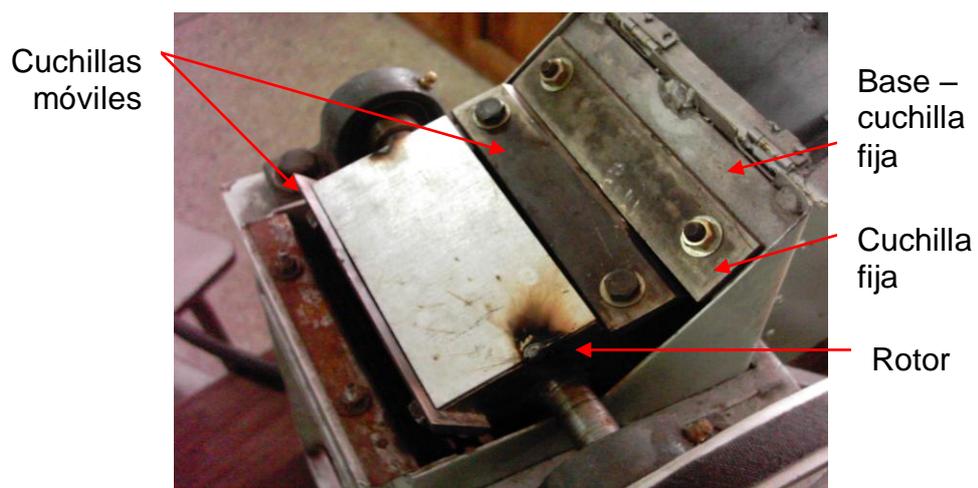


Figura 3.7. Elementos del sistema de corte.

3.1.1.3.1 Rotor porta cuchillas.

El rotor porta cuchillas, tiene una sección transversal triangular; sobre el se colocan las tres cuchillas móviles, en cada cara del rotor, en el rotor existen agujeros roscados en los cuales ingresan pernos para sujetar a las cuchillas.

Este rotor es a atravesado por el eje de la polea grande, es acoplado en él por medio de puntos de soldadura en las secciones externas del rotor, por lo que rota con la misma velocidad que el eje.

El rotor se encontró en buenas condiciones, pero en la zona donde se asientan las cuchillas existen irregularidades en la superficie, por lo que hace falta dar un buen acabado superficial. Las caras del rotor no son totalmente simétricas, hay pequeñas variaciones en su dimensiones. En la figura 3.8, se puede apreciar la sección transversal del rotor.

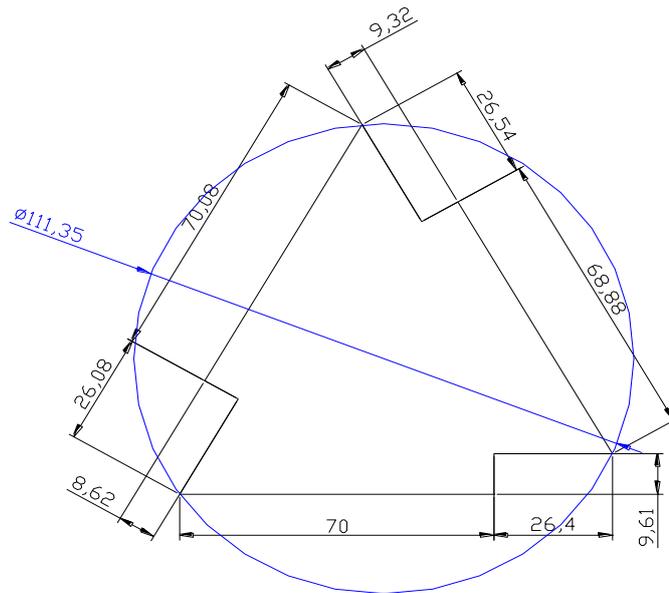


Figura 3.8. Sección transversal del rotor.

3.1.1.3.2 Cuchillas Móviles

Este sistema posee tres cuchillas móviles, las que van acopladas al rotor mediante un par de pernos cada una. Los agujeros donde ingresan los pernos son alargados, con el fin de que las cuchillas puedan ser calibradas, cabe señalar que estos agujeros se encuentran mal hechos, ya que no son uniformes y dan una mala apariencia.

Las cuchillas móviles encontradas están en mal estado, tienen óxido y necesitan ser afiladas, ya que por el uso que tuvieron han perdido las condiciones ideales de corte.

3.1.1.3.3 Cuchilla fija

La cuchilla fija se mantiene en la misma posición durante todo el proceso de corte. Está acoplada a una base mediante un par de tuercas, ya que en la base

están incrustados pernos; de igual manera que las móviles, en la cuchilla fija los agujeros por donde atraviesan los pernos son alargados, con el fin que esta cuchilla también se la pueda calibrar.

Por el uso y falta de mantenimiento, esta cuchilla se encuentra en mal estado, ha perdido las condiciones ideales de corte.

3.1.1.3.4 Base de la Cuchilla Fija.

En esta base se asienta la cuchilla fija, para lo cual posee dos pernos incrustados en su superficie, con los cuales se logra mantener sin movimiento a la cuchilla.

La base se encuentra en buen estado, los pernos que posee están totalmente fijos, y la superficie de la base se encuentra en buenas condiciones.

3.1.1.4 Sistema de Alimentación.

El sistema de alimentación de plástico en la máquina es manual.

En la máquina existe una carcasa, que cubre totalmente al sistema de corte, con el fin de proteger a la persona que opere la máquina, ya que si se toca las cuchillas en funcionamiento, pueden producirse graves accidentes.

Esta carcasa está hecha de chapa metálica; su diseño (en forma de manga), que se lo puede observar en la figura 3.9, permite que el material ingrese por una ventanilla en su parte superior, y sea conducido hacia el sector donde se encuentra el sistema de cuchillas, debido a la forma de ducto en L que posee, lo que lo hace parte del sistema de alimentación.

En uno de los bordes de la carcasa, se encuentra acoplada una bisagra, unida al bastidor de la máquina, con lo cual se puede levantar la carcasa para hacer

mantenimiento de las cuchillas o si se presenta algún problema en el proceso de corte del plástico.

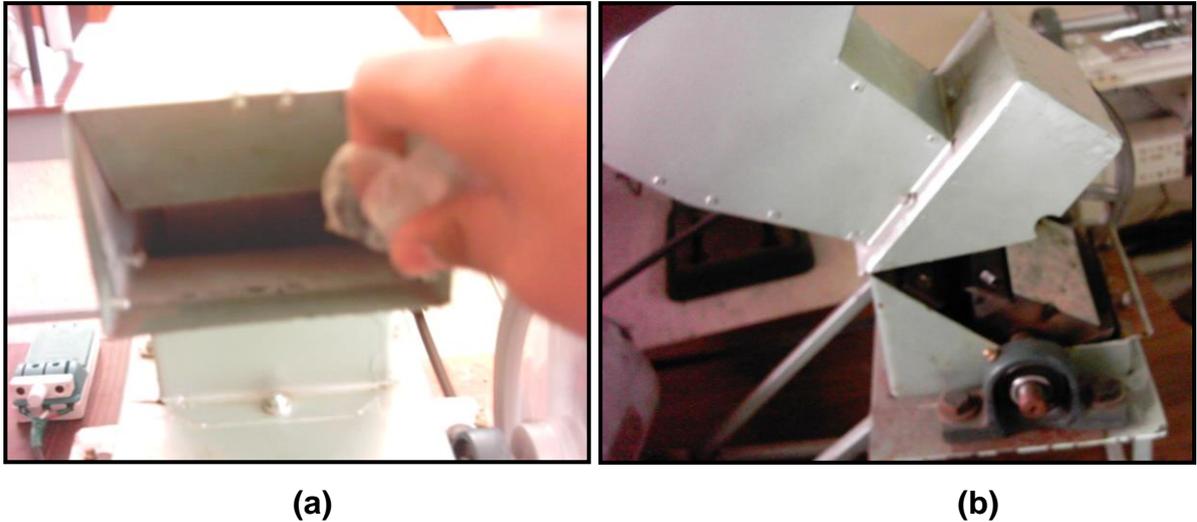


Figura 3.9. Sistema de Alimentación de la cortadora. a) ventanilla para ingreso plástico, b) ducto para conducir el plástico a las cuchillas.

3.1.1.5 Sistema de Salida del Material.

Este sistema esta formado por un tamiz y por un embudo metálicos, los cuales están ubicados debajo del sistema de corte, y se encargan de determinar el tamaño del plástico cortado y de la salida del plástico de la máquina.

3.1.1.5.1. Tamiz Metálico.

Es una malla lámina metálica, con varias perforaciones circulares. Tiene una forma circular, con el fin que al rotar las cuchillas no exista contacto entre estas y el tamiz. La forma y orificios se puede observar en la figura 3.10.

Su función es de acumular el material plástico que es cortado por las cuchillas, y al mismo tiempo permite el paso del plástico que posee un área menor al de sus orificios, y el material que no tiene esta área sigue girando y cortándose en

el sistema de cuchillas, hasta que alcance el área deseada; de esta forma se logra que el todo el plástico cortado tenga un área semejante.

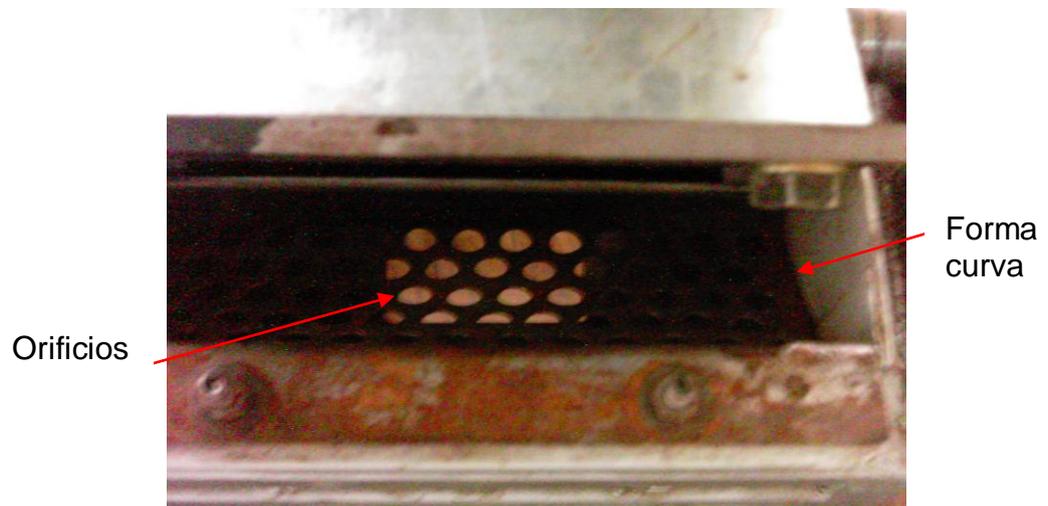


Figura 3.10. Orificios y forma curva del tamiz metálico.

3.1.1.5.2. Embudo Metálico.

Este embudo tiene forma de una pirámide rectangular truncada, esta hecha de tool metálico.

Esta colocado bajo el tamiz, y su función es de encaminar hacia su boca el material cortado y que ha pasado a través del tamiz, para recogerlo en un recipiente.

Al embudo metálico lo podemos observar en la figura 3.11, a continuación presentada.



Figura 3.11. Embudo metálico

3.1.2 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA CORTADORA.

El funcionamiento de la cortadora de plástico se basa en un sistema de transmisión de potencia, mediante el uso de poleas y una banda.

La máquina obtiene la potencia de un motor eléctrico trifásico, la cual mediante las poleas y la banda, se transmite a un eje, en el cual esta acoplado un rotor de sección transversal triangular, en el cual se van a montar tres cuchillas móviles, las que realizarán el corte al encontrarse con una cuchilla fija.

Luego de hacer las adecuaciones necesarias, se hizo funcionar la máquina, para observar en que estado se encuentra y de que manera realiza el corte, para determinar las partes de la máquina que necesitan

ser modificadas, con el fin de conseguir el corte ideal de los termoplásticos, que es el material que se desea cortar.

3.1.2.1 Cálculo de parámetros del sistema de transmisión potencia.

Para determinar los parámetros con los que trabaja este sistema de transmisión de potencia, se considera los datos que se pueden obtener directamente, como los diámetros de las poleas, tipo de banda, separación entre centros de ejes, velocidad angular de los ejes, y por medio de cálculos encontrar los demás parámetros necesarios en un sistema de transmisión, y verificar que los medidos se encuentren determinados de forma correcta.

Para realizar estos cálculos se empleará el software *MATCAD 2001 PROFESIONAL*, que permite realizar y resolver fórmulas matemáticas.

3.1.2.1.1. Desarrollo de Cálculos de Parámetros.

DATOS INICIALES

Tipo de Impulsor : Motor de corriente alterna
Maquina conducida: Cortadora
Horas de servicio: 8 horas/día
Velocidad de entrada: 1080 rpm
Potencia de entrada: 1/2 Hp

Determinamos el valor del factor de servicio (Fs):

$F_s := 1.2 + 0.1$ Motor de corriente alterna trifásico con revoluciones superiores a 600 rpm
 $F_s = 1.3$ y considerando la potencia adicional por temperatura. Manual de bandas Trelleborg pag. 10; tabla 2.

Potencia de diseño:

$P_n := 0.5 \cdot 0.746$ Kw Factor de conversion de Hp a Kw Pag 1182 tabla E12 Shigley

$P_d := F_s \cdot P_n$

$P_d = 0.485$ Kw

Selección de banda:

$n_1 := 1080$ rpm

$P_d = 0.485$ Kw

Utilizamos una banda de sección transversal tipo Z

Manual de bandas Trelleborg pag11 tabla 3

Selección de diámetros de poleas

Relación de transmisión

$n_1 = 1.08 \times 10^3$ rpm

$n_2 := 310$ rpm Velocidad de ingreso medida en una polea colocada en el eje adicional

$i := \frac{n_1}{n_2}$

Ecuación: 3 - 1

$i = 3.484$

Diametro minimo escogido y velocidad de la banda (V)

$$D_{\min} := 75 \text{ mm}$$

$$v_b := \frac{n_1 \cdot D_{\min}}{19100} \quad \text{Velocidad tangencial minima de la banda}$$

$$v_b = 4.241 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Formula obtenida del manual de bandas de Trelleborg pag 9}$$

Ecuación: 3 - 2

Diametro mayor:

$$D_{\text{mayor}} := i \cdot D_{\min}$$

Ecuación: 3 - 3

$$D_{\text{mayor}} = 261.29 \quad \text{Aproximamos este valor a un valor estandar de diametro}$$

$$D_{\text{ma}} := 250 \text{ mm} \quad \text{Valor estandar manual de bandas de Trelleborg pag 12, Tabla}$$

Calculo de parámetros de C:

$$C_{\min 1} := D_{\text{ma}}$$

Ecuación: 3 - 4

$$C_{\min 1} = 250 \text{ mm}$$

$$C_{\min 2} := \frac{D_{\text{ma}} + 3 \cdot D_{\min}}{2}$$

Ecuación: 3 - 5

$$C_{\min 2} = 237.5 \text{ mm}$$

Ecuación: 3 - 6

$$C_{\max} := 3 \cdot (D_{\text{ma}} + D_{\min})$$

$$C_{\max} = 975$$

$$C := 410 \text{ mm} \quad \text{Distancia medida entre poleas en la cortadora}$$

Longitud de paso de la banda

$$L_p := 2 \cdot C + \frac{\pi}{2} \cdot (D_{\text{ma}} + D_{\min}) + \frac{(D_{\text{ma}} - D_{\min})^2}{4 \cdot C} \quad \text{Ecuación: 3 - 7}$$

$$L_p = 1.349 \times 10^3 \text{ mm}$$

Tipo de banda seccion transversal Z N- 55
pag 15 manual de bandas de Trelleborg

$$L_{pTbl} := 1420 \text{ mm}$$

Distancia C de operacion

$$C_{real} := C + \frac{L_p T_{bl} - L_p}{2} \quad \text{Ecuación: 3 - 8}$$

$$C_{real} = 445.409 \text{ mm}$$

$$T_s := 20$$

$$T_i := -40$$

Tabla 8 manual de bandas de Trelleborg tolerancia superior (T tolerancia inferior (Ti))

$$C_{real1} := C_{real} + T_s$$

$$C_{real2} := C_{real} + T_i$$

$$C_{real1} = 465.409 \text{ mm}$$

$$C_{real2} = 405.409 \text{ mm}$$

Ecuación: 3 - 9

CALCULO DEL NUMERO DE BANDAS

Potencia unitaria por banda

$$n_1 = 1.08 \times 10^3 \text{ rpm}$$

$$D_{min} = 75 \text{ mm}$$

Como no existe valor de Basic Power a ese numero de Rev/Min realizamos una interpolacion

$$n_0 := 960 \text{ rpm} \quad P_{b0} := 0.426 \text{ Kw}$$

$$n_2 := 1440 \text{ rpm} \quad P_{b2} := 0.636 \text{ Kw}$$

Table 7 Section Z manual de bandas de Trelleborg Basic Power

$$\frac{n_2 - n_1}{n_1 - n_0} := \frac{P_{b2} - P_{b1}}{P_{b1} - P_{b0}}$$

$$P_{b1} := \frac{P_{b2} + P_{b0} \cdot \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1 - n_0} \right)}{\left(\frac{n_2 - n_1}{n_1 - n_0} \right) + 1}$$

Ecuación: 3 - 10

$$P_{b1} = 0.479 \text{ Kw}$$

Procedemos a interpolar para obtener la potencia adicional:

$$i = 3.484$$

$$n0 := 960 \quad \text{Pad0} := 0.04 \text{ Kw}$$

$$n2 := 1440 \quad \text{Pad2} := 0.07 \text{ Kw}$$

Table 7 Section Z manual de bandas de Trelleborg Additional Power pag 14

$$\frac{n2 - n1}{n1 - n0} := \frac{\text{Pad2} - \text{Pad1}}{\text{Pad1} - \text{Pad0}}$$

$$\text{Pad1} := \frac{\text{Pad2} + \text{Pad0} \cdot \left(\frac{n2 - n1}{n1 - n0} \right)}{\left(\frac{n2 - n1}{n1 - n0} \right) + 1}$$

Ecuación: 3 - 11

$$\text{Pad1} = 0.048 \text{ Kw}$$

$$\text{Pu} := \text{Pb1} + \text{Pad1}$$

Ecuación: 3 - 12

$$\text{Pu} = 0.526 \text{ Kw}$$

Calculo de factores de Correccion

Correccion de factor para longitud

$$K1 := 1.13 \quad \text{Banda de Section Z N-30 Table 8 Section Z manual de bandas Trelleborg pag 15}$$

Factor de correccion de arco de contacto

$$\frac{Dma - Dmin}{Creal} = 0.393$$

Como no existe un valor de correccion para este valor procedemos a interpolar

$$\beta0 := 0.35$$

$$K20 := 0.95$$

$$\beta1 := \frac{Dma - Dmin}{Creal}$$

Ecuación: 3 - 13

$$\beta1 = 0.393$$

$$\beta2 := 0.40$$

$$K22 := 0.94$$

$$\frac{\beta_2 - \beta_1}{\beta_1 - \beta_0} := \frac{K_{22} - K_{21}}{K_{21} - K_{20}}$$

$$K_{21} := \frac{K_{22} + K_{20} \cdot \left(\frac{\beta_2 - \beta_1}{\beta_1 - \beta_0} \right)}{\left(\frac{\beta_2 - \beta_1}{\beta_1 - \beta_0} \right) + 1}$$

Ecuación: 3 - 14

$$K_{21} = 0.941$$

ANGULO DE CONTACTO

$$\frac{D_{ma} - D_{min}}{C_{real}} = 0.393 \text{ Aproximamos a } 0.40$$

$$\beta_{\text{contacto}} := 157$$

Numero de Bandas

$$Z := \frac{P_d}{P_u \cdot K_1 \cdot K_{21}}$$

Ecuación: 3 - 15

$$Z = 0.867$$

$$Z = 1$$

Tipo de banda seleccionada: Banda de seccion Tipo Z número

Número de bandas: 1

1 polea $D_{min} = 75 \text{ mm}$

1 polea $D_{ma} = 250 \text{ mm}$

Distancia entre centros: $C_{real} = 445.1 \text{ mm}$

Especificaciones del eje adicional

Material: Acero ASTM A-36

Diametro: 20 mm

Longitud: 343 mm (13.5 plg)

CALCULO DE CARGAS SOBRE EL EJE

Pot := T · W Definicion de potencia

Pot := 0.5 Hp

n2 := 310 rpm

Ecuación: 3 - 15

$$T := \frac{\text{Pot} \cdot 63000}{n2}$$

$$T = 101.613 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Ecuación: 3 - 16

$$Ft := 2 \cdot T \cdot \left(\frac{1}{\frac{D_{\min}}{25.4}} \right)$$

$$Ft = 68.826 \text{ lb}$$

Ecuación: 3 - 17

Given

$$F1 = 3 \cdot F2$$

$$F1 - F2 = Ft$$

$$\text{Find}(F1, F2) \rightarrow \begin{pmatrix} 103.23870967741935484 \\ 34.412903225806451613 \end{pmatrix}$$

$$Fe := 22.225 + 7.408$$

$$Fe = 29.633 \text{ lb}$$

Carga en el eje auxiliar

Sumatoria de momentos respecto a O

Ecuación: 3 - 18

$$10 \cdot F = 13.5 R_p$$

Sumatoria de Fuerzas en Y

Ecuación: 3 - 19

$$R_o + R_p = Fe$$

Given

Ecuación: 3 - 20

$$10 Fe = 13.5 R_p$$

$$R_o + R_p = Fe$$

$$\text{Find}(R_o, R_p) \rightarrow \begin{pmatrix} 7.6826296296296296 \\ 21.950370370370370 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación: 3 - 21}$$

$$R_o := 7.68 \quad \text{lb}$$

$$R_p := 21.95 \quad \text{lb}$$

Carga estatica equivalente

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad \text{Ecuación: 3 - 22}$$

$$P_o := 0.6 \cdot R_o$$

$$P_o = 4.608 \quad (\text{lb}) \quad \text{Ecuación: 3 - 23}$$

$$k := 2 \quad (\text{Factor de seguridad elegido})$$

$$C_o := k \cdot P_o \quad \text{Ecuación: 3 - 24}$$

$$C_o = 9.216 \quad (\text{lb})$$

$$C_{of} := C_o \cdot 4.44822(\text{N})$$

$$C_{of} = 40.995$$

Carga dinamica equivalente

$$P := R_o$$

$$P = 7.68$$

3.1.2.2. Pruebas de Funcionamiento Inicial.

3.1.2.2.1 Descripción de pruebas de funcionamiento inicial.

Para observar el funcionamiento de la cortadora, se realizaron adecuaciones especialmente en las conexiones eléctricas, ya que se encontraban en mal estado.

Se cambiaron los cables que salen del motor eléctrico por unos nuevos y largos con el fin de que se pueda conectar la máquina sin necesidad de trasladarla hasta la toma eléctrica. Se colocó un interruptor trifásico, con el fin que la corriente no pase de forma directa hacia el motor; estas adecuaciones se las puede observar en las figuras 3.12 a y b, presentadas a continuación.

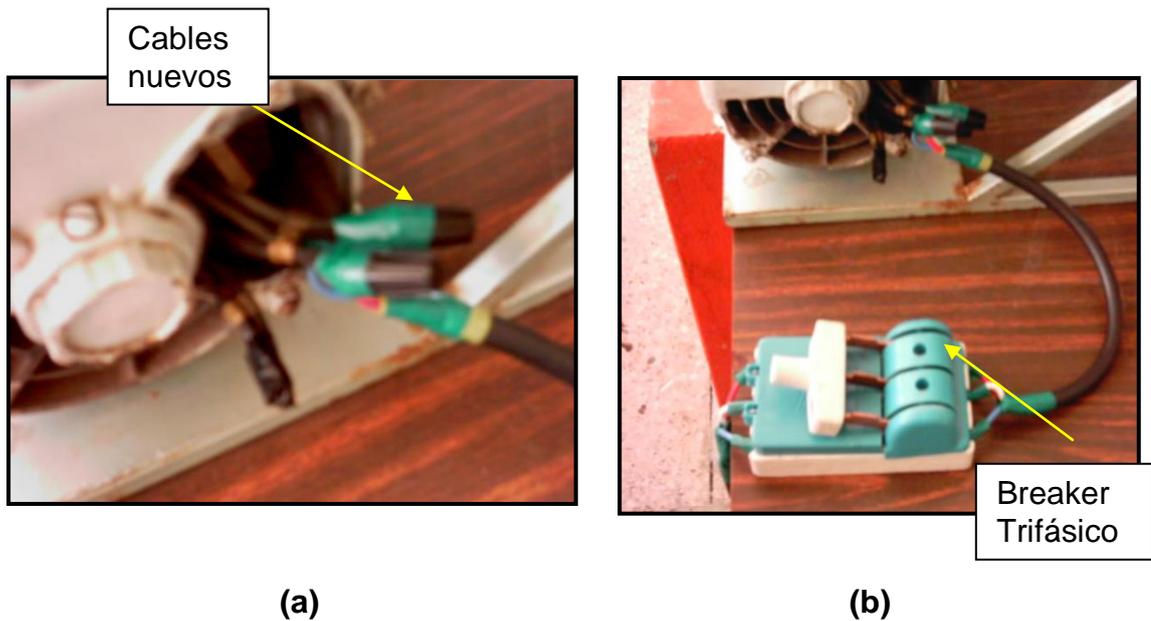


Figura 3.12. Adecuaciones realizadas en motor eléctrico; a) Cambio de cables de conexiones eléctricas, b) instalación de interruptor trifásico.

Una vez realizadas las adecuaciones, previó a encender la máquina, se hizo girar el rotor de forma manual, pudiendo observar que las cuchillas fijas rozaban con la cuchilla móvil, por lo que se desmontaron las cuchillas para calibrarlas.

La calibración se hizo de manera minuciosa, intentando que haya la menor separación entre las cuchillas en el momento en que sus filos se encuentran y que estos tengan la misma separación en toda su longitud. Para calibrar se empleo tanto a la vista como al oído, logrando que el rotor gire sin que las cuchillas fijas y la móvil golpeen entre sí.

Para alimentar a la máquina, se empleo botellas plásticas desechables (de agua mineral y gaseosa), cuyo material es el PET (polietileno teraftalato). A las botellas se las lavó y se retiró la etiqueta, también se cortó el fondo y la boca, utilizando únicamente la parte media, a la misma que se la dividió en tiras de 3 cm de ancho por 8 cm de largo, como se ve en la figura 3.13.



Figura 3.13 . Tiras de plástico que ingresan a la máquina cortadora, para prueba de funcionamiento.

A las tiras plásticas se las hace ingresar a la máquina una por una, a través de la compuerta de alimentación, como se observa en al figura 3.14: El ingreso de material se hace dificultosa, ya que la manga metálica por donde se introduce el material, no permite guiar al plástico hacia el sistema de corte de una forma precisa, por lo que las láminas no ingresan totalmente al sistema de cuchillas, produciendo un gran ruido al golpear con ellas.



Figura 3.14 . Ingreso de material a la cortadora de plástico.

Una vez que el material ingresó a la cortadora, se pudo observar que las tiras plásticas, se quedan trabadas entre la cuchilla fija y las cuchillas móviles, como se observa en la figura 3.15, lo que hace al rotor dejar de girar, por lo que se apagó el motor para evitar que se produzca algún daño en él.

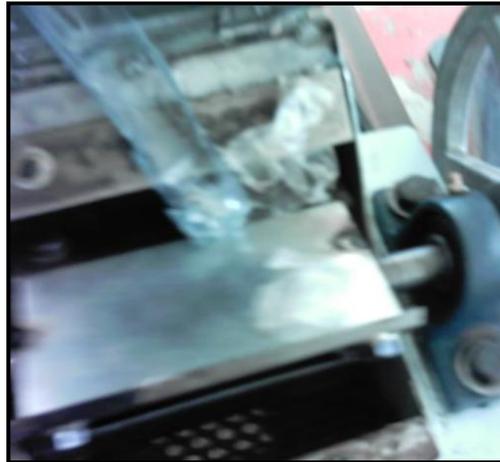


Figura 3.15 . Problema de interferencia entre cuchillas y plástico.

El plástico que ingresó a la máquina no fue cortado, únicamente fue golpeado al girar las cuchillas, que se puede apreciar en la figura 3.16 (a) por lo que su superficie queda irregular y maltratada, desprendiendo pequeñísimas cantidades de plástico molido (Figura 3.16 (b)).

Las pequeñas cantidades de plástico molido que desprende la máquina no es suficiente, para cumplir los objetivos planteados, ya que al comparar la cantidad de material que ingresa con la que se sale, se puede apreciar la mayoría del material se desperdicia.

El tiempo en que se obtiene esta cantidad de plástico es sumamente grande, además que se suma el tiempo empleado en destrabar al rotor, debido a la presencia de plásticos entre las cuchillas.

Por todo lo observado, para que la máquina realice el corte de termoplásticos debe ser sometida algunas modificaciones, especialmente en el sistema de corte y alimentación.



(a)

(b)

Figura 3.16. (a) Plástico golpeado por las cuchillas, no se corta. (b) Pequeñísimas cantidades de plástico molido.

3.1.2.2.2. Análisis de las pruebas de funcionamiento inicial.

Al analizar lo sucedido en la prueba del funcionamiento de la máquina, se determinó que el diseño y estado en que se encuentran las cuchillas, el corte de termoplásticos será imposible de conseguir, pues al no estar filas, solo logran doblar al plástico, y hacen que el plástico se trabe entre las cuchillas, lo que no permite el funcionamiento de la máquina.

La irregularidad en la sección de las cuchillas, hace que se las pueda calibrar de manera adecuada, por lo que existe diferente separación a lo largo del filo de las cuchillas. Este problema de calibración se produce también, ya que los pernos con los que se sujetan las cuchillas, no las fijan totalmente, por la que al producirse el golpe del plástico con las cuchillas, se descalibran.

Se detectó que existe un problema en el sistema de alimentación, pues el material ingresa en forma desordenada hacia las cuchillas, y como no se corta

se sigue acumulando en las cuchillas, hasta que llega un instante en que el rotor se traba y se debe apagar la máquina.

3.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE MODIFICACIÓN.

3.2.1 ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS.

Por lo observado en las pruebas de funcionamiento inicial de la cortadora, se determinó que las modificaciones a realizar, deben estar enfocadas al sistema de corte y al sistema de alimentación, a partir de esto se han planteado alternativas de modificación, con el fin de que la máquina corte termoplástico.

3.2.1.1. Descripción de alternativas de modificación.

3.2.1.1.1 Primera Alternativa.

Esta alternativa abarca un cambio del sistema de corte, específicamente en las cuchillas, con el fin de que ellas realicen un efecto semejante al realizado por las tijeras para cortar papel, ya que en este efecto una hoja permanece estática y la otra se mueve. Esto se lo grafica en la figura 3.17.

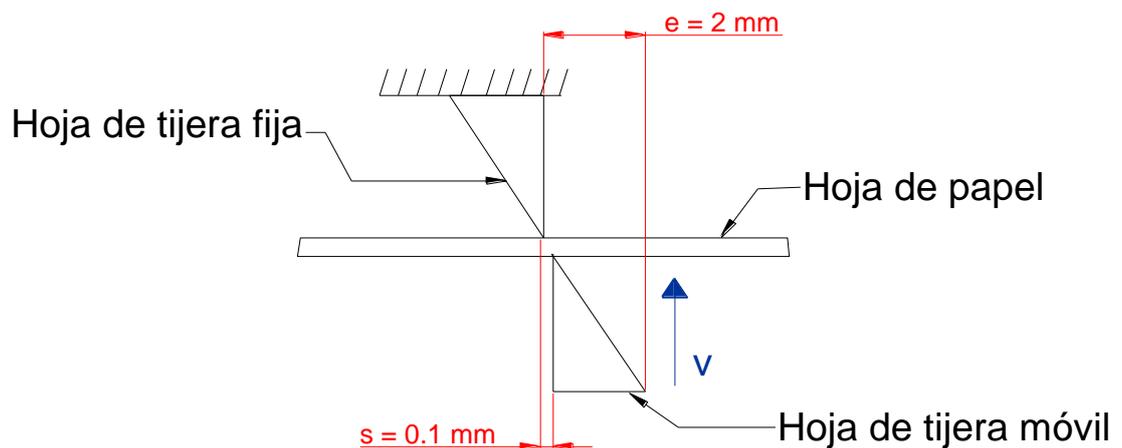


Figura 3.17. Efecto de tijeras para cortar papel.

En este efecto el corte se realiza punto por punto en la superficie del papel, es decir que el corte se hace a medida que las hojas de las tijeras se van uniendo a lo largo de la superficie del papel o del material que se este cortando.

En la cortadora los filos de las cuchillas, se unen en toda su longitud en el mismo instante, lo que complica obtener este efecto de tijeras. Esto obliga a tener una gran precisión en las medidas de las cuchillas y en la calibración de las mismas.

Para lograr este efecto se debe tomar en cuenta que la cuchilla fija esta inclinada 45° con respecto a la eje horizontal, como muestra la figura 3.18, lo que modificará el efecto pues en el instante en que se encuentre la cuchilla fija con la móvil será pequeño, lo que puede dificultar el corte y solo realizar un doblado del plástico, como hizo la máquina en las pruebas de funcionamiento inicial.

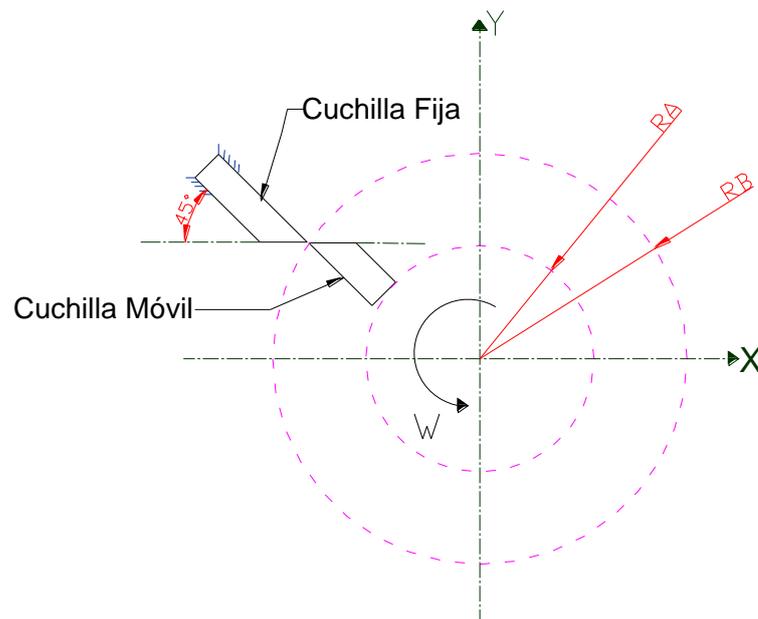


Figura 3.18. Posición de cuchillas en el momento de contacto.

Para lograr que el efecto de las tijeras corte termoplástico es necesario elaborar nuevas cuchillas, que estén totalmente afiladas y permitan tener una buena calibración (separación entre filos de cuchillas), ya que las que están colocadas en la cortadora se encuentran en mal estado.

Otro factor a considerar, es la alimentación del material, ya que es necesario que ingrese de forma constante en el sistema de corte y con una determinada inclinación, que permita a las cuchillas entrar en contacto con un área transversal del plástico regular y continua. La forma ideal de ingreso de plástico al sistema de corte se lo muestra en la figura 3.19.

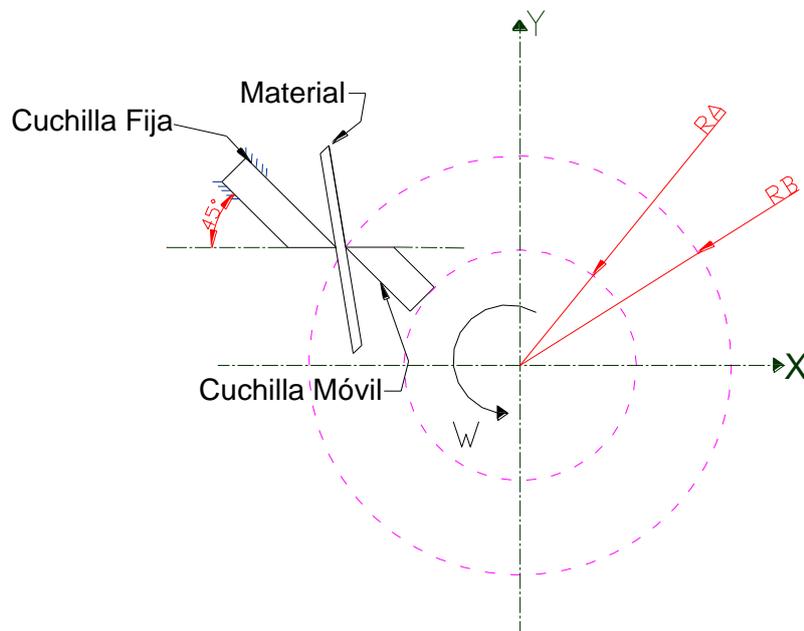


Figura 3.19. Ingreso de material termoplástico al sistema de corte.

Los cambios en el sistema de corte y en el sistema de alimentación, son los contemplados en la primera alternativa de modificación de la cortadora de plástico, con los cuales se logrará cortar termoplástico.

3.2.1.1.2. Segunda Alternativa.

Analizando las pruebas de funcionamiento inicial, se pudo apreciar que uno de los problemas por los que la cortadora únicamente dobla el termoplástico, es por que la cuchilla fija y las móviles se encuentran en contacto en un pequeñísimo instante y en una reducida zona.

Esta alternativa busca resolver este problema mediante el diseño y fabricación de una cuchilla fija que permita que exista una mayor área de contacto entre ella y las móviles. Para lograr esto se ha pensado en una geometría de la cuchilla fija que siga el radio de giro de las cuchillas móviles, como muestra en las figuras 3.20 y 3.21.

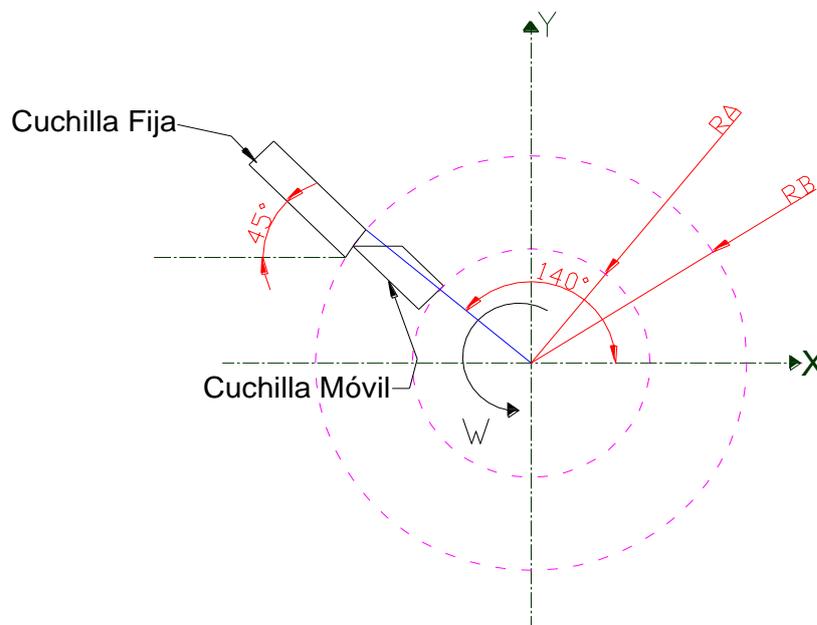


Figura 3.20. Geometría de cuchilla fija.

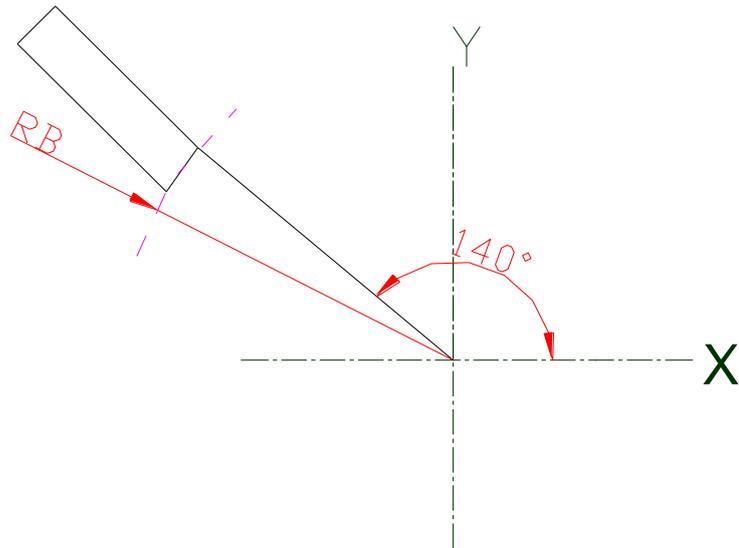


Figura 3.21. Detalle de geometría de cuchilla fija.

La elaboración de una cuchilla con una cara de contacto en forma circular es complicada, lo que dificulta esta alternativa de modificación. Sin embargo, esta sección circular puede ser modificada por una zona recta, ya que las circunferencias pueden formarse de líneas rectas sucesivas, como un polígono de n lados, esto se muestra en figura 3.22.

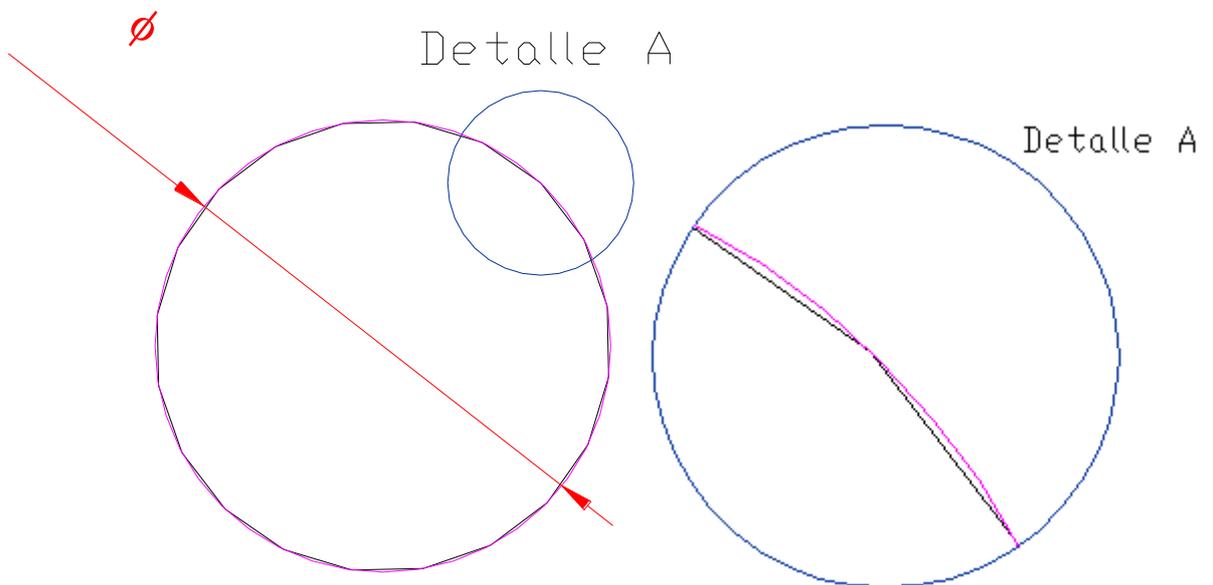


Figura 3.22. Círculo como polígono de n lados.

Por lo mostrado en las gráficas anteriores, el diseño de la cuchilla fija estará dado por la geometría mostrada en la figura 3.23 y la figura 3.24, con lo que se

consigue exista mayor área de contacto entre las cuchillas, con lo que se logrará el corte de termoplástico.

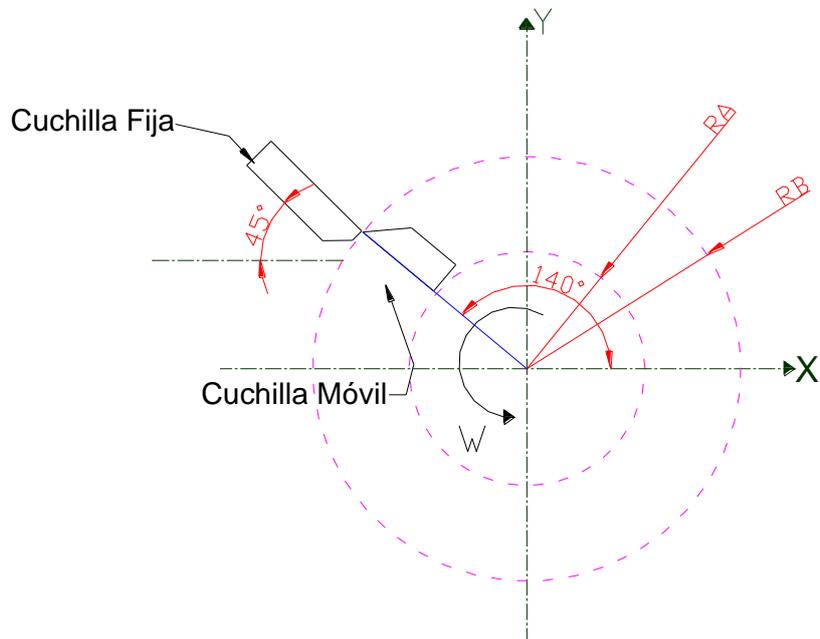


Figura 3.23. Diseño de cuchilla fija.

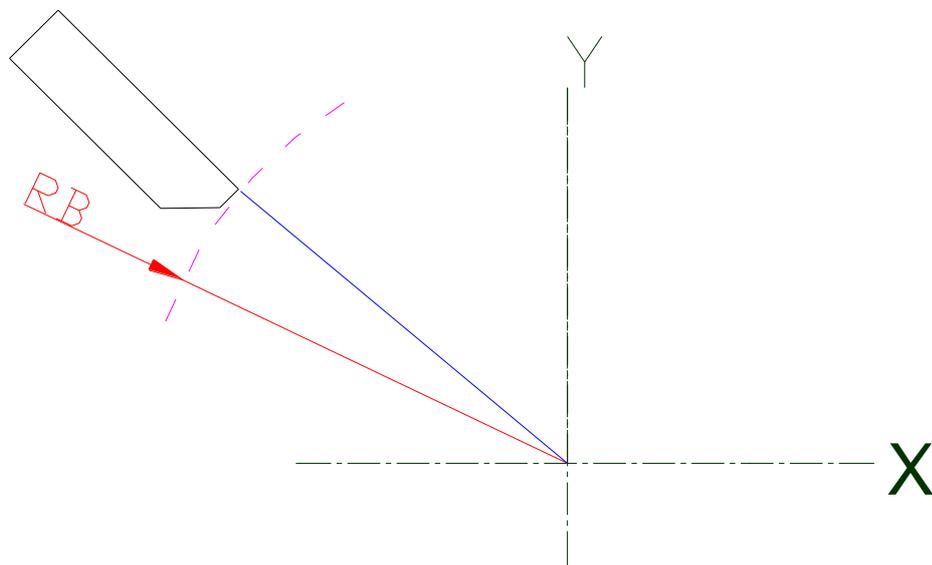


Figura 3.24. Detalle de diseño cuchilla fija.

Al igual que un nuevo diseño de la cuchilla fija, se deberá hacer con las cuchillas móviles, de manera que no golpeen entre ellas en zonas no requeridas; especialmente se deberá buscar nuevos ángulos de inclinación, de manera que giren de manera correcta.

Al igual que la primera alternativa, en esta se plantea como última modificación, el sistema de alimentación del material, ya que es necesario que el termoplástico ingrese con una cierta inclinación hacia las cuchillas, como lo muestra la figura 3.25, de manera constante y regular, por lo que el ingreso desordenado que existe no sirve.

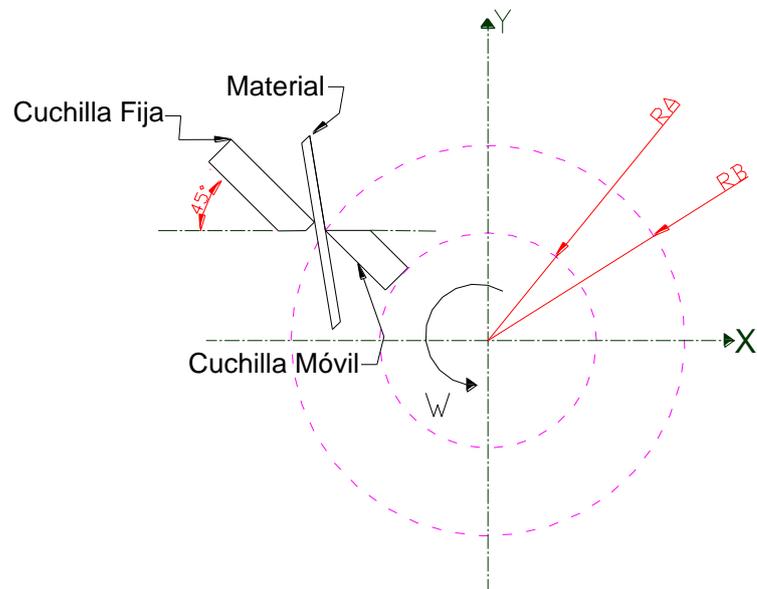


Figura 3.25. Ingreso de material al sistema de corte.

3.2.1.1.3. Tercera Alternativa.

Esta alternativa, plantea el diseño y elaboración de nuevas cuchillas, las cuales serán dentadas, de manera que exista mayor contacto entre cuchillas, lo que permitirá desgarrar al material plástico que ingrese en el sistema de corte. Con el diseño de las cuchillas dentadas se tendrá mayor número de apoyos, como lo ilustra la figura 3.26, entre los cuales se aplicará una carga que permitirá el corte del plástico.

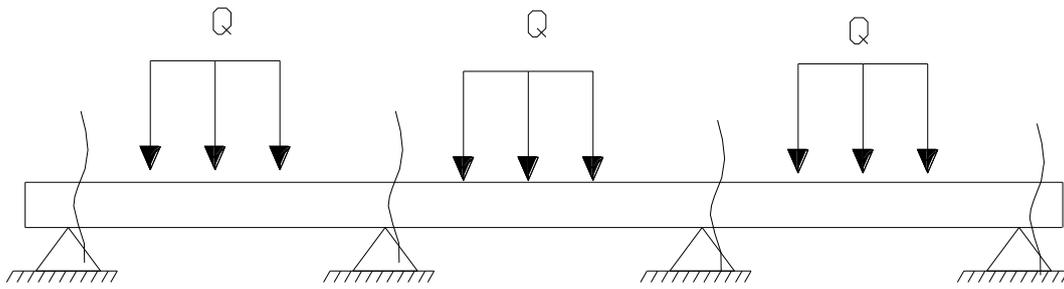


Figura 3.26. Cargas aplicadas entre apoyos para realizar corte.

El diseño y la fabricación de las cuchillas dentadas es complicada, ya que se necesita de una gran precisión, para obtener unas cuchillas de excelente calidad, lo que hace que el trabajo sea laborioso.

Las cuchillas deben traslaparse, por lo que la móvil y fija serán diferentes, mientras en una zona de la cuchilla fija exista un diente, en la móvil debe haber un valle donde ingrese este diente, es decir que el orden de dientes y valles en cada cuchilla debe ser alternado.

Otro problema que aparece en este sistema de corte es que la cuchilla fija tiene una inclinación de 45° , por la que el diseño de las cuchillas fijas debe ser muy exacto, para que no se produzcan golpes entre las cuchillas en el momento que gire el rotor.

Este diseño sin lugar a dudas permitirá el corte de termoplástico, dejando al material que ingrese en pequeñas partículas, que es lo que buscamos.

El diseño que deberían tener la cuchillas dentadas se muestran en la figura 3.27 y 3.28

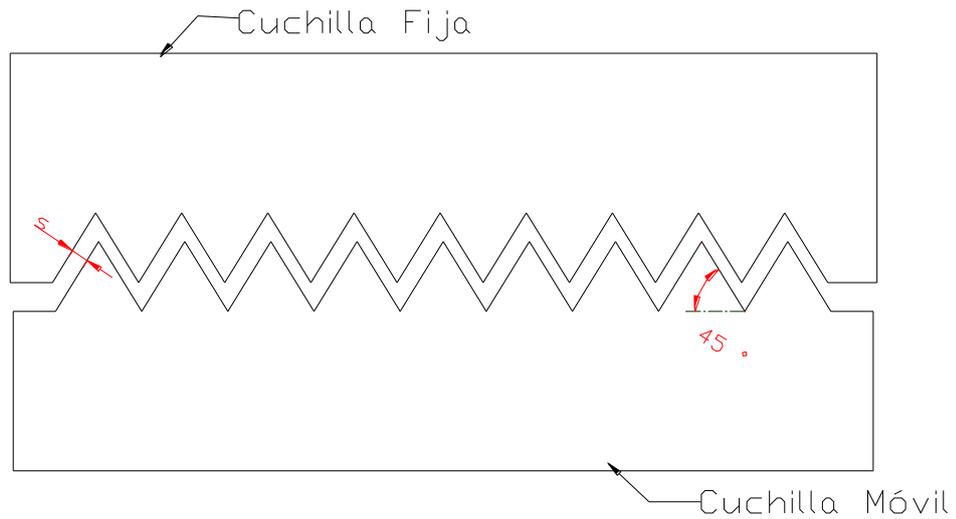


Figura 3.27. Cuchillas dentadas traslapadas.

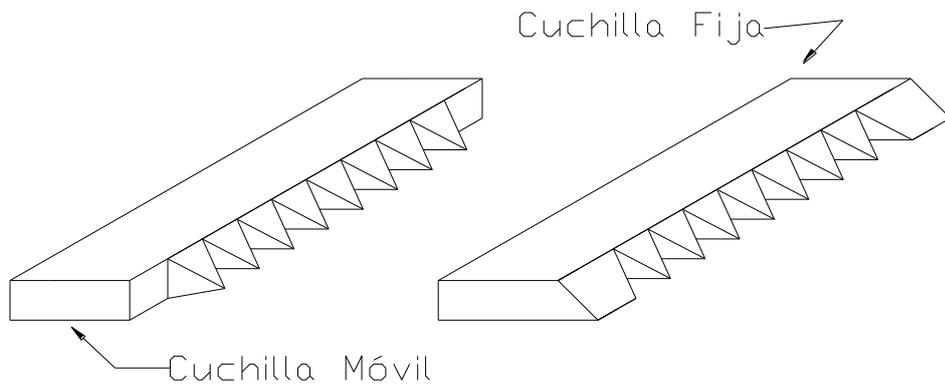


Figura 3.28. Diseño de cuchillas dentadas.

Igual que las anteriores alternativas, en esta se plantea la variación del sistema de alimentación del material, de manera que ingrese constantemente a las cuchillas, y se utilice la mayoría del material.

3.2.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN.

3.2.2.1 Análisis de alternativas.

Las alternativas que se tiene para la adecuación de la cortadora de plástico, han sido explicadas, por lo que se conoce las acciones que se harán en cada una de ellas.

Previo a la selección de la alternativa, es importante analizar los parámetros que se consideran los más importantes y que nos permitirán seleccionar la mejor alternativa.

En función de las ventajas y desventajas que presentan las alternativas, se evaluará cada parámetro y la alternativa que obtenga el valor más alto en la calificación de parámetros será seleccionada para ser construida y realizar la adecuación de la cortadora.

3.2.2.1.1. Parámetros de selección.

Los parámetros de selección que se han considerado son los que son enuncia a continuación, los mismos que están divididos en tres aspectos: técnicos, económicos y complementarios.

Estos parámetros se los presenta en la tabla 3.1.

Tabla 3.2. Parámetros de Selección.

Aspecto Técnico	Aspecto Económico	Aspecto Complementario
Funcionabilidad. Rendimiento. Mantenimiento. Materiales. Proceso de construcción. Precisión. Fiabilidad	Costo de Fabricación. Costo de Mantenimiento.	Tamaño. Forma.

3.2.2.1.2 Descripción de Parámetros.

Funcionabilidad: Se refiere a las características que la máquina alcanzará con las modificaciones, que harán que la cortadora cumpla con los fines propuestos.

Rendimiento: Este parámetro se refiere a que se debe tener un alto grado de efectividad para que la máquina funcione con las modificaciones realizadas, y cumpla con la finalidad para la cual se la adecuó. Analiza especialmente la forma de las cuchillas y el área de contacto que tendrán las mismas, y que a la larga será lo que permita el corte del material termoplástico.

Mantenimiento: Es importante que la máquina mantenga una alta disponibilidad. Dependiendo de la complejidad de los sistemas de corte y alimentación, se necesita ver la factibilidad de una puesta a punto de sus piezas o el cambio de las mismas. Por lo que las piezas deben ser sencillas y rápidas de realizar.

Materiales: Trata del material recomendable y su facilidad de adquisición para que la construcción, de las piezas a modificar sea óptima y tenga una vida útil de trabajo aceptable.

Procesos de Construcción: Todas las alternativas, requieren piezas nuevas con tolerancia en su construcción y necesitan de maquinaria adecuada que permitan obtenerlas. Se refiere a la factibilidad de construcción de cada pieza que se necesite.

Precisión: Trata de la exactitud y tolerancias en la elaboración de los nuevos elementos.

Fiabilidad: Este factor es importante y trata de evaluar el funcionamiento satisfactorio de cada una de las alternativas.

Costo de Fabricación: Reviste de gran importancia para selección de la alternativa, ya que las características de elementos que se desea construir son especiales, sus costos estarán dados de acuerdo a la complejidad que lleve su elaboración.

Costo de Mantenimiento: Una vez construida la máquina, cada cierto período se debe realizar mantenimiento de los elementos, el costo de este mantenimiento variara de acuerdo a la complejidad de los sistemas y elementos de la máquina adecuada.

Tamaño: Se refiere al espacio que ocupará la máquina una vez adecuada y la disponibilidad de espacio para su instalación.

Forma: Trata de la estética de máquina una vez adecuada.

3.2.2.2. Selección de Alternativa.

Para la selección de la alternativa ideal, se aplicará el *Método Combinex*, el que nos brindará la seguridad que la alternativa que se seleccione será la correcta.

Este método determina la elaboración de dos matrices.

La primera se le denomina Matriz para el Análisis del Valor, en la cual se determina el factor de peso de cada uno de los parámetros. Para elaborar esta matriz es necesario ordenar los parámetros de acuerdo a la importancia que tiene, para la selección de la alternativa.

Elaborada la Matriz de Análisis de Valor, con estos datos se construye una Matriz de Decisión, la que los indicará cual es la alternativa adecuada, para realizar las modificaciones.

3.2.2.2.1 Importancia de Parámetros.

1.- Funcionabilidad.

2.- Rendimiento.

3.- Precisión.

4.- Proceso de construcción.

5.- Fiabilidad.

6.- Materiales.

7.- Mantenimiento.

8.- Costo de fabricación.

9.- Costo de Mantenimiento.

10.- Tamaño.

11.- Forma.

3.2.2.2.2. Matriz para el Análisis del Valor.

Tabla 3.3. Matriz de Análisis de Valor

N°	Parámetros de Evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Puntos	Pts Aprox	Factor de Peso
													<i>pi</i>	<i>Pi</i>	<i>WF</i>
1	Funcionabilidad.	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10.0	0.17
2	Rendimiento.	0	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9.0	0.15
3	Precisión.	0	0	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8.0	0.13
4	Proceso de construcción.	0	0	0	NA	1	1	1	1	1	1	1	7	7.5	0.13
5	Fiabilidad.	0	0	0	0	NA	1	1	1	1	1	1	6	6.5	0.11
6	Materiales.	0	0	0	0	0	NA	0,5	1	1	1	1	4,5	5.0	0.08
7	Mantenimiento.	0	0	0	0	0	0,5	NA	1	1	1	1	4,5	4.5	0.08
8	Costo de fabricación.	0	0	0	0	0	0	0	NA	1	1	1	3	4.0	0.07
9	Costo de Mantenimiento.	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	1	1	2	3.0	0.05
10	Tamaño.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0,5	0,5	1.5	0.03
11	Forma.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	NA	0,5	1.0	0.02
	TOTAL												55	60	

Nota:

Parámetro 6 y 7, igual importancia.

Parámetro 10 y 11, igual importancia.

NA: No aplica.

Los parámetros de evaluación están ordenados de acuerdo a su importancia para la selección de la alternativa, por lo cual se puede comparar entre ellos para obtener el factor de peso, teniendo en cuenta las siguientes reglas.

- Si el factor de la fila es mayor que el factor de la columna, se asigna el valor de 1 en la cuadrícula donde se intersecan los factores.
- Si el factor de la fila es igual que el factor de la columna se asigna el valor de 1/2 en la cuadrícula donde se intersecan los factores.
- Si el factor de la fila es menor que el factor de la columna, se asigna el valor de 0 en la cuadrícula donde se intersecan los factores.

Una vez asignados los valores se suman de manera horizontal, para obtener los puntos de cada parámetro y luego se realiza la suma total, en este caso da el valor de 55, por lo que se debe aproximar a la decena superior, o sea 60, y ajusta el valor de los parámetros par sumar 60.

El *Factor de Peso*, se obtiene al dividir el valor del puntaje de cada parámetro para el valor total, o sea 60. A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del factor de peso (WF).

Pi : Puntaje del Parámetro

S : Suamtoria.

WFi : Factor de Peso.

$$WFi = \frac{Pi}{S}$$

$$WFi = \frac{10}{60}$$

$$WFi = 0.17$$

Ecuación: 3 - 25

3.2.2.2.3. Matriz de Decisión.

Tabla 3.4. Matriz de Decisión.

N°	Parámetros de Evaluación	WF	Primera Alternativa			Segunda Alternativa			Tercera Alternativa		
			Características	R.V	Puntaje	Características	R.V	Puntaje	Características	R.V	Puntaje
1	Funcionabilidad.	0.17	Buena	7.5	1.28	Muy Buena	10	1.7	Muy Buena	10	1.7
2	Rendimiento.	0.15	Regular	5	0.75	Muy Buena	10	1.5	Buena	7.5	1.1
3	Precisión.	0.13	Muy Buena	7.5	0.98	Buena	5	0.7	Buena	5	0.7
4	Proceso de construcción.	0.13	Medio	7.5	0.98	Medio	7.5	1.0	Alto	5	0.7
5	Fiabilidad.	0.11	Bajo	5	0.55	Alto	10	1.1	Alto	10	1.1
6	Materiales.	0.08	Medio	7.5	0.60	Medio	7.5	0.6	Medio	7.5	0.6
7	Mantenimiento.	0.08	Medio	7.5	0.60	Medio	7.5	0.6	Alto	5	0.4
8	Costo de fabricación.	0.07	Medio	7.5	0.53	Medio	7.5	0.5	Alto	5	0.4
9	Costo de Mantenimiento.	0.05	Medio	7.5	0.38	Medio	7.5	0.4	Medio	7.5	0.4
10	Tamaño.	0.03	Medio	7.5	0.23	Medio	7.5	0.2	Medio	7.5	0.2
11	Forma.	0.02	Medio	7.5	0.15	Medio	7.5	0.2	Medio	7.5	0.2
	Sumatoria	1.00			7			8.4			7.3

Los valores del factor de peso obtenidos en la matriz de análisis de valor, se ingresan en la matriz de decisión.

De acuerdo a la característica que tenga cada alternativa, se le asigna el valor relativo (RV) a cada parámetro, los cuales están dados en base a lo que requerimos que tenga la máquina y las cualidad que tiene cada alternativa. Así por ejemplo al parámetro de funcionalidad, se le asigna un valor relativo de 7.5, 10 y 7.5, respectivamente a cada alternativa.

Para obtener el puntaje, se multiplica el valor relativo con el factor de peso de cada parámetro. Luego de obtener el puntaje se realiza la suma los puntajes de los parámetro de cada alternativa, para ver cual obtuvo una mayor cantidad de puntos y escoger la alternativa.

3.2.2.2.4. Selección de alternativa.

De la matriz de decisión, obtenemos que la segunda alternativa planteada tiene el mayor puntaje, por lo que las modificaciones que plantea esta alternativa deben ser realizadas para lograr el objetivo requerido, que es de cortar termoplástico.

3.3 ADECUACIÓN DE LA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO.

3.3.1. ANÁLISIS DE ELEMENTOS MECÁNICOS A MODIFICAR O CONSTRUIR.

De acuerdo a lo que plantea la alternativa de modificación seleccionada se debe construir nuevas cuchillas, ya que las que posee la máquina debido a su estado y geometría, no permiten realizar el corte de termoplástico.

Las cuchillas que van a ser elaboradas deben tener un diseño, que permita que exista una mayor zona de contacto entre la cuchilla fija y las móviles, lo que conlleva que el período de contacto entre ellas aumente.

La geometría de las cuchillas debe ser de una forma tal que permita que su contacto se realice únicamente en las zonas de corte de cada una de ellas, y que no se produzcan choques entre la cuchilla fija y las móviles al momento que estas roten.

El material para construir las cuchillas debe entre sus características principales, una buena resistencia al desgaste, tenacidad, presentar facilidad para ser templado, buena estabilidad dimensional y una buena dureza superficial. Un material con estas características, permitirá obtener cuchillas de excelente calidad y precisión, que podrán cortar el plástico sin presentar ningún problema.

En lo que se refiere al sistema de alimentación del material a la cortadora, se debe indicar que el actual diseño de este sistema no permite que el termoplástico ingrese de manera adecuada, por lo que se construirá uno nuevo.

El nuevo sistema de alimentación debe permitir que todo el termoplástico que ingresa a las cuchillas, lo haga en la misma posición (como muestra la figura 3.29), de manera que las cuchillas corten la misma área transversal en cada pasada.

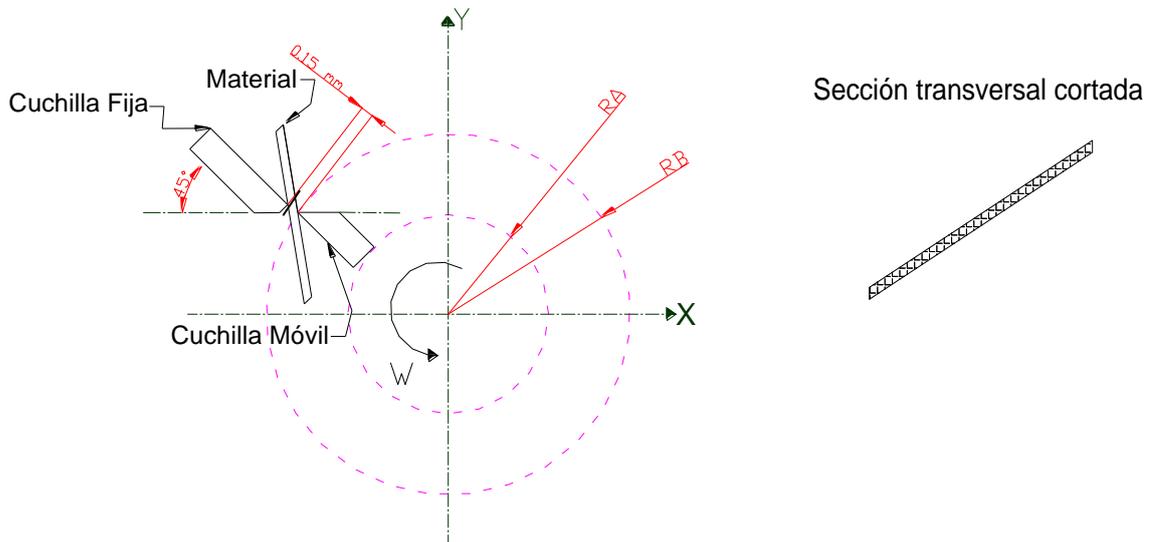


Figura 3.29. Ingreso de termoplástico a las cuchillas.

El nuevo sistema de alimentación, igual que el anterior, se basará en una carcasa que cubra el sistema de cuchillas, por lo que debe ser fácil de desmontar, para realizar la calibración de las cuchillas y desmontaje de las mismas.

Además es necesario construir unas protecciones, con el fin de cubrir la banda y las poleas, para evitar cualquier accidente que pueda ocurrir al poner en contacto las manos con estos elementos.

3.3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS ELEMENTOS MECÁNICOS.

3.3.2.1 Diseño de Elementos Mecánicos.

3.3.2.1.1. Diseño de cuchillas.

Para realizar el diseño de las nuevas cuchillas, en primer lugar es necesario conocer el esfuerzo cortante que soporta el termoplástico.

Esfuerzo Cortante

El esfuerzo cortante del termoplástico se lo obtuvo mediante una prueba en la máquina de ensayos universales, que posee el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la FIME.

Esta prueba consistió en aplicar carga progresivamente a unas probetas que fueron obtenidas de un recipiente termoplástico, cuyo material es el PET, a las cuales se las coloco en una matriz de una troqueladora, hasta que estas sean cortadas totalmente.

La matriz del troquel, que se empleó en esta prueba se muestra en la figura 3.30.



Figura 3.30. Matriz de la troqueladora.

En esta matriz se colocaron cinco probetas, a las cuales se les aplicó la carga producida por la máquina de ensayos universales, como ilustra la figura 3.31, hasta que sean cortadas totalmente, midiendo el valor de la carga, cuando se produce el corte.

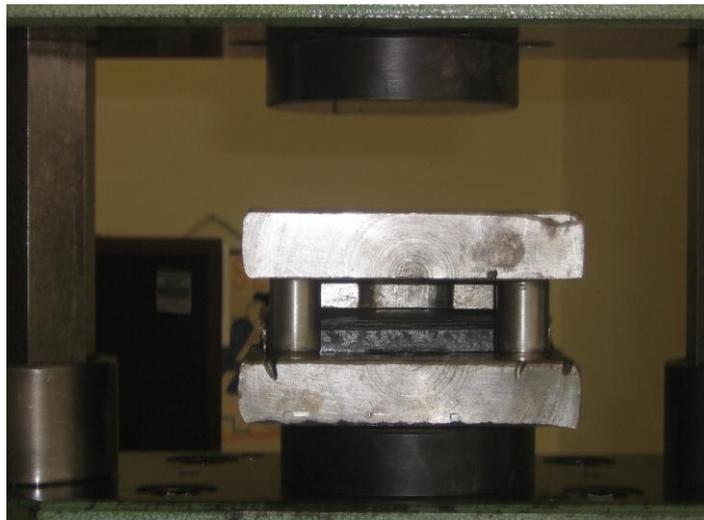


Figura 3.31. Matriz colocada en máquina de ensayos universales.

La carga que se necesitó para cortar las láminas plásticas fue de 1660 Kg.

Para calcular el esfuerzo cortante, además se necesita el área transversal de corte, por lo que es necesario calcular el perímetro de matriz que realizó el corte y multiplicarlo por el espesor de la lámina.

Tabla 3.5. Espesores de probetas.

Probeta	Espesor					Espesor
	1	2	3	4	5	Promedio
1	0.30	0.26	0.26	0.30	0.30	0.28
2	0.26	0.28	0.28	0.28	0.30	0.28
3	0.26	0.30	0.28	0.30	0.28	0.28
4	0.26	0.28	0.26	0.28	0.26	0.27
5	0.26	0.26	0.28	0.26	0.28	0.27

El corte del plástico se hace con el perímetro de la matriz del troquel, el que se indica en la figura 3.32.

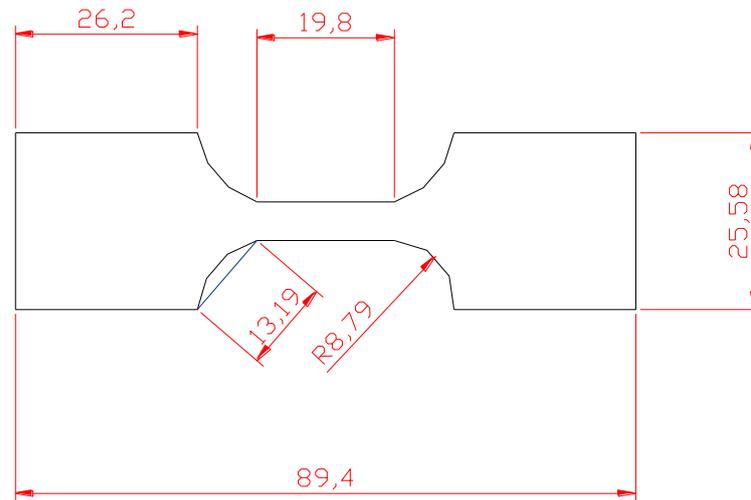


Figura 3.32. Perímetro de matriz de troqueladora.

Para calcular el perímetro de la zona circular de la matriz es necesario realizar algunos cálculos adicionales, ya que las demás medidas para obtener el perímetro ya se disponen.

En la figura 3.33 se muestra la zona circular de la cual deseamos conocer el perímetro, a demás se presenta las valoras conocidos para calcular este valor.

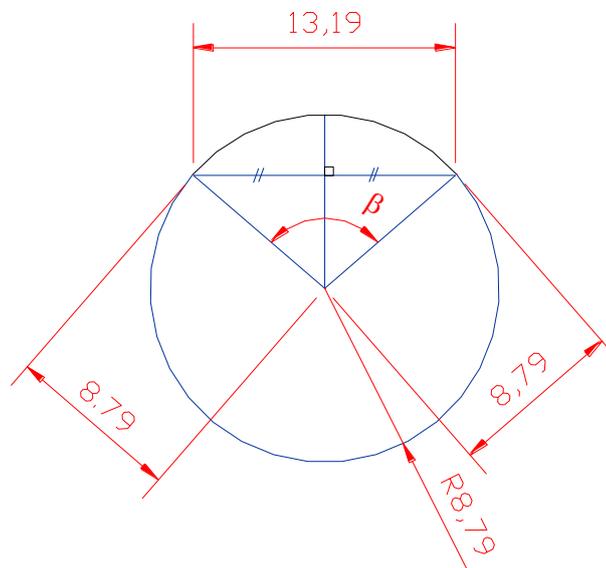


Figura 3.33. Tramo circular del cual se desea conocer el perímetro.

Cálculo de perímetro de tramo circular.

$$\sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{13.19}{8.79}$$

$$\sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = 0.75$$

$$\left(\frac{\beta}{2}\right) = 48.6^\circ$$

$$\beta = 97.16^\circ$$

$$\beta = 1.696 \text{ rad}$$

$$P_c = \beta * r$$

Ecuación: 3 - 26

$$P_c = 1.696 * 8.79$$

$$P_c = 14.9 \text{ mm}$$

Obteniendo este valor se puede calcular el perímetro total de la probeta.

$$PT = (25.58 * 2) + (26.2 * 4) + (19.8 * 2) + (14.9 * 4) = 255.16 \text{ mm}$$

Con este valor se puede calcular el área total de corte, que se presenta a continuación.

Tabla 3.6. Áreas de probetas de ensayo para determinar el esfuerzo cortante

Espesor	Perímetro	Área
(mm)	(mm)	(mm²)
0.28	255.17	71.45
0.28	255.17	71.45
0.28	255.17	71.45
0.27	255.17	68.89
0.27	255.17	68.89

	Área Total	352.13
--	-------------------	---------------

Cálculo de Esfuerzo Cortante.

$F_e := 1664 \text{ Kg}$ Fuerza de corte en el ensay

$W_m := 135 \text{ Kg}$ Peso de mordazas

$V := (F_e - W_m) \cdot 9.8 \text{ N}$

Ecuación: 3 - 27

$V = 1.498 \times 10^4 \text{ N}$ Fuerza cortante.

$A_t := 352.13 \text{ mm}^2$

Esfuerzo cortante.

$$\tau_t := \frac{V}{A_t}$$

Ecuación: 3 - 28

$\tau_t = 42.553 \text{ MPa}$

Fuerza de corte.

A continuación se calculará la fuerza necesaria para cortar una área transversal de $70,43 \text{ mm}^2$ ($352,13 \text{ mm}^2 / 5$) de termoplástico, para comparar con la fuerza tangencial que obtenemos en el rotor mediante el sistema de transmisión de potencia.

Fuerza Cortante Individua

$$V_{ci} := \frac{V}{5}$$

$V_{ci} = 2.997 \times 10^3 \text{ N}$

Fuerza de Corte de la máquina

$$F_{\text{tangencial}} = 68.826 \text{ lb}$$

$$F_{\text{rotor}} := 31.219 \text{ Kg} \cdot f$$

$$F_{\text{tg}} := F_{\text{rotor}} \cdot 9.8$$

$$F_{\text{tg}} = 305.946 \text{ N} \quad \text{Fuerza tangencial en el rotor}$$

$$A_v := \frac{F_{\text{tg}}}{\tau t}$$

$$A_v = 7.19 \text{ mm}^2 \quad \text{Área transversal capaz de cortar la máquina.}$$

$$e := 0.28 \text{ mm} \quad \text{Espesor promedio de láminas de termoplástico}$$

$$L := \frac{A_v}{e}$$

$$L = 25.678 \text{ mm} \quad \text{Ancho de tiras de plástico que debe ingresar a máquina.}$$

La fuerza que realizará el corte en la máquina será la fuerza tangencial, que se transmite al eje donde se monta el rotor con las cuchillas móviles, la que es de 68.826 lb, que al transformar da 305.94 N.

El esfuerzo cortante del termoplástico es de 42.553 MPa, por lo que se calculará el área transversal capaz de cortar la máquina con la fuerza tangencial que posee ($F_{\text{tg}} = 305.94 \text{ N}$). Esta área es de 7.19 mm^2 , de la cual se puede obtener el ancho de las tiras que ingresen a la cortadora, ya que su espesor promedio es de 0.28 mm; el ancho calculado es de 25.6787 mm. Por lo que se puede concluir que la máquina posee la potencia suficiente para realizar el corte de tiras de termoplástico de máximo 25.67 mm de ancho sin problema, dependiendo únicamente del diseño de las cuchillas para lograr el objetivo planteado.

Geometría de Cuchillas

La geometría de las cuchillas es sumamente importante para lograr el corte del plástico.

Para su diseño se partió tomando las medidas de la base donde se asienta la cuchilla fija, para determinar el largo y el ancho de la cuchilla, además de las ranuras donde ingresarán los pernos de la base, para sujetar la cuchilla. El dimensionamiento de la cuchilla se puede observar en la figura 3.34.

Cuchilla Fija

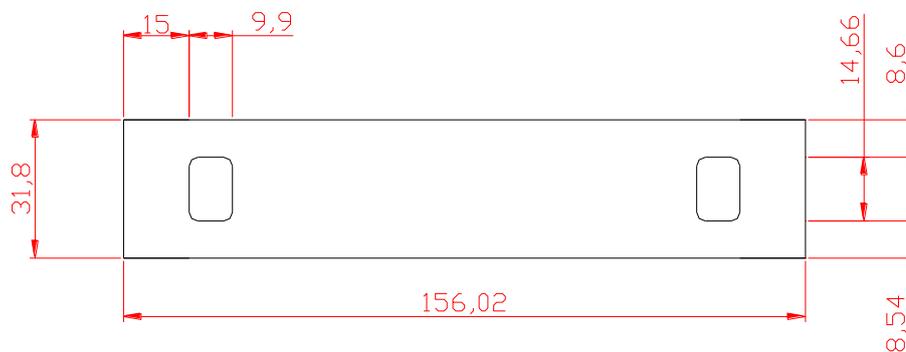


Figura 3.34 Dimensionamiento de Cuchilla Fija.

Se diseñó el área transversal de la cuchilla se realizó de acuerdo a la alternativa de modificación seleccionada, es decir que tenga una parte recta con el fin que permita una mayor zona de contacto con el fin de asegurar el corte. El área transversal se lo muestra en la figura 3.35.

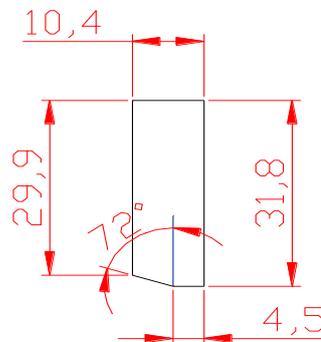


Figura 3.35. Sección transversal de cuchilla fija.

Con el diseño total de la cuchilla fija, se procede al diseño de las cuchillas móviles, tomando en cuenta las medidas del rotor y los ángulos de contacto de las cuchillas fijas y móviles ya montadas.

Al analizar en el punto de contacto de las cuchillas, se determina la inclinación de la cuchillas móviles, para que roten totalmente sin chocarse con la cuchilla fija en otro lugar que no se el filo que realiza el corte. Este análisis se muestra en la figura 3.36.

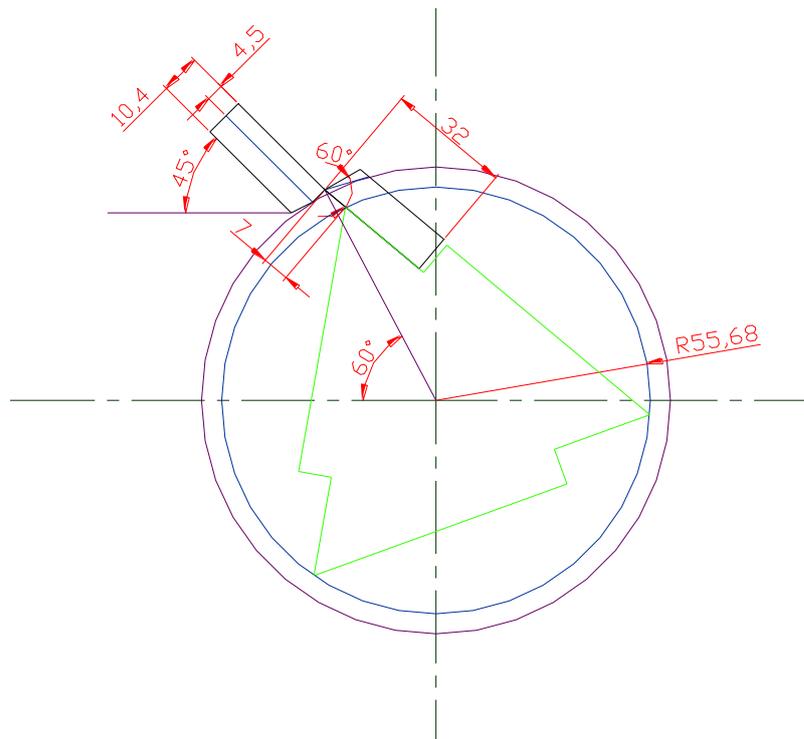


Figura 3.36. Configuración de cuchilla en punto de contacto.

De este análisis se obtiene que la inclinación de las cuchillas móviles debe ser de 60° , para que no choque la móvil.

Las cuchillas se elaboraron en un Acero DF-2 que es un AISI 01, un material ideal para herramientas de corte, en este caso las cuchillas.

Luego que las cuchillas sean elaboradas se les aplicó un tratamiento térmico de temple, que consiste en calentar a las cuchillas alrededor de 780 a 820 $^\circ\text{C}$, y enfriarlas rápidamente en aceite.

Las demás dimensiones de las cuchillas como largo y ancho, se muestran en los planos de construcción, que se encuentran en los anexos.

La separación entre la cuchilla fija y las móviles debe ser menor 0.3 mm, que es el espesor promedio de las láminas de termoplástico, por lo que se calibrarán con una separación de 0.15mm.

3.3.2.1.2. Diseño del Sistema de Alimentación.

Para que el sistema de alimentación permita el ingreso correcto del material, se utilizará una carcaza con una ranura en su parte superior, tipo buzón, con lo que el material ingresará directamente a las cuchillas, para realizar el corte. Esto lo podemos observar en la figura 3.37.

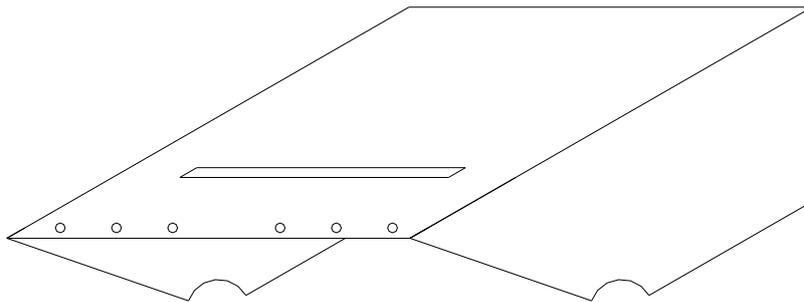


Figura 3.37 Carcaza del Sistema de Alimentación.

El dimensionamiento de esta carcaza, se ha realizado tomando en cuenta que no roce con las cuchillas, pero que al mismo tiempo se encuentre alejado de ellas, para poder aprovechar la mayor parte del material.

La ranura esta ubicada justo sobre el punto de contacto de las cuchillas, de manera que el material ingrese directamente a ellas.

Se le ha provisto de seis agujeros, donde se colocaran un par de bisagras, de manera que se lo pueda abrir y cerrar de manera fácil.

El diseño y todas las medidas de la carcaza se lo puede observar en sus planos de construcción, que se encuentran en los anexos.

3.3.2.1.3. Protección de Banda.

Esta protección cubrirá totalmente a las poleas y a la banda, de manera que no exista contacto directo de estos elementos con las manos del operario.

Esta estructura estará acoplada con el bastidor que posee la máquina cortadora, mediante unas patas fijas.

La protección tendrá el diseño mostrado en la figura 3.38, el dimensionamiento total y accesorios para el ensamblaje se muestran en el plano de construcción, que se encuentra en los anexos.

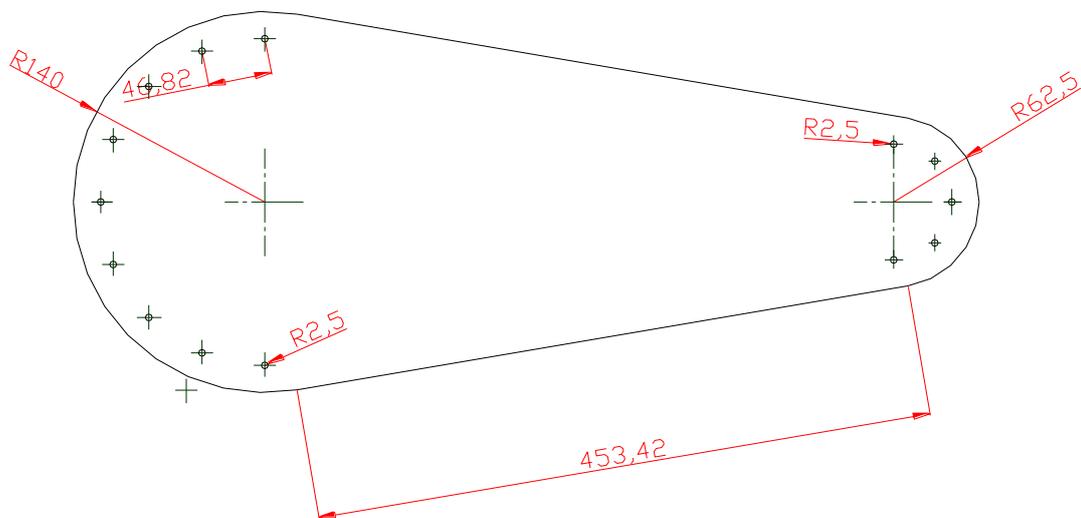
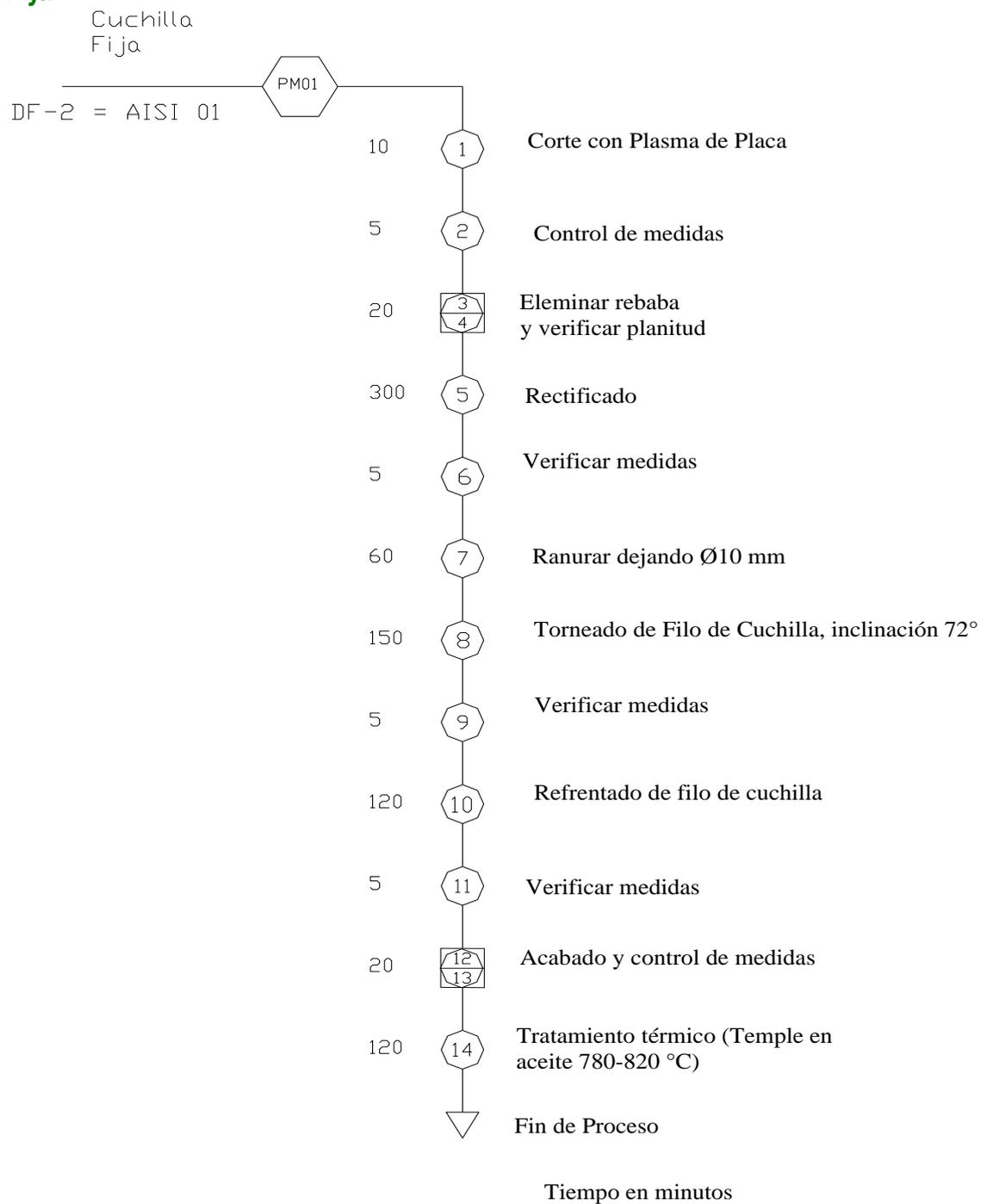


Figura 3.38. Protección de banda y poleas.

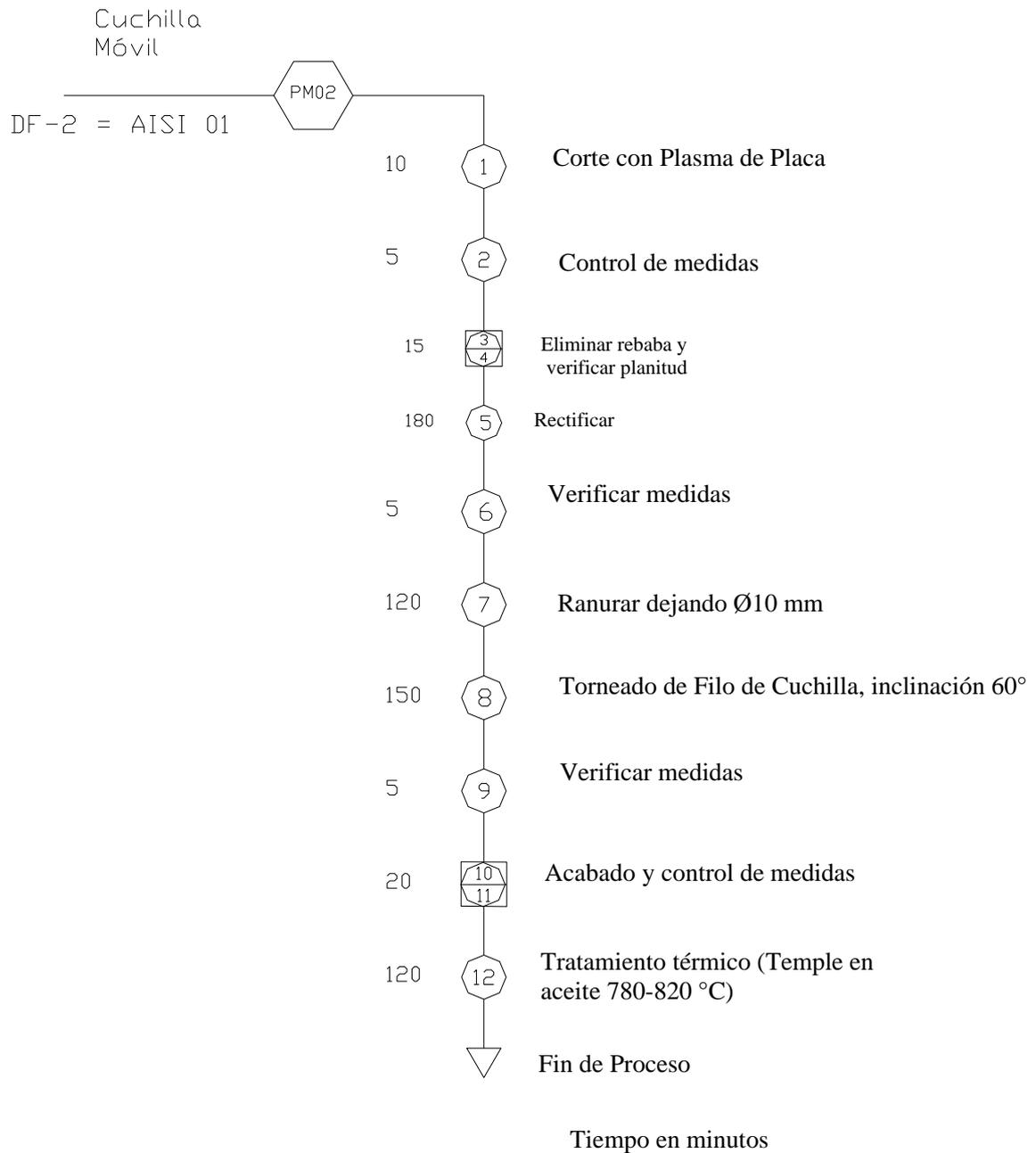
3.3.2.2 Construcción de Elementos Mecánicos.

3.3.2.2.1 Análisis de Procesos.

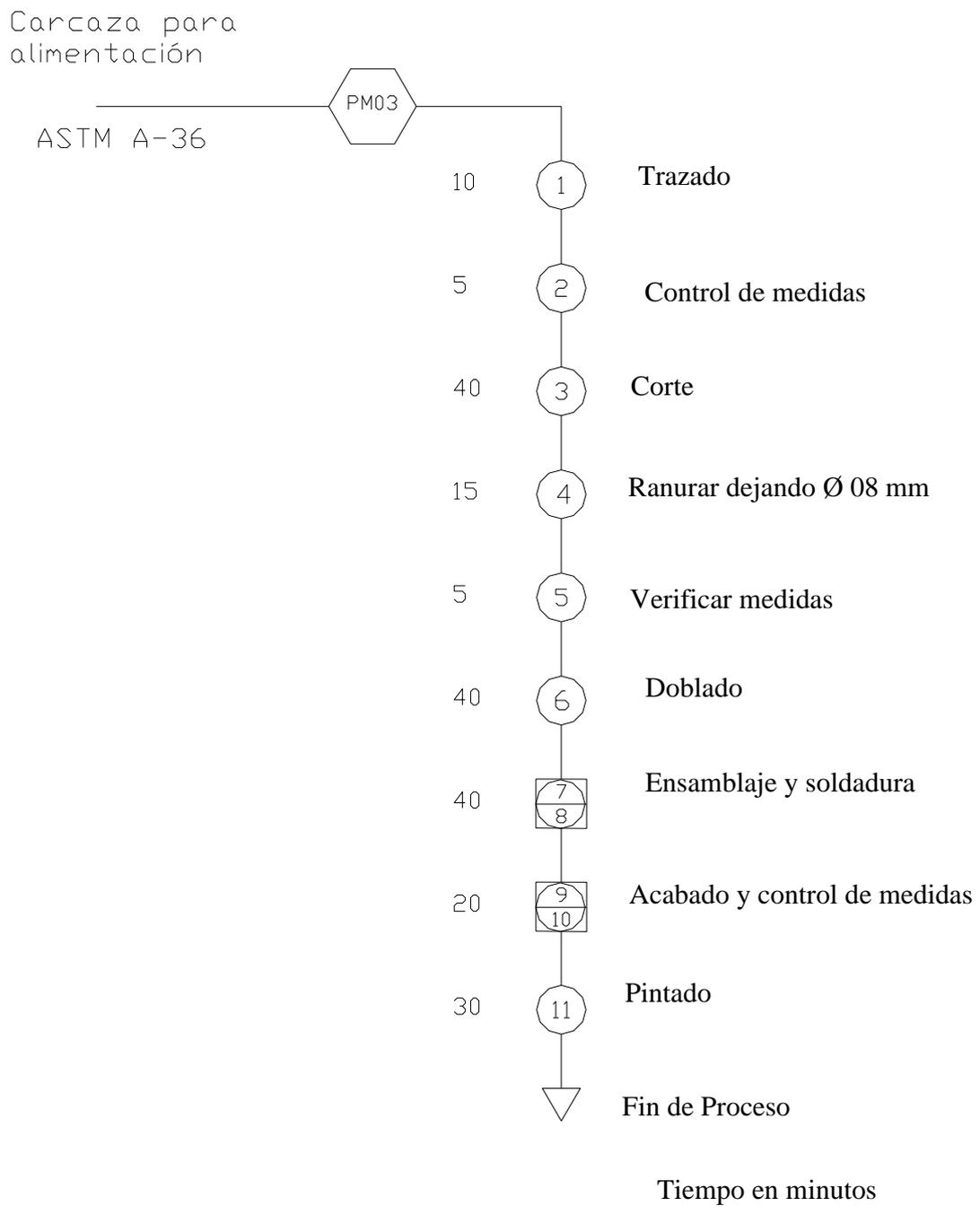
Cuchilla Fija



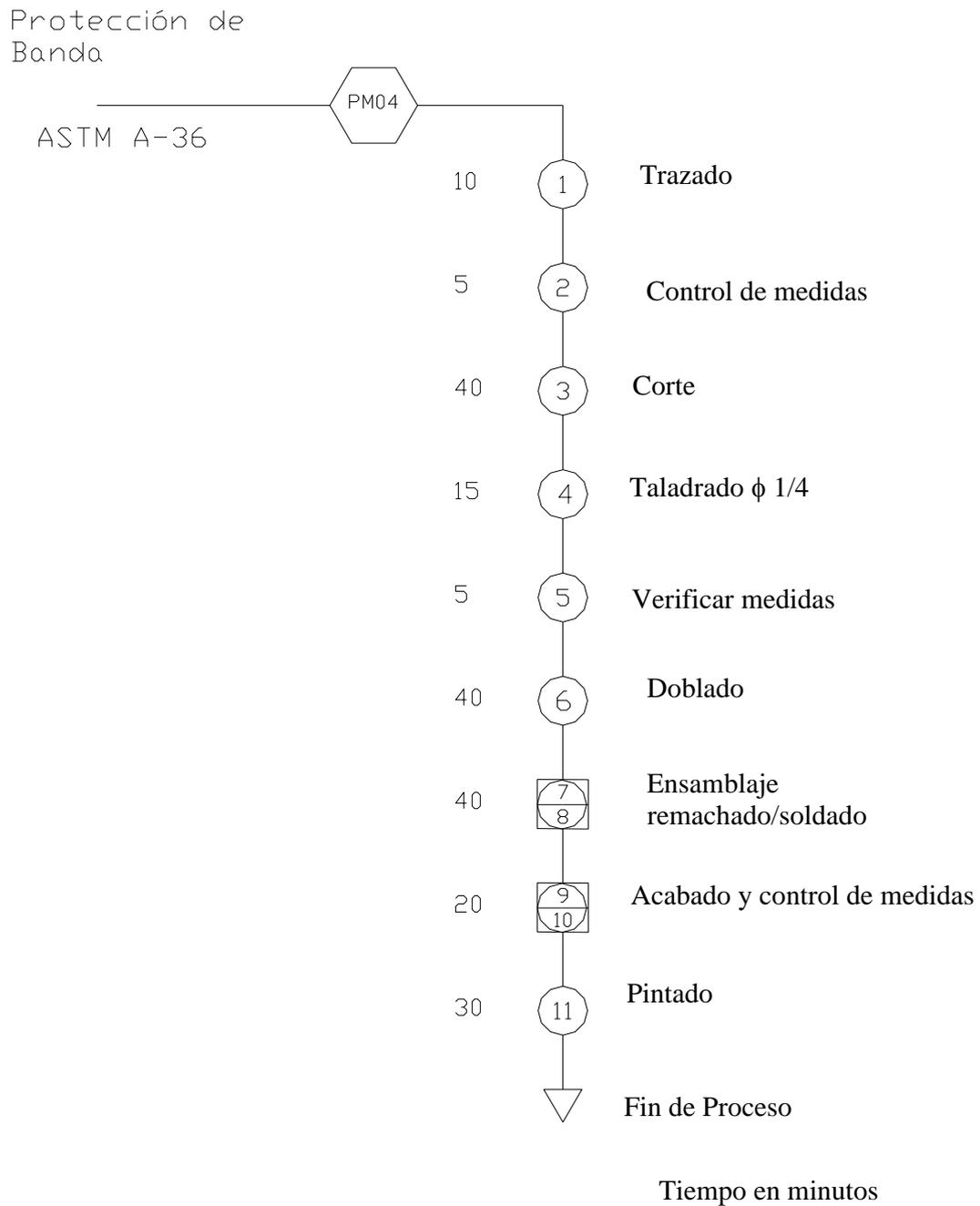
Cuchillas Móviles.



Carcaza para Alimentación.



Protección de Banda.



3.3.2.2.2 Proceso de Construcción.

Matriz de Proceso.

Cantidad	Procesos						
	Corte	Doblado	Torneado	Taladrado	Rectificado	Trat. Térmico	Pintado
1	X (Plasma)		X	X	X	X	
3	X (Plasma)		X	X	X	X	
1	X	X		X			X
1	X	X		X			X

Matriz de Tiempos de Procesos.

Cantidad	Procesos						
	Corte	Doblado	Torneado	Taladrado	Rectificado	Trat. Térmico	Pintado
	(mm)	(mm)	(h)	(h)	(h)	(h)	(m2)
1	184		4.5	1	5	2	
3	552		10.5	1	5	2	
1	980	1030		0.25			0.09
1	1547	1840		0.25			0.093

Costos de Procesos.

Costos de los Procesos	V.Unit	Subtotal
	USD	USD
Costo por metro de corte con plasma	4.25	3.13
Costo por metro de corte con sierra	0.50	1.26
Costo por metro de doblado	0.50	1.44
Costo por hora de torneado	5.00	75.00
Costo por hora de taladrado	3.00	7.50
Costo hora de rectificadado	8.00	80.00
Costo hora de tratamiento térmico	8.00	32.00
Costo por metro cuadrado de pintura	5.00	0.92
	Total	201.24

Costos de Materiales.

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Sub Total
			USD	USD
1	Acero A-36	25 Kg	1.00	25
2	Acero AISI 01	10 Kg	2.5	25
3	Bisagras	2	0.3	0.6
4	Platina A-36 1/4"	2 Kg	1	2
5	Misceláneos			15
			Total	67.6

Costo Total.

N°	Descripción	Sub Total
		USD
1	Procesos	201.24
2	Materiales	67.6
	Total	268.84

CAPÍTULO 4

ADECUACIÓN DE LA INYECTORA

4.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.

El diseño de los sistemas que forman parte de la inyectora dependen de la capacidad de inyección que se requiere obtener con la máquina.

En el proceso de inyección, fundamentalmente se toman en cuenta los parámetros de temperatura, cantidad de material que sale del cilindro de inyección, presión y velocidad de inyección, duración del ciclo, temperatura del molde, rendimiento térmico del cilindro de inyección, índice de pérdidas de presión en el cilindro de inyección y la capacidad plastificadora de la máquina.

El cálculo de estos parámetros se realiza al conocer el volumen del artículo, la velocidad y presión específica de inyección y la fuerza de cierre del molde..

La máquina que se posee es un prototipo para laboratorio, que ha sido diseñada para una capacidad de 10 gramos, por lo que sus dimensiones son las mínimas, con las cuales se han cubierto los requerimientos de inyección.

Esta inyectora posee un sistema de inyección, de cierre y de accionamiento, los que cubren a los parámetros de funcionamiento antes indicados.

4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y PARÁMETROS DE LA INYECTORA.

4.1.1.1 Disposición de la inyección.

Las máquinas de inyección se clasifican en horizontales, verticales y angulares, según la disposición de los ejes de separación del molde y mecanismo de inyección.

Este prototipo trabaja de manera horizontal (figura 4.1), es decir, la inyección se realiza perpendicularmente a la línea de separación del molde.

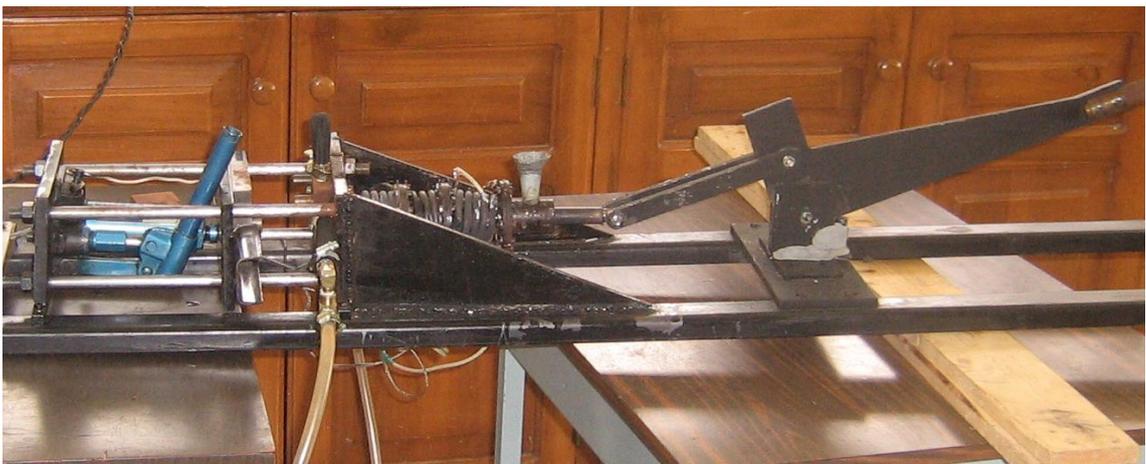


Figura 4.1 Disposición horizontal de la inyectora.

La inyección de manera vertical se emplea generalmente cuando se posee moldes de gran peso con amplios canales de inyección, los que son necesarios para introducir elementos metálicos, el cual no es el caso en esta máquina.

Los sistemas angulares se usan cuando hay una plastificación previa del material, y se encuentra en máquinas que han sido modificadas para mejorar su rendimiento.

4.1.1.2 Sistema de Inyección.

De los sistemas de la máquina, el de inyección es el más importante. Posee elementos con funciones determinadas para dosificar el material, plastificarlo e inyectarlo, además consta de los accionamientos para el desplazamiento del émbolo o rotación y avance del husillo.

La plastificación e inyección del material se puede realizar conjuntamente o por separado, y los mecanismos pueden ser émbolo o de husillo.

El mecanismo de una o más husillos se emplean en la mayoría de máquinas modernas y se encuentra gran aplicación debido a su elevada capacidad plastificadora y reducida presión de inyección, pero su construcción es más complicada, y para su funcionamiento se requieren elementos anexos para la rotación y desplazamiento axial, lo que la hace costosa.

Debido a que el volumen de plastificación de la máquina es pequeño, se ha empleado el *sistema de inyección por émbolo*, como muestra la figura 4.2.



Figura 4.2. Sistema de inyección por émbolo.

Con este mecanismo de inyección se obtiene una elevada presión de inyección, pero presenta problemas de deficiencia en la plastificación y , por lo que se emplea espaciadores o torpedos en el cilindro para suplir esta falencia.

4.1.1.3. Sistema de Cierre.

Este sistema abre y cierra el molde, lo mantiene bajo presión determinada durante la inyección, maduración y refrigeración.

Se clasifican en mecanismos de accionamiento hidráulico, hidromecánico y mecánico, a ellos se los complementa con dispositivos que asegures el cierre del molde bajo la presión determinada.

En los casos en que se emplea mecanismos hidráulicos o neumáticos, la fuerza de cierre se mantiene regulando la presión del líquido o aire según sea el caso, además se toma en cuenta el aumento progresivo de la presión durante la inyección.

El cierre con mecanismos mecánicos o hidromecánicos son cinemáticos y el cierre del molde es perfecto, y se mantiene en este estado gracias a las fuerzas internas que surgen como resultado de la deformación elástica de los eslabones.

El sistema de cierre hidromecánico es el más usado en las inyectoras industriales, debido a que se tiene ventajas sobre el esfuerzo de accionamiento que necesita, peso reducido y velocidad de cierre elevada.

El sistema de cierre neumático es usado cuando se requiere una menor capacidad de cierre.

En esta máquina prototipo se emplea un sistema de cierre hidráulico, el mismo que es demostrativo y permite leer la presión de cierre. Este sistema emplea un gato hidráulico de accionamiento manual, como muestra la figura 4.3.

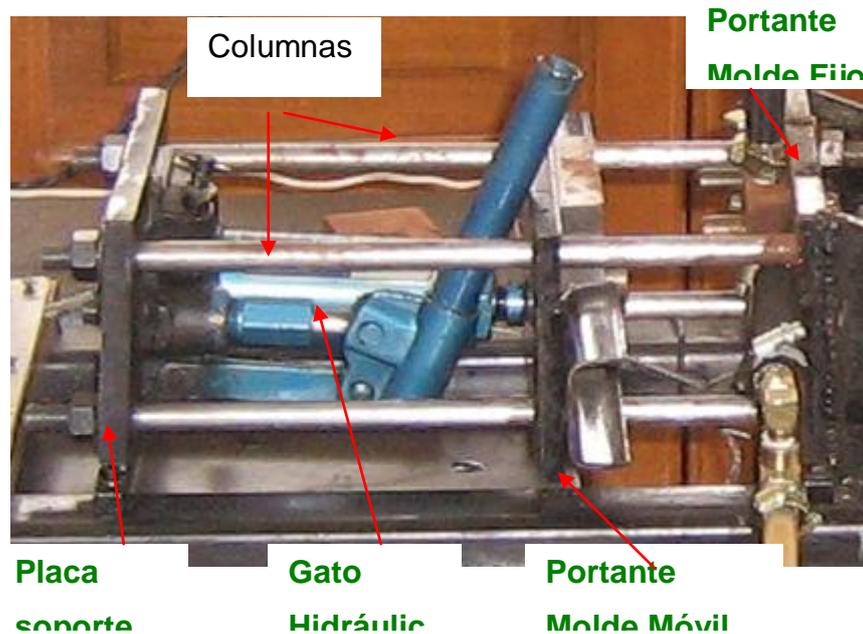


Figura 4.3. Sistema de cierre de la inyectora.

Este sistema de cierre se encarga de mantener los moldes juntos, para lo cual vence la fuerza de inyección durante el proceso, la fuerza de cierre se calcula de la siguiente forma.

$$\text{Fuera de Cierre} = \text{Área Proyectada} * \text{Presión de Inyección}$$

$$P := 6 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \text{Presión de Inyección}$$

$$\phi := 0.03 \text{ m} \quad \text{Diámetro de pieza inyektada}$$

$$F_c := P \cdot \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4}$$

$$F_c = 4.241 \times 10^3 \text{ N} \quad \text{Fuerza de Cierre}$$

Ecuación 4 - 1

En la placa soporte va empotrado el gato hidráulico, el pistón de este gato al salir permite avanzar a la placa portante del molde móvil, la misma que se mueve a través de las columnas, las que sirven de guías. El molde móvil avanza hasta acoplarse con el molde fijo, que esta sujeto en la palca portante de este.

4.1.1.4. Sistema de accionamiento.

Existen varios tipos básicos de accionamiento: hidráulico, neumático, mecánico y electromecánico.

Los sistemas hidráulico y neumático usan aceite y aire respectivamente a presión; tienen un peso reducido, cierre suave, ocupa poco espacio y puede controlarse su velocidad para la inyección.

El accionamiento hidráulico es el más empleado en la actualidad, mientras que el neumático se reserva para máquinas de capacidad reducida.

El accionamiento electromecánico se emplea en maquinaria de gran capacidad, son sistemas complejos debido a que la fuerza electromotriz debe ser transmitida a los elementos mecánicos de cierre y de inyección, por lo que su uso es reducido.

En esta máquina se emplea un sistema de accionamiento manual, para lo cual aprovecha la ventaja mecánica, como muestra la figura 4.4. Este sistema se utiliza debido a que en esta máquina se inyectan productos de poco volumen y de formas no complejas.



Figura 4.4. Sistema de accionamiento de la inyectora.

La presión mínima de inyección para los termoplásticos es 50 bares, y debido a que las pérdidas de presión no son elevadas, el mecanismo ha sido diseñado con un rango de seguridad del 20 % , por lo que el mecanismo de inyección entrega una presión de inyección de 60 bares.

El mecanismo empleado en esta máquina prototipo es de corredera manivela, con el fin de aprovechar la ventaja mecánica que este nos puede entregar al transmitir la fuerza.

La fuerza con la que se calculó la ventaja mecánica es de 20 Kg, o sea 196 N, que es una fuerza promedio que una persona puede ejercer sin problemas.

Con la ventaja mecánica, se obtiene una fuerza de salida de 1203 N, que al multiplicar por el área del cilindro nos da una presión de 60 bares, que es la presión de inyección que se requiere.

En la posición inicial se ingresará el material a través de la tolva al cilindro, el émbolo tiene una carrera de 50 mmm, con lo cual ingresará el material a la primera etapa del cilindro.

4.1.1.5. Cilindro Inyector.

Al cilindro inyector se lo dimensionó, de manera que admita un volumen de 11 cm³ en cada una de sus tres secciones (cono de entrada, canales coaxiales cilíndricos y cono de salida).

El volumen de 11 cm³ se debe a que la capacidad del molde es de 6.5 gr pero por posibles pérdidas se lo multiplicó por un factor de práctico de 1.5. Para determinar la capacidad del molde en peso, se debe multiplicar la capacidad del molde en volumen por la densidad del termoplástico que ingresa a la inyectora (HDPE, densidad = 0.92 g /cm³).

Volumen del molde = 6.5 cm³ * 1.5

Capacidad del molde = 9.75 cm³.

**Capacidad del molde en gramos = Cap. molde * Densidad Ecuación 4
– 2.**

Capacidad del molde = 9.75 cm³ * 0.92 g / cm³ = 8.97 g.

Capacidad de la máquina = 10 g.

Este cálculo se realiza con el fin que en cada sección del cilindro permanezca la cantidad necesaria de material por un tiempo necesario, para que sea inyectado posteriormente dentro del molde. Para aumentar el área de transferencia de calor y mejorar la capacidad plastificadora del cilindro, este posee un torpedo inyector en su interior.

Este prototipo tiene una capacidad de inyección de 1 pieza por minuto, ya que el fluido permanece en cada etapa por 20 segundos y la inyección se hace cada 5 segundos, además no posee sistema de expulsión.

Durante los 20 segundos el fluido, esta sometido a una presión de inyección y a transferencia de calor con las paredes del cilindro, que se encuentran a 180 °C, el intercambio de calor permite que el material llegue fundido a la salida por la boquilla.

La presión del cilindro a la entrada del material es de 8 bares, pero con el transcurso del tiempo y a medida que avanza en el interior de cilindro alcanza una presión de 60 bares; al final se tiene una velocidad de flujo 2.2 cm³ / s, debido a que se inyecta 11 cm³ en 5 segundos.

Las paredes del cilindro se encuentran a un promedio de 180 ° C durante todo el trayecto, esto se logra por un sistema de control electrónico, el que regula resistencias eléctricas en forma de espiral que están alrededor del cilindro en su superficie externa, como se muestra en la figura 4.5.

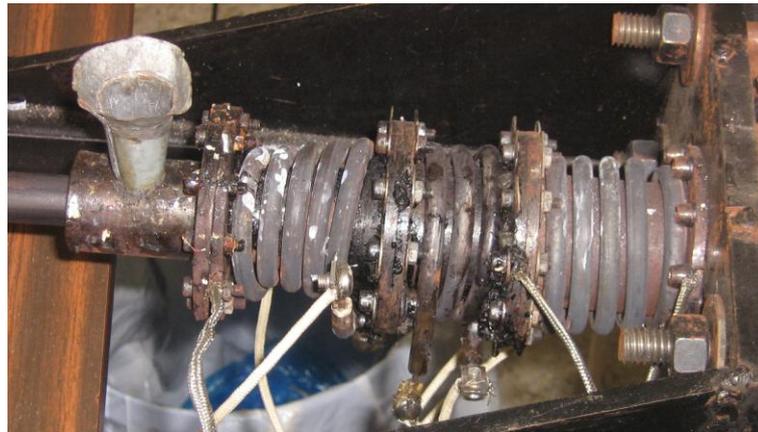


Figura 4.5. Resistencias del cilindro plastificador.

Tabla 4.1 Especificaciones de resistencias.

Niquelinas cubiertas con tubo de acero de 1/8"
Voltaje de Alimentación: 110 V
Temperatura de trabajo máxima: 900° C

El cilindro tiene una rugosidad en su superficie interna de 46 micrómetros, por donde circula el flujo laminar de plástico fundido.

Las pérdidas de presión en el cilindro son del orden de 10^{-6} , por lo que se desprecian. La presencia de pérdidas de presión mínimas, se debe a que las secciones del cilindro son cortas.

4.1.1.6. Molde de Inyección.

El molde tiene una capacidad de 10 g, con una cavidad cilíndrica, el cual es desmontable.

El molde que posee la inyectora, fue construido bajo normas. Es un molde cuadrado de cavidad cilíndrica, provisto de cuatro columnas guías, con sus correspondientes casquillos, como muestra la figura 4.6.



(a)



(b)

Figura 4.6. a) Molde Hembra b) Molde Macho.

El molde con cavidad hembra está montado en la placa portante fija, y el molde macho se desliza en la placa portante móvil. Debido al tamaño del molde y por su aplicación demostrativa no posee un sistema de expulsión; esta tarea se hace de forma manual para lo cual se ha dotado de suficiente espacio para retirar la pieza inyectada.

El material para moldes y para el macho insertado, es un especial K, por su fácil maquinabilidad y buenas características para trabajo en caliente.

En los anexos se presenta las normas tomadas como referencia de la CIA. General de Aceros S.A, para el diseño de bases y elementos normalizados para moldes, con las cuales se construyó el molde que posee la máquina.

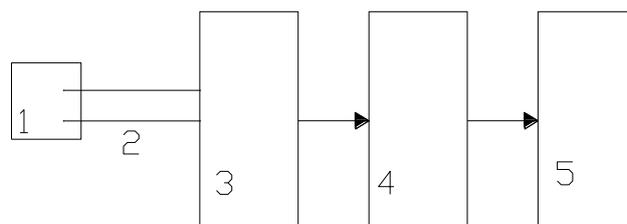
El molde montado en la máquina tiene un sistema de enfriamiento por agua: por un costado del molde ingresa el agua, la misma que por la presión que tiene el agua, circula por los canales internos del molde haciendo que se enfríe, y al cumplir con su objetivo el agua sale por el otro costado. Esto se lo aprecia en figura 4.7



Figura 4.7. Sistema de refrigeración del molde.

4.1.1.7. Sistema de control eléctrico de temperatura.

Este sistema está conformado por cinco partes, que se muestran en la figura 4.8, las cuales tienen una función específica.



- 1.-Temperatura medida
- 2.-Termopar
- 3.-Acondicionador de señal y amplificación
- 4.-Microcontrolador
- 5.- Circuito de potencia

Figura 3.8 Esquema del sistema de control eléctrico.

La *Temperatura Medida*, se la realiza en el metal del cilindro, en tres puntos de interés, es decir donde se necesita controlar, por lo que uno se ha colocado en la entrada del material, otro en la parte intermedia del cilindro plastificador y otro en la boquilla de inyección. El rango de temperatura a lo largo del cilindro plastificador debe ser de 150 °C a 170 °C, con lo cual se obtiene un plastificado uniforme del material.

El sensor con el que se mide la temperatura es un *termopar*, conocido comúnmente como termocupla.

La termocupla esta formada por dos conductores metálicos diferentes unidos por sus extremos, formando un circuito eléctrico. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, que esta en el orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. La fuerza electro motriz generada, depende de la naturaleza de los conductores y de la diferencia de temperaturas entre sus uniones. Cuando se conectan dos metales distintos y sus uniones son mantenidas a distintas temperaturas, se producen tres efectos simultáneamente: efecto Seebek, efecto Peltier y el efecto Thompson. Estos efectos dependen únicamente de la composición de los metales y la temperatura de unión

Por este motivo existe diferentes tipos de termocuplas, dependiendo de las composiciones de los metales, que nos da el rango de medición. En esta

máquina se emplea una termocupla tipo J, la cual esta conformada por un cable positivo de Hierro y un cable negativo de Cobre/Niquel, con lo que se puede medir temperaturas entre $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El *acondicionamiento de señal*, se realiza cuando la termocupla entrega un diferencial de voltaje, al cual se le suma el voltaje por temperatura ambiente y se le resta el voltaje producido por los elementos electrónicos, conocidos como offset.

El rango de temperatura de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, esta dado en la salida de la termocupla en valores de 8.008 a 9.133 mv, a los que se les linealiza par obtener valore de 0 a 5 V.

Este acondicionamiento de señal, una vez obtenidos los valores en voltios, permite transformarlos a grados Celsius.

Cuando se tiene la señal de temperatura en grados Celsius, se la hace pasar por un *microcontrolador*, el que compara la temperatura, si es menor de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, se enciende la resistencia y si es mayor que 170°C apaga la resistencia.

El *circuito de potencia*, es el encargado de alimentar con 110 V de corriente a las tres resistencias y de dar la protecciones necesarias para que la corriente no se regrese al circuito de control por medio de un circuito de diodos.

La corriente que se maneja esta alrededor de los 5 a 6 Amp, por lo que los elementos están diseñados para soportar una carga de 10 Amp.

El circuito necesita una alimentación de corriente continua de 12 y 5 v, para lo cual se utilizó una fuente de computadora, debido a en su diseño ya posee las protecciones del caso y su uso es práctico.

El encendido se hace con un interruptor On/Off, y se alimenta a 110 V de corriente alterna. El sistema de control que posee la máquina se muestra en la figura 4.9.

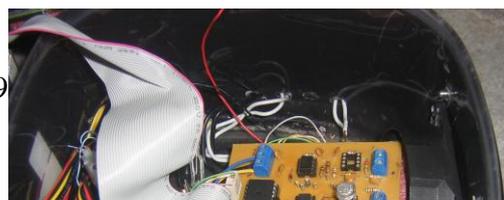




Figura 4.9 Sistema de control de temperatura.

4.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE MODIFICACIÓN.

4.2.1 ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS.

El material termoplástico que se obtiene de la cortadora de plástico, ingresa a la inyectora para obtener probetas, con las cuales se realizará ensayos de compresión y de tracción, de estos se determinará las propiedades mecánicas de estos materiales

Para fundir estos materiales termoplásticos se necesita temperaturas de 230 °C a 280°C, las cuales no se pueden alcanzar con la configuración actual del sistema de control de temperatura, ya que este trabaja para regular la temperatura entre 150 °C y 170°C.

Por este motivo se hace necesario realizar una modificación del sistema eléctrico de control de temperatura, para obtener temperaturas mayores que la actuales.

4.2.1.1. Descripción de las alternativas de modificación.

4.2.1.1.1. Primera Alternativa.

Esta alternativa plantea cambiar el rango de operación de temperatura, que posee el sistema eléctrico de control de temperatura actual.

La variación del rango de temperatura se realiza programando nuevamente el circuito de control, el cual realiza la corrección de cero, el acondicionamiento de señal, la medición y comparación de la temperatura dentro del rango que se desee establecer.

Por lo tanto si sensa una temperatura menor a la establecida, la resistencia se enciende, y si la temperatura es mayor que la establecida la resistencia se apagará.

Esto nos permite trabajar dentro del rango que se deseé, aunque siempre que se desee modificar el rango de trabajo, se deberá modificar el programa del circuito de control.

4.2.1.1.2. Segunda alternativa.

En esta alternativa se plantea hacer una conexión directa de las resistencias a la fuente de energía, con lo cual su temperatura se elevará hasta el valor que se desee.

Al realizar la conexión directa, la señal no ingresará al microcontrolador, por lo que las resistencias no se apagarán cuando estén bajo el valor establecido, ya que el circuito de control no esta funcionando.

La temperatura a la que se encuentran la resistencias, se podrá apreciar en el display del sistema de control que posee la máquina, ya que la señal que envían las termocuplas si estará siendo registrada y mostrada, por lo cual se encenderá o apagará las resistencias de forma manual, de acuerdo a la temperatura que deseemos en las resistencias.

Esta alternativa tiene algunos inconvenientes, pues no se tendrá una exactitud en el funcionamiento de las resistencias, además el trabajo sin automatización entorpece el proceso de inyección de plásticos.

4.2.1.1.3. Tercera Alternativa.

Esta alternativa plantea la elaboración de un nuevo sistema de control de temperatura, en el cual se utilicen controladores de temperatura similares a los que poseen los hornos empleados para realizar fundiciones o tratamientos térmicos de metales.

Estos controladores de temperatura trabajan entre rangos mucho mas amplios, por ejemplo de 0°C a 1000°C, y poseen un selector con el cual se puede seleccionar la temperatura que se desee, dentro de este rango.

Este sistema es muy funcional, ya que se puede tener una variación de temperatura en cada resistencia, de acuerdo a lo que se desee, de una forma rápida. De esta manera se puede encontrar las temperatura ideales, con las cuales se obtenga excelentes probetas de material termoplástico.

4.2.1.1.4. Adecuaciones adicionales

Todas las alternativas incluyen otra modificación. Esta consiste en la elaboración de una nueva matriz, la misma que se acoplará a la matriz hembra que posee la inyectora.

El diseño de la matriz que está montada en la inyectora, permite obtener probetas con un área transversal circular grande, pero de pequeña longitud.

Esta nueva matriz permitirá obtener probetas alargadas y con una sección transversal adecuada, para ser montadas en la máquina de ensayos universales del Laboratorio de resistencia de Materiales de a FIME, donde se realizarán la pruebas y con ello el análisis de sus propiedades mecánicas.

4.2.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN.

4.2.2.1. Análisis de alternativas.

Las alternativas planteadas para la modificación de la inyectora, se enfocan al sistema de control de temperatura y en la elaboración de una nueva matriz, con el fin de obtener probetas de excelente calidad y uniformidad en su estructura.

Previo a la selección de la alternativa, es importante analizar los parámetros que se consideran los más importantes y que permitirán seleccionar la mejor alternativa.

En función de las ventajas y desventajas que presentan las alternativas, se evaluará cada parámetro y la alternativa que obtenga el valor más alto en la calificación de parámetros será seleccionada para ser construida y realizar la adecuación de la inyectora.

4.2.2.1.1. Parámetros de selección.

Los parámetros de selección que se han considerado son los que se enuncian a continuación, los mismos que están divididos en tres aspectos: técnicos, económicos y complementarios.

Tabla 4.2. Parámetros de Selección.

Aspecto Técnico	Aspecto Económico	Aspecto Complementario
Funcionabilidad. Rendimiento. Mantenimiento. Materiales. Proceso de construcción. Precisión. Fiabilidad	Costo de Fabricación. Costo de Mantenimiento.	Tamaño. Forma.

4.2.2.1.2 Descripción de Parámetros.

Funcionabilidad: Se refiere a las características que la máquina alcanzará con las modificaciones, que harán que la inyectora cumpla con los fines propuestos.

Rendimiento: Este parámetro se refiere a que se debe tener un alto grado de seguridad que la máquina funcione con las modificaciones realizadas, y cumpla con la finalidad para la cual se la adecuó. Analiza la facilidad que adquirirá la máquina para trabajar con diferentes termoplásticos, lo que permitirá obtener probetas de estos materiales.

Mantenimiento: Es importante que la máquina se mantenga en un óptimo funcionamiento. Dependiendo de la complejidad del sistema de control de temperatura, se necesita ver la factibilidad de una puesta a punto de sus piezas o el cambio de las mismas.

Materiales: Trata del material recomendable y su facilidad de adquisición para que la construcción de la nueva matriz sea óptima, también se refiere a la

disponibilidad en el mercado de los elementos que necesiten para modificar el sistema de control de temperatura.

Procesos de Construcción: Todas las alternativas, requieren piezas nuevas con tolerancia en su construcción y necesitan de maquinaria adecuada que permitan obtenerlas. Se refiere a la factibilidad de construcción de cada pieza que se necesite.

Además encierra la factibilidad para realizar las conexiones e instalaciones de los elementos del sistema de control de temperatura.

Precisión: Trata de la exactitud y tolerancias en la elaboración de los nuevos elementos.

Fiabilidad: Este factor es importante y trata de evaluar el funcionamiento satisfactorio de cada una de las alternativas.

Costo de Fabricación: Reviste de gran importancia para selección de la alternativa, ya que los características de elementos que se desea construir son especiales, sus costos estarán dados de acuerdo a la complejidad que lleve su elaboración.

Costo de Mantenimiento: Una vez construida la máquina, cada cierto período se debe realizar mantenimiento de los elementos, el costo de este mantenimiento variara de acuerdo a la complejidad de los sistemas y elementos de la máquina adecuada.

Tamaño: Se refiere al espacio que ocupará la máquina una vez adecuada.

Forma: Trata de la estética de máquina una vez adecuada.

4.2.2.2. Selección de Alternativa.

Para la selección de la alternativa ideal, al igual que en la selección de la alternativa de modificación de la cortadora, se aplicará el *Método Combinex*, el que nos brindará la seguridad que la alternativa que se seleccione será la correcta.

Este método determina la elaboración de dos matrices.

La primera se le denomina Matriz para el Análisis del Valor, en la cual se determina el factor de peso de cada uno de los parámetros. Para elaborar esta matriz es necesario ordenar los parámetros de acuerdo a la importancia que tiene, para la selección de la alternativa.

Elaborada la Matriz de Análisis de Valor, con estos datos se construye una Matriz de Decisión, la que los indicará cual es la alternativa adecuada, para realizar las modificaciones.

4.2.2.2.1 Importancia de Parámetros.

1.- Funcionabilidad.

2.- Rendimiento.

3.- Precisión.

4.- Proceso de construcción.

5.- Fiabilidad.

6.- Materiales.

7.- Mantenimiento.

8.- Costo de fabricación.

9.- Costo de Mantenimiento.

10.- Tamaño.

11.- Forma.

4.2.2.2.2. Matriz para el Análisis del Valor.

Tabla 4.3. Matriz de Análisis de Valor

N°	Parámetros de Evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Puntos	Pts Aprox	Factor de Peso
													<i>pi</i>	<i>Pi</i>	<i>WF</i>
1	Funcionabilidad.	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10.0	0.17
2	Rendimiento.	0	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9.0	0.15
3	Precisión.	0	0	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8.0	0.13
4	Proceso de construcción.	0	0	0	NA	1	1	1	1	1	1	1	7	7.5	0.13
5	Fiabilidad.	0	0	0	0	NA	1	1	1	1	1	1	6	6.5	0.11
6	Materiales.	0	0	0	0	0	NA	0,5	1	1	1	1	4,5	5.0	0.08
7	Mantenimiento.	0	0	0	0	0	0,5	NA	1	1	1	1	4,5	4.5	0.08
8	Costo de fabricación.	0	0	0	0	0	0	0	NA	1	1	1	3	4.0	0.07
9	Costo de Mantenimiento.	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	1	1	2	3.0	0.05
10	Tamaño.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0,5	0,5	1.5	0.03
11	Forma.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	NA	0,5	1.0	0.02
	TOTAL												55	60	

Nota:

Parámetro 6 y 7, igual importancia.

Parámetro 10 y 11, igual importancia.

NA: No aplica.

4.2.2.2.3. Matriz de Decisión.

Tabla 4.4. Matriz de Decisión.

N°	Parámetros de Evaluación	WF	Primera Alternativa			Segunda Alternativa			Tercera Alternativa		
			Características	R.V	Puntaje	Características	R.V	Puntaje	Características	R.V	Puntaje
1	Funcionabilidad.	0.17	Regular	5	0.85	Regular	5	0.85	Muy Buena	10	1.7
2	Rendimiento.	0.15	Buena	7.5	1.13	Regular	5	0.75	Muy Buena	10	1.5
3	Precisión.	0.13	Buena	7.5	0.98	Regular	5	0.65	Muy Buena	10	1.3
4	Proceso de construcción.	0.13	Alto	5	0.65	Medio	7.5	0.98	Medio	7.5	1.0
5	Fiabilidad.	0.11	Medio	7.5	0.83	Bajo	5	0.55	Alto	10	1.1
6	Materiales.	0.08	Medio	7.5	0.60	Medio	7.5	0.60	Medio	7.5	0.6
7	Mantenimiento.	0.08	Alto	5	0.40	Medio	7.5	0.60	Medio	7.5	0.6
8	Costo de fabricación.	0.07	Medio	7.5	0.53	Medio	7.5	0.53	Alto	5	0.4
9	Costo de Mantenimiento.	0.05	Medio	7.5	0.38	Medio	7.5	0.38	Alto	5	0.3
10	Tamaño.	0.03	Medio	7.5	0.23	Medio	7.5	0.23	Medio	7.5	0.2
11	Forma.	0.02	Medio	7.5	0.15	Medio	7.5	0.15	Medio	7.5	0.2
	Sumatoria	1.00			6.7			6.25			8.8

4.2.2.2.4. Selección de alternativa.

De la matriz de decisión, obtenemos que la tercera alternativa planteada tiene el mayor puntaje, por lo que las modificaciones que plantea esta alternativa deben ser realizadas para lograr el objetivo requerido, que es obtener probetas de termoplástico.

4.3 DISEÑAR Y CONSTRUIR NUEVOS ELEMENTOS O SISTEMAS MECÁNICOS

4.3.1 DISEÑO DE NUEVOS ELEMENTOS Y SISTEMAS.

4.3.1.1. Diseño del Sistema de Control de Temperatura.

De acuerdo a lo planteado por la alternativa de modificación, se diseñará un nuevo sistema de control de temperatura, en el cual se emplearán controladores de temperatura existentes en el mercado, que generalmente son utilizados en hornos para fundir y realizar tratamientos térmicos a metales.

Además se emplearán contactores y termocuplas, para conformar todo el sistema de control de temperatura.

Cabe señalar que cada resistencia funcionará independientemente, es decir que existirá un sistema de control para cada una de ellas. Por lo que a continuación se explica como esta integrado el sistema de control de temperatura para una de ellas y de la misma forma se armará para las dos resistencias restantes.

4.3.1.1.1. Controlador de Temperatura.

El controlador de temperatura seleccionado, posee las características que se necesita controlar adecuadamente la temperatura en las resistencias, y nos brinda facilidad para trabajar con cualquier temperatura que se desee, mientras esta este dentro el rango de trabajo del aparato.

Tabla 4.5. Especificaciones del Controlador de Temperatura.

<i>Controlador Electrónico de Temperatura</i>	
<i>Pantalla Digital</i>	
Marca:	CAMSCO
Tipo:	TC-72N
Voltaje:	110/220 V
Frecuencia:	50/60 Hz
Sensor de Temperatura	K, E, J, T, PT-100
Consumo de energía:	Aprox < 5 V
Rango de funcionamiento:	0 - 399 °C

Como se aprecia en las especificaciones del controlador, este posee una pantalla digital, en la cual se indica la temperatura a la que se encuentra la resistencia que esta controlando.

El rango de funcionamiento de este controlador es de 0 a 399 °C, por lo que se puede trabajar con cualquier temperatura entre estos valores, la misma que es determinada por el selector de temperatura que posee este aparato. La pantalla y el selector de este controlador se puede apreciar en la figura 4.10.

Posee dos focos indicadores (lets), un verde y un rojo, al encenderse el verde indica que no se esta enviando voltaje a la resistencia, o esta ha superado la temperatura deseada; al encenderse el foco rojo, indica esta pasando voltaje a la resistencia, ya que la temperatura a descendido de la que se desea.



Figura 4.10. Parte Delantera del Controlador de Temperatura.

El controlador compara la temperatura fijada, con la temperatura que es registrada por las termocuplas tipo J, en un punto del cilindro plastificador. Si la temperatura es mayor activa el contactor on/off, con lo que este restringe el paso de voltaje a las resistencias; en caso que la temperatura sea menor que la seleccionada desactiva el contactor y el voltaje de la fuente va hacia las resistencias.

En la parte posterior del controlador se encuentran las tomas, en los cuales se conectan los cables que llegan de las termocuplas y del contactor. Estas tomas esta distribuidas como lo muestra la figura 4.11.

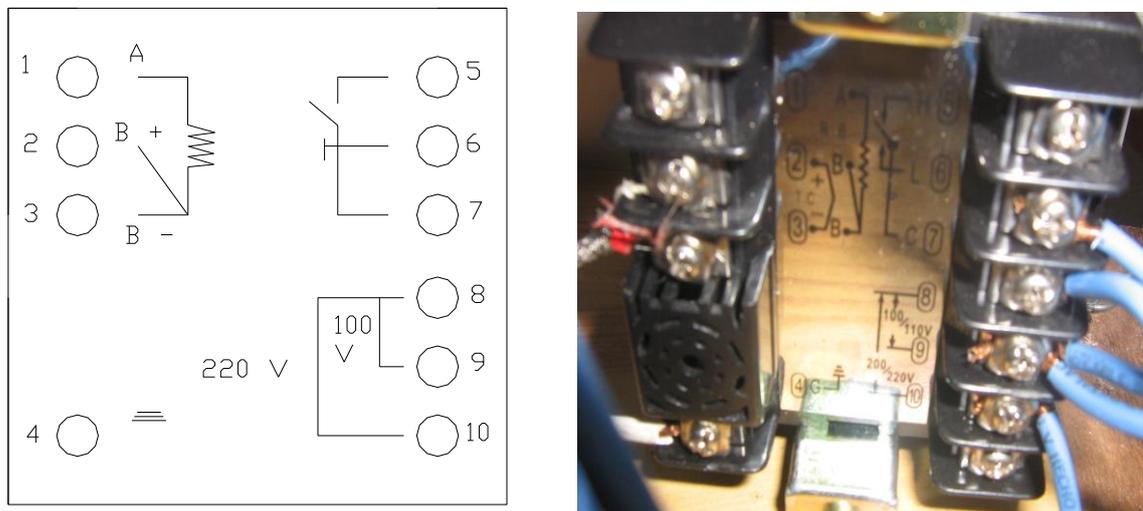


Figura 4.11. Tomas del Controlador de Temperatura.

En la toma 1,2 y 3 se conectarán los cables que provienen de la termocupla. La termocupla que se usa es tipo J, la cual posee únicamente dos cables por lo que se conectarán en la toma 2 y 3.

Como se trabajará con 110 voltios, la conexión se hará en los puntos 8 y 9, en caso que se trabaje con 220 voltios, se conectará en los puntos 8 y 10.

Los puntos 5, 6 y 7, forman un circuito, que hace la función de interruptor el cual al estar cerrado permite el paso de voltaje y al permanecer cerrado restringe el paso de voltaje.

El punto 4 es tierra, con el fin de evitar algún daño en el controlador.

4.3.1.1.2. Contactor.

El contactor, es quien al final permite o restringe el paso de voltaje a las resistencias. Las especificaciones del contactor utilizado se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.6. Especificaciones del Contactor.

Contactor	
Marca:	SASSIN
Tipo:	LC1-D
Modelo.	1810
Voltaje:	110 V CA
Frecuencia:	60 Hz

Este contactor posee algunos puntos, tanto para la entrada como para la salida de voltaje los cuales se los muestra en la figura 4.12.

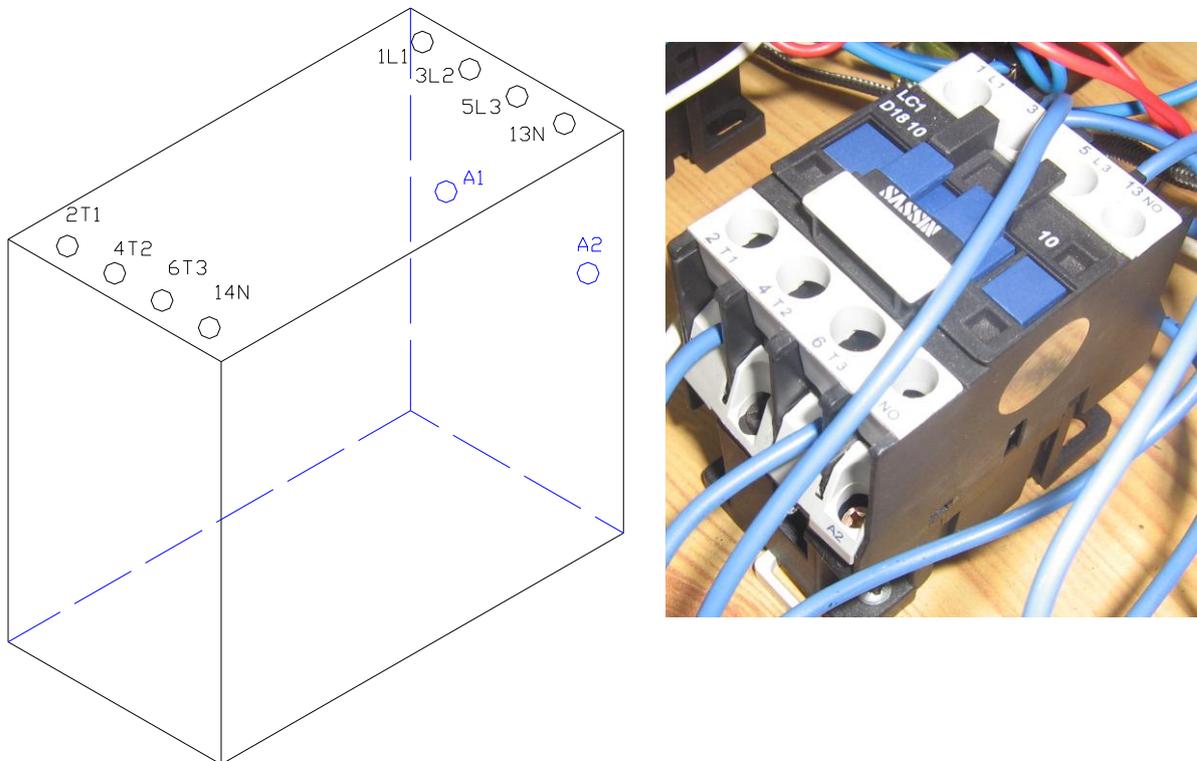


Figura 4.12 Punto de conexión del Contactor.

4.3.1.1.3. Termocupla.

La termocupla que se utilizará es una tipo J, por lo que se emplearán las ya existentes en la máquina. También se conservarán sus ubicaciones el cilindro plastificador , o sea en la primera brida, la tercera brida y la boquilla, al final del cilindro.

4.3.1.1.4. Conexión del sistema de control de temperatura.

La conexión del sistema de control de temperatura se ilustra en la figura 4.13.

En el contactor encontramos los puntos 1L1 y 5L3, en los cuales se conecta los cables de alimentación de la fuente de 110 V.

Los puntos A1 y A2 del contactor, permiten el paso de corriente hacia los puntos 2T1 y 6T3 respectivamente, los cuales a su vez alimentan de corriente a la resistencia. El punto A1 es alimentado directamente de voltaje a través de un puente con el punto 1L1, que ya posee corriente, por lo cual el único que permanece sin corriente es el punto A2, lo que hace que la resistencia no se encuentre encendida.

De los puntos 1L1 y 5L3 que poseen corriente, se alimenta al los puntos 9 y 8 del controlador respectivamente, con lo cual se lo alimenta con 110 voltios.

Los puntos 5, 6 y 7 del controlador, forman un circuito que hace la función de interruptor. El punto 5 es el encargado de abrir o cerrar este circuito; permanece abierto mientras no recibe una pequeña corriente en milivoltios, enviada por la termocupla, al recibir esta corriente pequeña, el circuito se cierra

La termocupla al sensar la temperatura seleccionada o menor a ella, envía una corriente en milivoltios, la misma que va aumentando a medida que la temperatura se incrementa, por lo que el circuito esta cerrado; al sobrepasar esta temperatura, la corriente que se envía también se sobrepasa, por lo que se suspende su paso al punto 5 del controlador y el circuito se abre.

El punto 7 es alimentado de voltaje por medio de un puente tomado desde el punto 8, y cuando el circuito esta cerrado permite la salida del voltaje por el punto 6, el mismo que alimenta al punto A2 del contactor, por lo que el voltaje sale por el punto 6T3, alimentando a la resistencia y con lo cual empieza a calentarse.

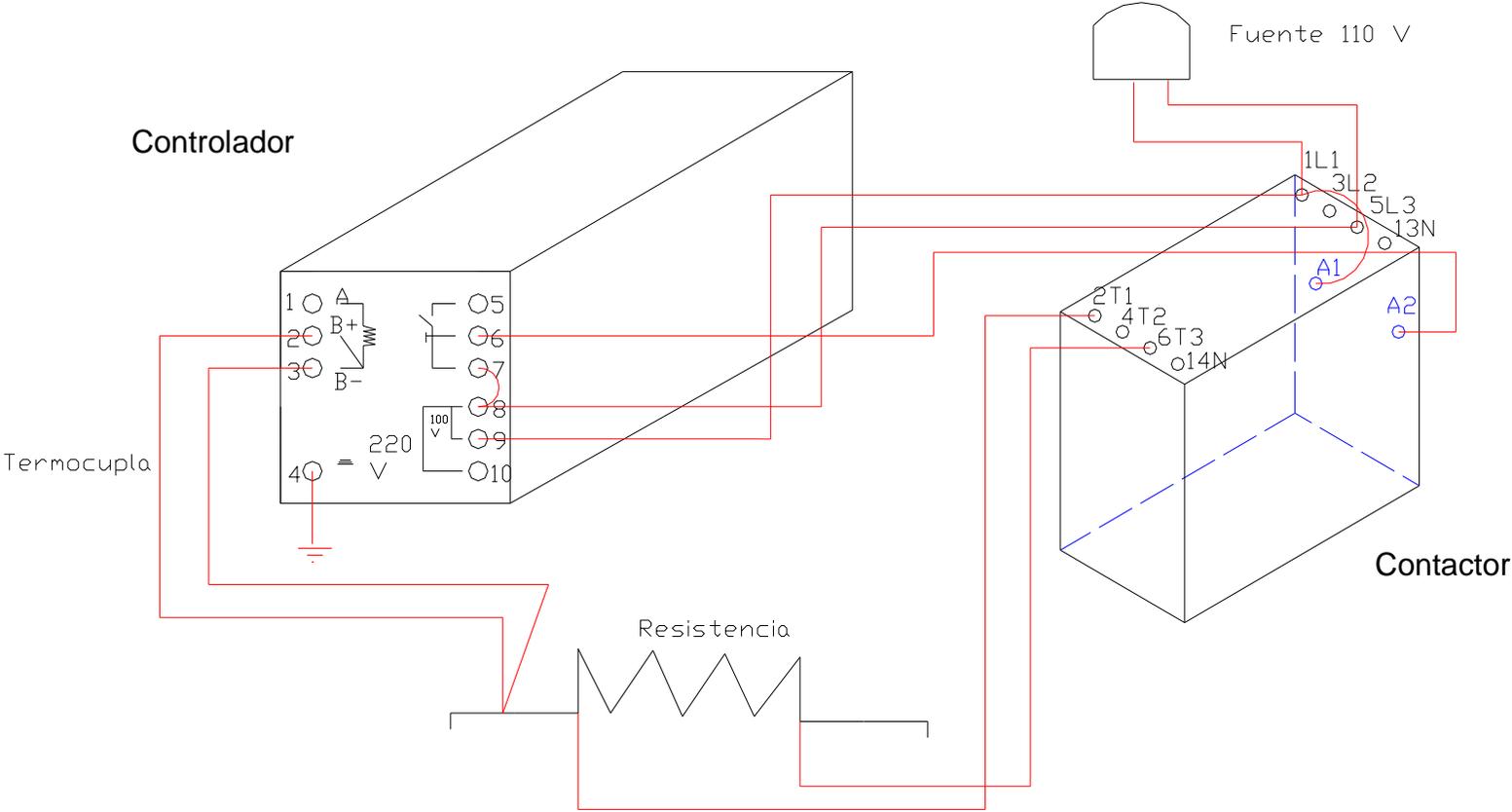


Figura 4.13 Conexión del Sistema de Control de Temperatura

Cada resistencia actúa de manera separada, por lo que cada una posee su propio contactor y controlador, cuya distribución se muestra en la figura 4.13. A las resistencias se las ha numerado, empezando desde la de precalentamiento, es decir R1 es la que está a continuación de la tolva, R2 la intermedia y R3 la última.

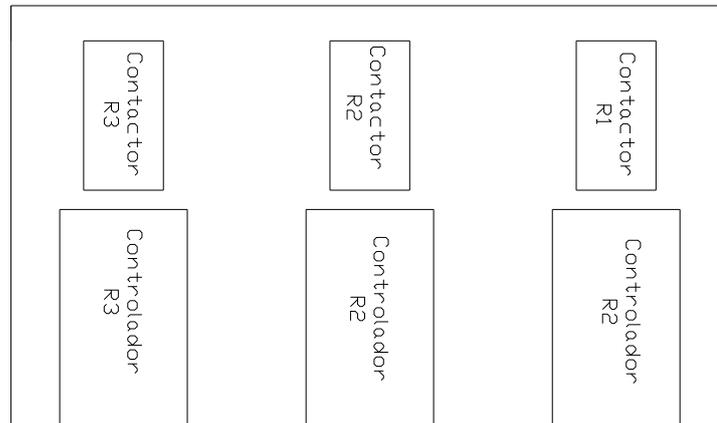


Figura 4.14. Distribución del sistema de control de temperatura.

4.3.1.2. Protección del sistema de control de temperatura.

La protección consiste en una caja metálica, elaborada con tool de acero A-36, la cual cubre los tres controladores y los tres contactores, con los que se regula la temperatura de las tres resistencias.

Posee tres orificios en la parte frontal, por los que ingresarán los controladores quedando las pantallas a la vista del operador. De igual manera posee orificios en la parte posterior, por donde ingresan y salen los cables de alimentación de los contactores y de las resistencias.

Con esta caja se protegerá al operario de cualquier accidente con la energía que posee el sistema de control. Además evita que los aparatos estén a la intemperie, por lo que pueden sufrir daños.

Esta caja para la protección de control de la temperatura se puede ver en la figura 4. 14, y sus planos de construcción se encuentran en los anexos.

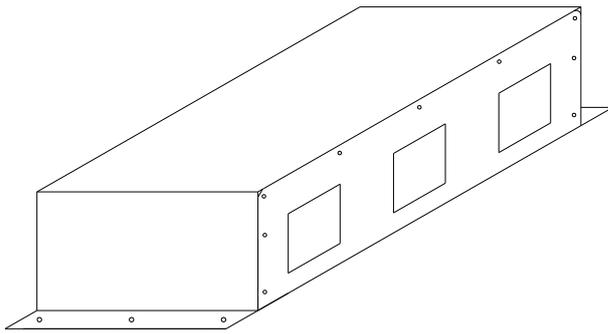


Figura 4.15. Protección del sistema de control de temperatura.

4.3.1.3. Matriz Adicional.

Esta matriz fue diseñada con el fin de obtener probetas alargadas (18 cm de largo), con un área transversal circular (diámetro 8 mm).

Estas probetas se les utilizarán para realizar ensayos de tracción en la Máquina de Ensayos Universales del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la FIME, por lo que necesitan ser alargadas para sujetarlas en las mordazas de la máquina.

La nueva matriz se acoplará a la matriz hembra que se encuentra instalada en la inyectora. Por este motivo tiene una boca, con diámetro 28.68 mm, que ingresa exactamente en el agujero de la matriz hembra. En la boca existe un agujero de diámetro 5 mm, por el que se conducirá el material termoplástico fundido a la matriz.

Con el fin que la probeta pueda ser extraída con facilidad, la matriz está conformada por dos placas de 8 mm de espesor cada una, las cuales se unen con seis pernos que atraviesan totalmente las placas, de modo que no existan fugas de material.

En su parte superior existe un tapón, donde termina la probeta, y además permite apreciar si la matriz se encuentra totalmente llena, para detener el ingreso de material a ella.

La matriz adicional se muestra en la figura 4.14 y sus planos de construcción se encuentran en los anexos.



Figura 4.16. Matriz Adicional.

4.3.1.4. Bastidor.

La construcción del bastidor es necesaria para que la inyectora permanezca estable durante el proceso de inyección , ya que al ejercer fuerza en la palanca del sistema de accionamiento, la inyectora se mueve, lo que afecta al normal desarrollo del proceso de inyección.

La inyectora irá ensamblada al bastidor mediante pernos, con lo que permanecerá totalmente fija. El bastidor irá anclado al piso, para lo cual se utilizarán pernos de anclaje, uno en cada pata del bastidor.

Para el diseño de la estructura del bastidor se empleo el software RISA 3D DEMO.

Este software es netamente visual, mediante un código de colores, permite el análisis del diseño de estructuras metálicas.

Al ser una versión DEMO, tiene ciertas limitaciones; permite el análisis de estructuras que posean hasta 40 juntas y 40 miembros, la versión original permite trabajar con estructuras de 32000 juntas y 32000 miembros. La estructura que deseamos analizar es una estructura sencilla por lo que no encontraremos ningún problema para resolverla mediante el uso de este programa.

El proceso para el análisis de estructuras en el RISA tiene tres pasos básicos. Primero se determina el modelo, luego se resuelve el modelo, con lo que se obtiene resultados previos, y finalmente se revisa estos resultados con el fin de mejorar la estructura y realizar los cambios que se requieran. Usualmente es necesario repetir estos pasos hasta encontrar el diseño ideal. El propósito de RISA es encontrar el diseño ideal con rapidez. A continuación se detallan los pasos realizados para el análisis de la estructura del bastidor de la inyectora en el programa RISA 3D DEMO.

Se dibuja la estructura en tres dimensiones en el Software Autocad, y se coloca el origen (0,0,0) en una de las patas, como lo muestra la figura 4.15.

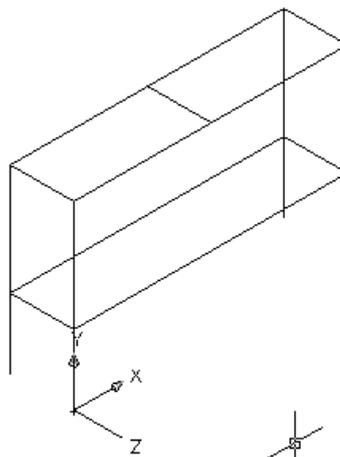


Figura 4.17 Bastidor dibujado en 3 dimensiones en Autocad.

A este archivo se lo guarda con un nombre (bastidor_risa5) y extensión DXF (*.dxf).

142

Se abre el software RISA DEMO 3D.

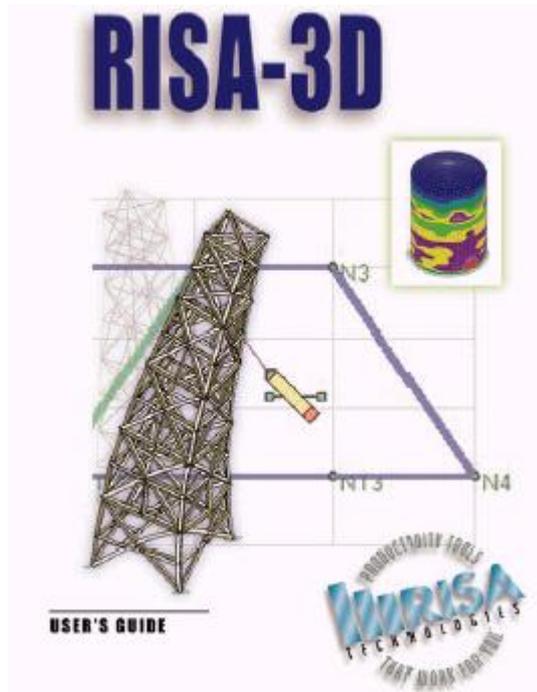


Figura 4.18. Presentación del software RISA 3D DEMO.

En file, se selecciona la opción import y se busca el archivo *.dxf guardado, se determina las unidades (en este caso mm), y se selecciona el eje axial vertical del modelo en Autocad (eje Z).

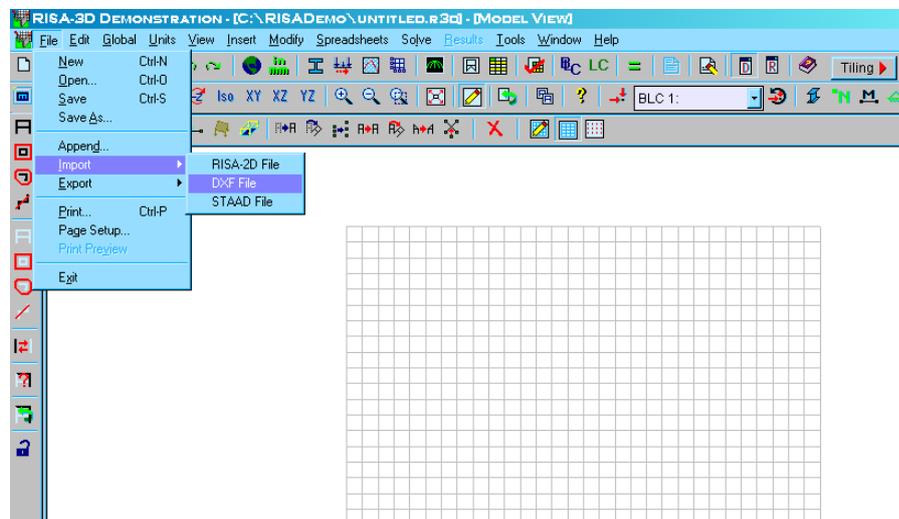


Figura 4.19. Ventana para importar archivo *.dxf.

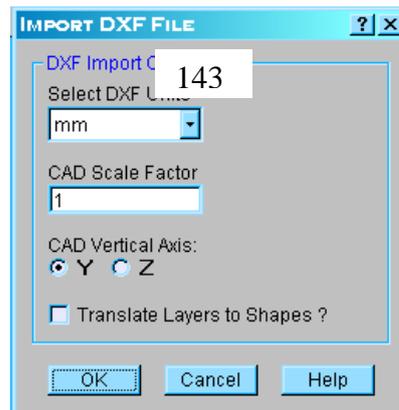


Figura 4.20. Selección de unidades y eje axial vertical.

Al aceptar se despliega la ventana Global Parametres; en la pestaña Description, se ingresa el Model Title (título de modelo), Designer (diseñador) y el Job Number (número de trabajo).

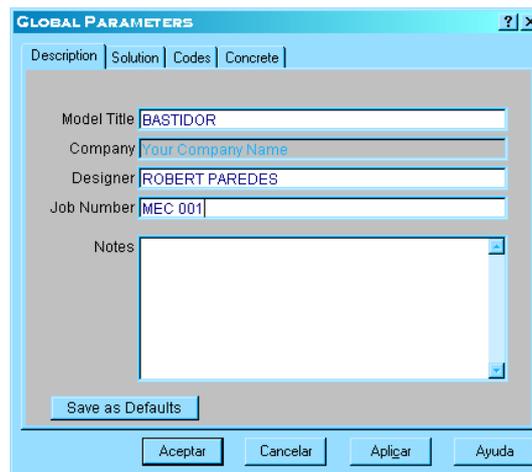


Figura 4.21. Descripción de los parámetro globales.

En la pestaña Codes, de esta misma ventana se escoge el código con el que se va a trabajar; la estructura se elaborará con material laminado en caliente, por lo que en la opción de este tipo de material se escoge el método que se utilizará para el diseño.

El método escogido para el diseño del bastidor es el AISC LRFD 3rd (diseño por factor de resistencia y carga). Además existen de este tipo de diseño existe el AISC ASD 9 th, para diseño con materiales laminados en caliente.

El software además permite realizar diseños en materiales formado en frío, madera, madera con resistencia a temperatura menores a 100 ° F y en concreto.

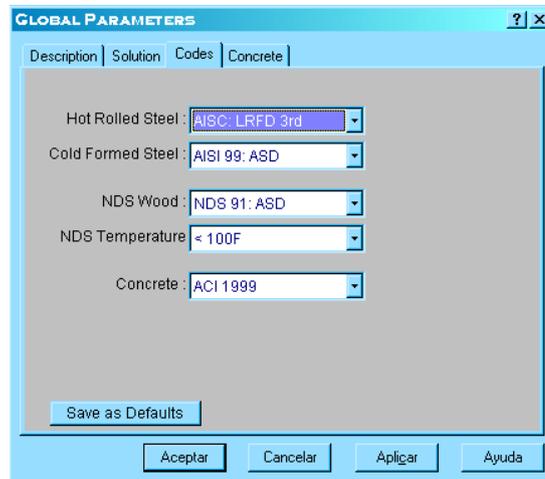


Figura 4.22. Selección de método de diseño que se utilizará.

A continuación se escogerá el perfil con el que se elaborará el bastidor. Se selecciona todos los miembros, (con el clic ), en la barra superior se escoge Modify, opción Members y se selecciona el perfil (en este caso se realizará con un perfil L 2x2x2, en pulgadas). Se aplica y se realiza un click sobre cada miembro y va adoptando el perfil seleccionado; además se lo deberá hacer rotar sobre su eje para que tome la ubicación como va ir ensamblada en la estructura.

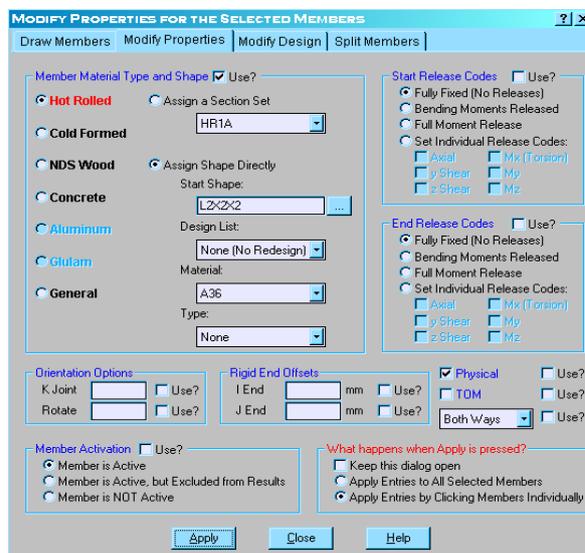


Figura 4.23. Selección de perfil de estructura.

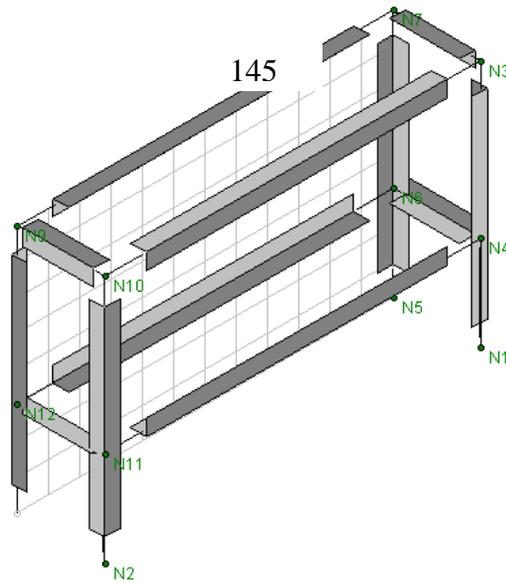


Figura 4.24. estructura con perfil seleccionado y rotado.

Para colocar la malla en el plano de la estructura, en Modify se escoge Grid, en la pestaña Drawing Grid, se debe cambiar las longitudes en los ejes Z y Y ([Z=12@0.1,Y=8@0.1](#)), con el largo y el alto del bastidor.

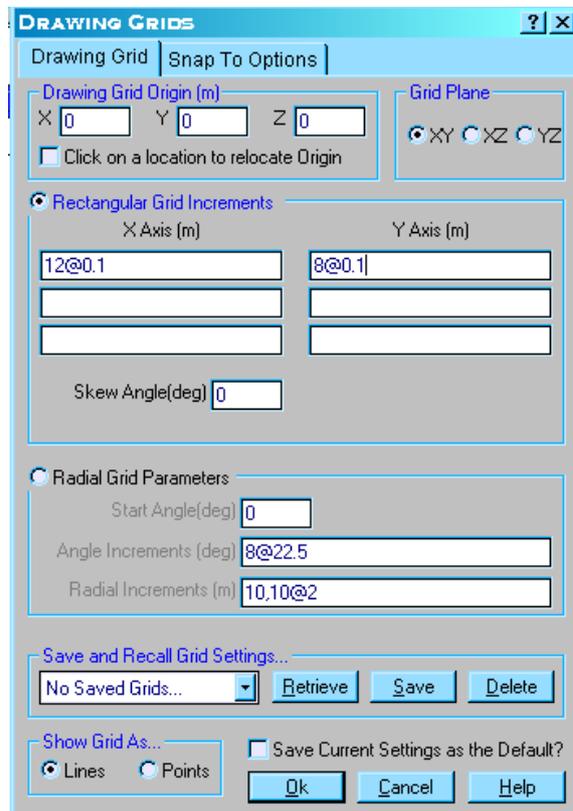


Figura 4.25. Ajuste de malla.

En la barra superior se escoge el icono, con el cual se colocan los apoyos fijos en cada pata del bastidor, ya estar empotrado.

Para colocar las cargas a las que está sometida la estructura, en la barra Data Entry, se selecciona Basic Load Cases, en la pestaña BLC Descripción se crea una celda para cargas muertas y otra para cargas vivas, en Category se escoge DL (Dead) y LL (Live) para el respectivo tipo de carga y en se debe colocar -1 , para que realice el calculo.

	BLC Description	Category	X Gravity	Y Gravity	Z Gravity	Joint	Point	Distrib...	Area (...)	Surfac...
1	Muerta	DL		-1						
2	Vivas	LL								
3		None								
4		None								
5		None								
6		None								
7		None								
8		None								
9		None								
10		None								
11		None								
12		None								
13		None								
14		None								
15		None								
16		None								
17		None								
18		None								
19		None								
20		None								
21		None								

Figura 4.26. Especificación de tipos de cargas.

Las cargas muertas que existe en el bastidor será el peso de la inyectora que siempre estará presente (150 lb) y actuará como una carga distribuida en cada miembro. Existen tres miembros de 280 mm y dos de 1200 mm de longitud por lo que la carga serán las siguientes:

$$F = 150 \text{ lb} = 0.668 \text{ KN}$$

$$L1 = 1.2 \text{ m}$$

$$L2 = 0.28 \text{ m}$$

$$q1 = \frac{F}{L1} = \frac{0.668}{1.2} = 0.556 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Ecuación 4.4

$$q1 = \frac{F}{L2} = \frac{0.668}{0.8} = 2.38 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

En la barra superior aparecen el tipo de cargas, se despliega una ventana y se escoge cargas muertas, se pulsa el comando dibujar  gas (). Se abre la ventana Apply Member ¹⁴⁷ Distributed Load, se determina la dirección de la carga y su valor en cada uno de los miembros

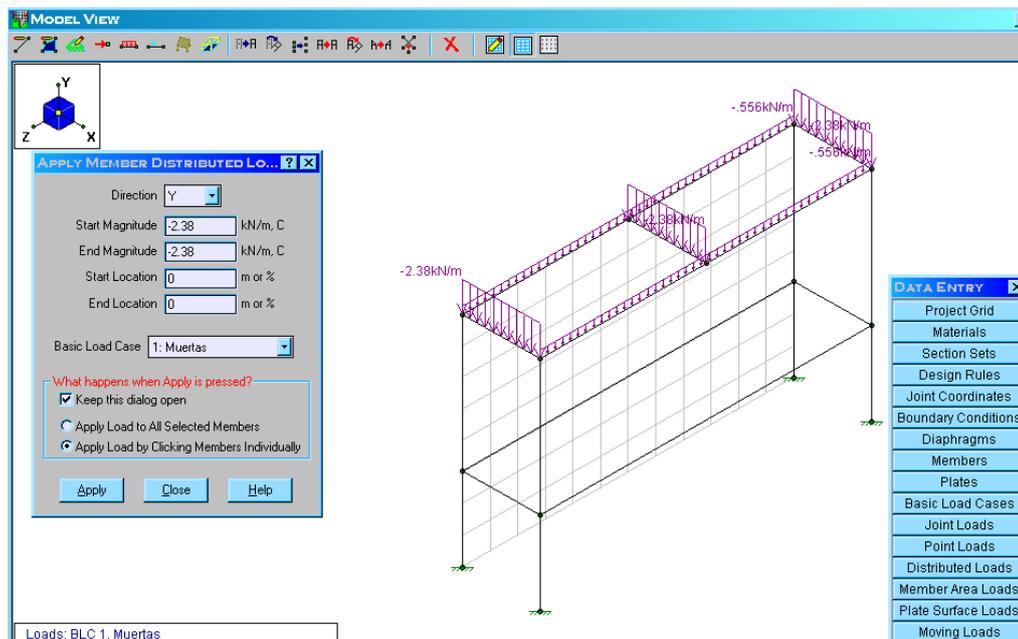


Figura 4.27. Ingreso de carga distribuida.

Las cargas vivas serán las fuerzas en el eje Y, que se generan en el bastidor debido a la fuerza de 196 N de la palanca del sistema de accionamiento. Esta fuerza será la mitad de la fuerza de accionamiento y en sentido contrario. Además debido a estas fuerzas se generarán momentos respecto al eje x, los que se obtendrá multiplicando el valor de cada fuerza por el largo de la palanca (338 mm).

Ecuación 4.5

$$F_R = F1 + F2$$

$$F_R = 0.196 \text{ KN.}$$

$$F1 = F2$$

$$F1 = \frac{F_R}{2} = \frac{0.196}{2} = 0.098 \text{ KN.}$$

$$M1 = M2$$

$$M1 = F1 \times L_p$$

$$M1 = 0.098 * 0.338$$

$$M1 = 0.0331 \text{ KN} - m$$

Ecuación 4.6

Estas fuerzas y momentos, estarán ubicados a 30 cm del extremo del bastidor (25 % de longitud total), $d = 148$ que en este punto se asentará la base de la palanca.

Por la ventaja mecánica del sistema de accionamiento, se alcanza una fuerza de 1205 N, para empujar el material plástico al interior del cilindro plastificador. Esta fuerza que se encuentra en el eje Z de nuestro sistema, se traslada al extremo del bastidor en dos fuerzas iguales en cada vértice de la estructura ($F3 = F4 = 1205 \text{ N} / 2$).

En la barra superior se despliega la ventana y se escoge cargas vivas. Para colocar estas carga se pulsa el  cuando aparece la ventana Point Loads for Members Selected (Cargas puntuales para miembros seleccionados), Se escoge el tipo de carga, en que eje está actuando (fuerza o momento) y se ingresa el valor de cada una.

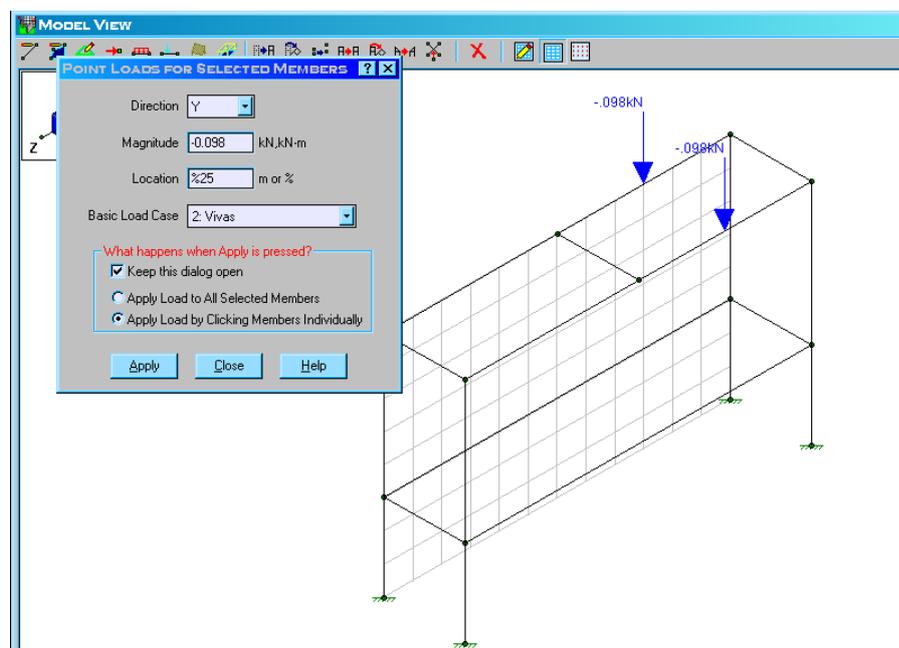


Figura 4.28. Cargas vivas.

Las fuerzas en el eje Z van a actuar en las juntas, por lo que se les aplicará pulsando  comando 149, se despliega la ventana Loads/Deflectios/Masses for Join (cargas, deflexiones, masas para juntas), en ella se ingresa el tipo de carga, el sentido y su magnitud.

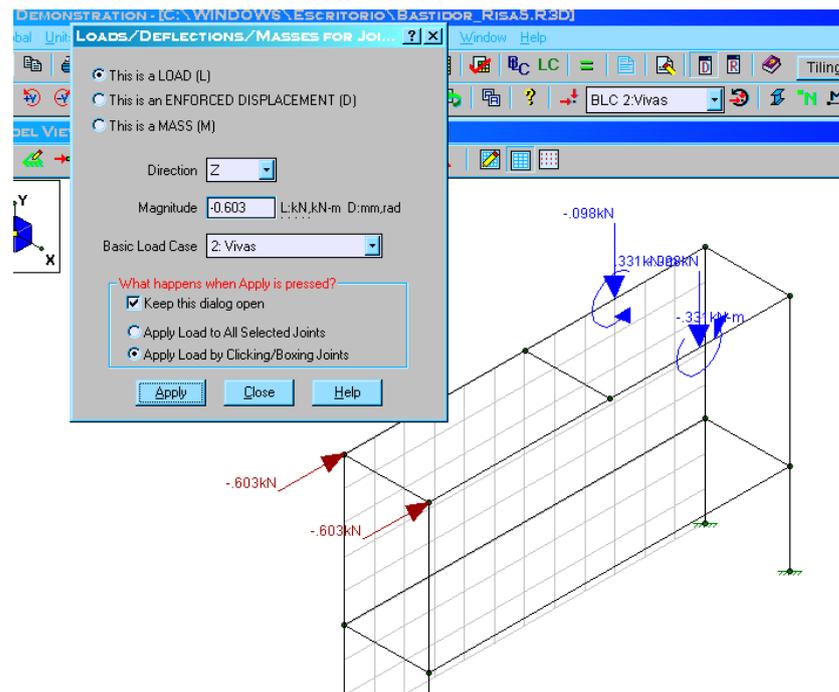


Figura 4.29. Cargas vivas en juntas.

Una vez aplicadas las cargas se procede a resolver, para lo cual en la barra Data Entry se selecciona el comando Load Combination (combinación de cargas). En la ventana que se despliega, se despliega la opción ASCE 1998, con la cual se cargan la combinación de cargas del

código LRFD, en las celdas de PDelta se coloca yes (Y) en todas para que realice el cálculo.

	Description	Sol...	PD...	SR...	BLC	Factor	BLC	Factor	BLC	Factor	BLC	Factor
1	ASCE 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.4						
2	ASCE 2 (a)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	LL	1.6	LLS	1.6	RLL	.5
3	ASCE 2 (b)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	LL	1.6	LLS	1.6	SL	.5
4	ASCE 2 (c)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	LL	1.6	LLS	1.6	RL	.5
5	ASCE 3 (a)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	RLL	1.6	LL	.5	LLS	1
6	ASCE 3 (b)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	RLL	1.6	WL	.8		
7	ASCE 3 (c)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	RLL	1.6	WL	-8		
8	ASCE 3 (d)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	SL	1.6	LL	.5	LLS	1
9	ASCE 3 (e)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	SL	1.6	WL	.8		
10	ASCE 3 (f)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	SL	1.6	WL	-8		
11	ASCE 3 (g)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	RL	1.6	LL	.5	LLS	1
12	ASCE 3 (h)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	RL	1.6	WL	.8		
13	ASCE 3 (i)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	RL	1.6	WL	-8		
14	ASCE 4 (a)	<input checked="" type="checkbox"/>	Y		DL	1.2	WL	1.6	LL	.5	LLS	1

Figura 4.30. Combinación de Cargas
 Luego pulsamos el comando igual  , se despliega la ventana Solution Choises, en la cual se escoge la solución ASCE 2 (a), ya que está permite una mayor combinación de cargas, luego de esto se pulsa resolver.

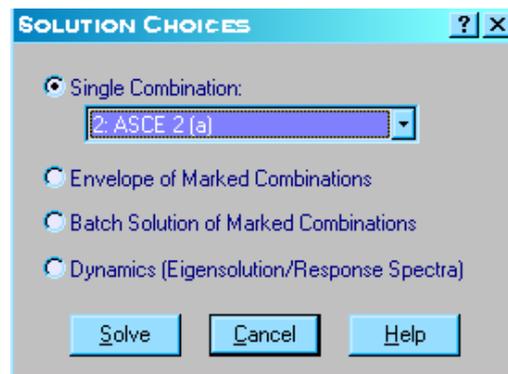
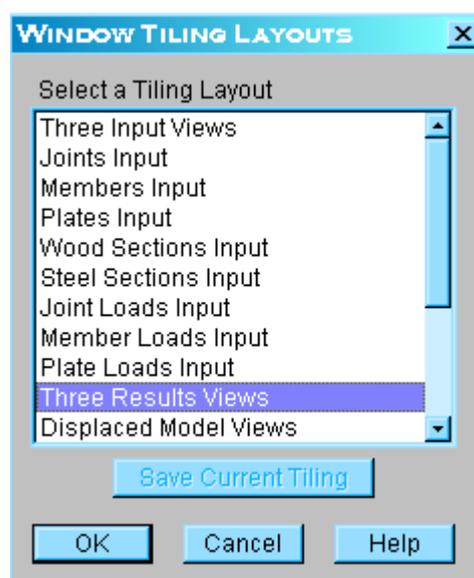


Figura 4.31. Tipo de solución.

Posteriormente se pulsa el comando Tiling ), con el cual se despliega la ventana Window Tiling Layouts, la cual permite observar los resultados de diferentes de formas. Se escoge la forma de presentación



Three Results View, con la se observa la solución en tres vistas.

Figura 4.32. Selección de vistas de solución.

Aparece el bastidor, todos sus miembros tienen color azul.

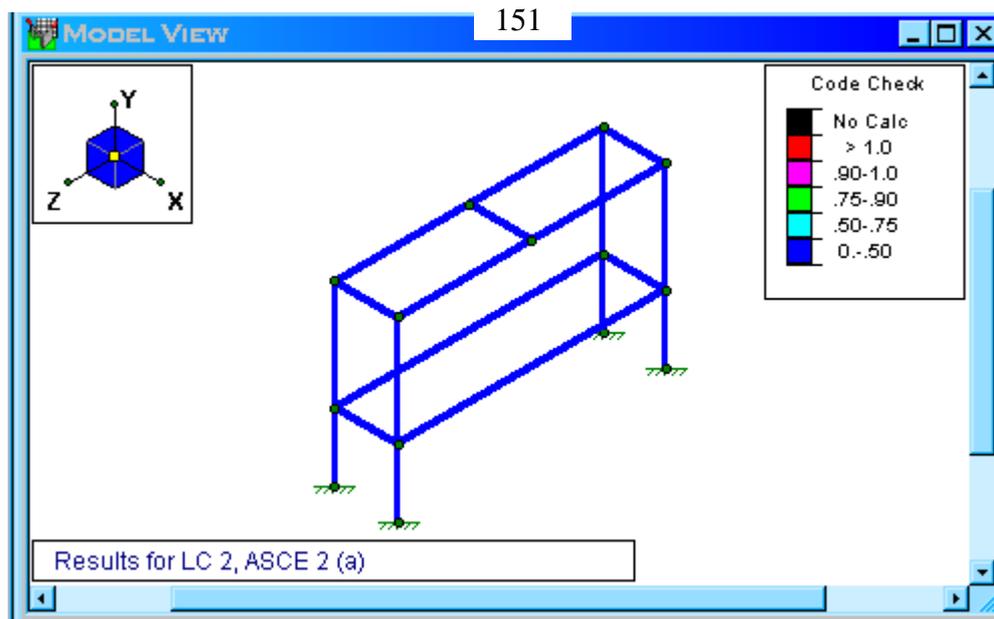


Figura 4.33. Vista de solución.

De acuerdo al código de colores, este programa indica si el diseño es el adecuado o no.

El color negro, indica que no se pudo calcular el diseño. El color rojo indica que el factor de seguridad es mayor a 1, por lo que el diseño es crítico y se debe mejorar. El color violeta indica un factor de seguridad de 1.0 a 0.9, el diseño es aceptable, se puede mejorar. El color verde y turquesa, indica un factor de seguridad de 0.9 a 0.75 y de 0.75 a 0.5, el diseño es el óptimo. El color azul indica un factor de seguridad de 0.5 a 0, el diseño está sobredimensionado.

Code Check	
■	No Calc
■	> 1.0
■	.90-1.0
■	.75-.90
■	.50-.75
■	0.-.50

Figura 4.34. Código de chequeo del diseño.

El diseño de nuestro bastidor esta sobredimensionado. Pese a no ser el ideal se lo aceptará, con el fin de que soporte si se adicionan nuevas cargas en el futuro, como nuevos sistemas de refrigeración de la inyectora, o un sistema de expulsión de las probetas.

152

Al ser doble click sobre cualquier miembro de la estructura se despliega una ventana, con las gráficas de momento flector del miembro, fuerza cortante y deflexión de el miembro escogido.

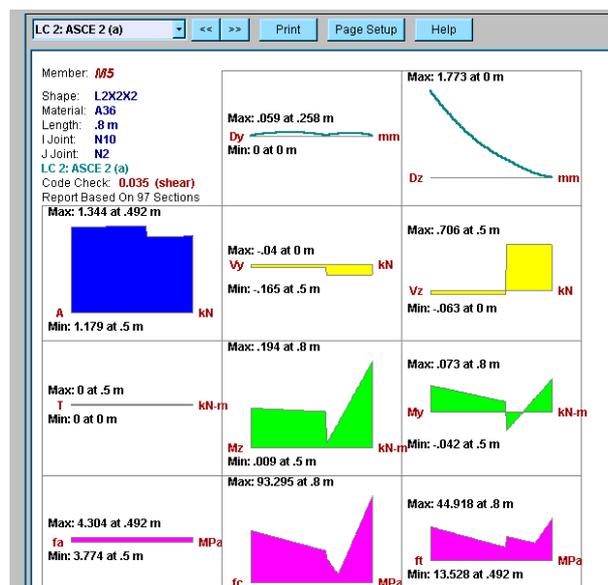


Figura 4.35. Gráficas de momento flector del miembro, fuerza cortante y deflexión de el miembro.

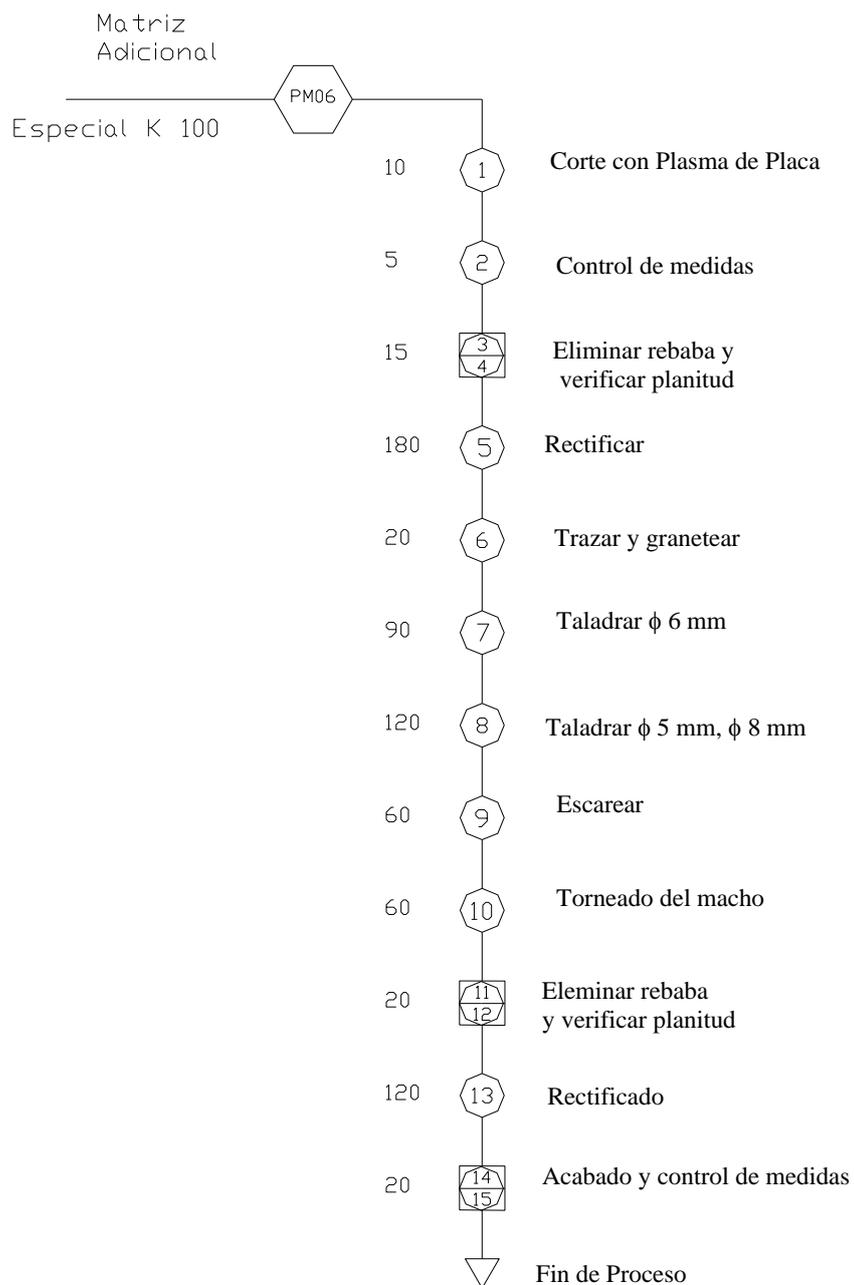
En el caso que la estructura tenga que ser mejorada, el perfil debe ser cambiado, incluso el programa sugiere el perfil a emplear (utilizando el comando Suggested shappes). Una vez modificado se resuelve nuevamente y se observa en que color del código de chequeo se encuentra el nuevo diseño.

4.3.2. CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS ELEMENTOS.

153

4.3.2.1 Análisis de Procesos.

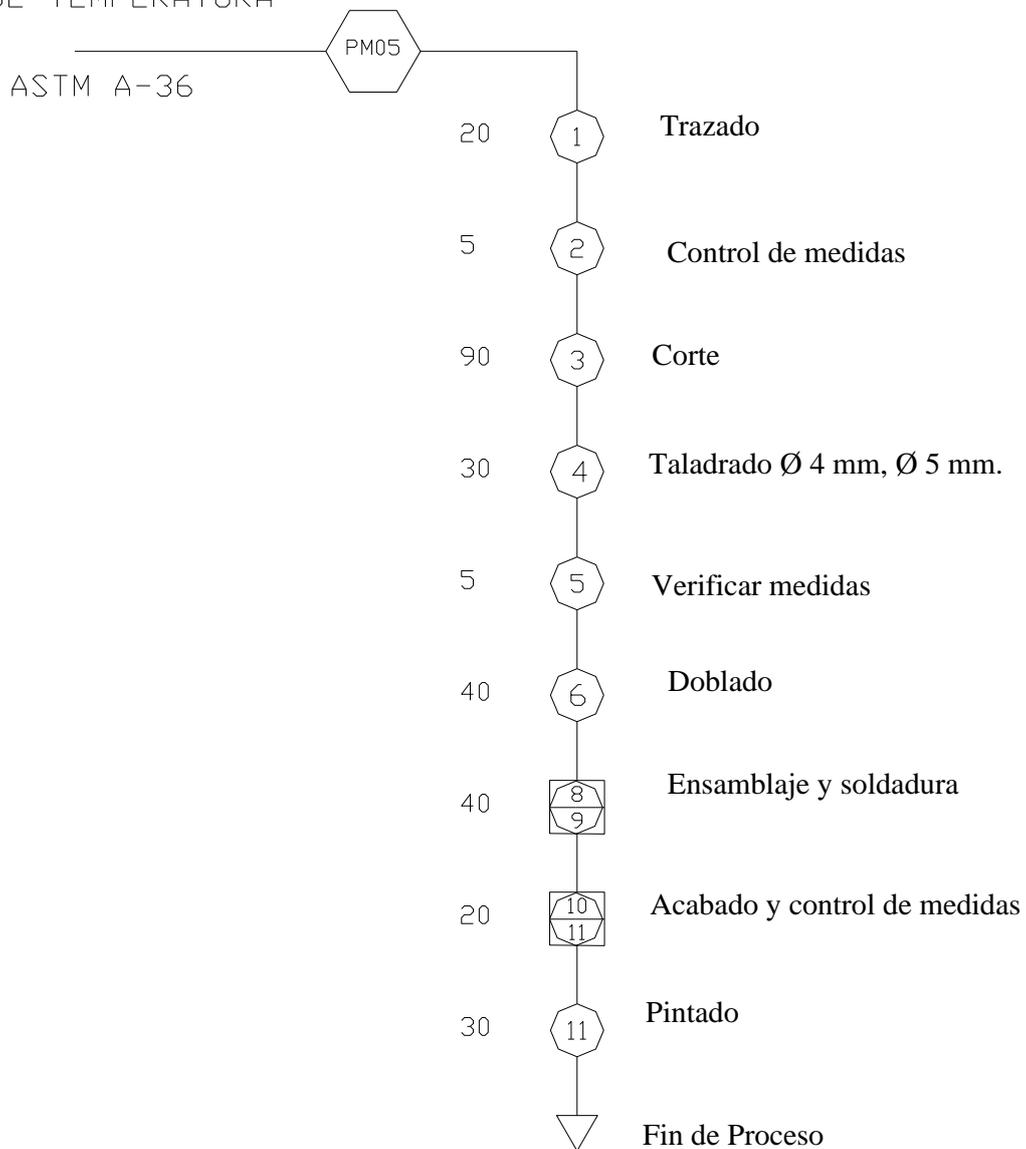
Matriz adicional.



Protección del sistema de control de temperatura.

154

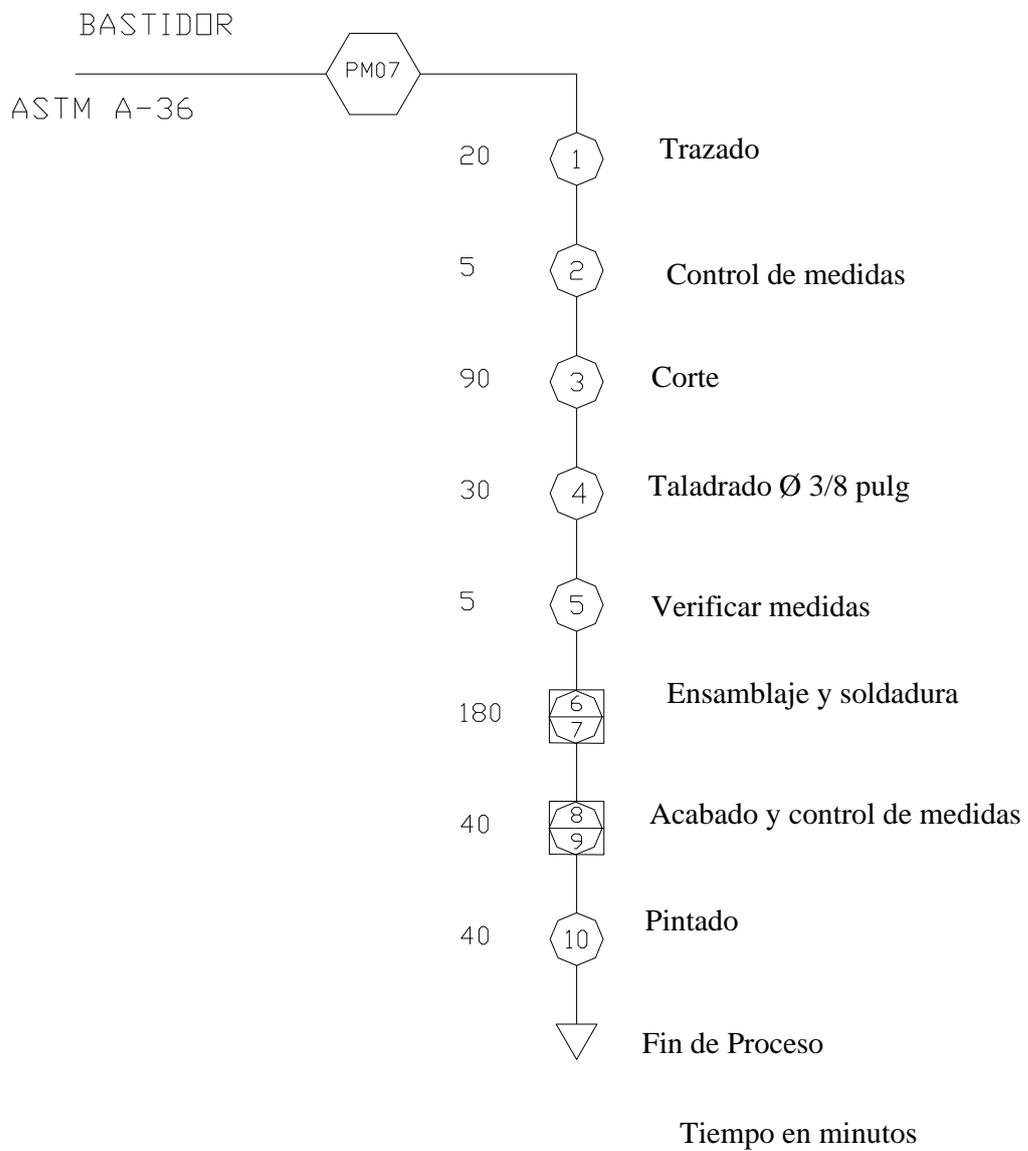
PROTECCIÓN DEL
SISTEMA DE CONTROL
DE TEMPERATURA



Tiempo en minutos

Bastidor.

155



4.3.2.2. Proceso de Construcción.

Matriz de Proceso.

N°	Descripción	Cantidad	Procesos					
			Corte	Doblado	Torneado	Taladrado	Rectificado	Pintado
1	Matriz Auxiliar	1	X (Plasma)		X	X	X	
2	Protección Sist Cont Temp.	1	X	X		X		X
3	Bastidor	1	X			X		X

Matriz de Tiempos de Proceso.

N°	Descripción	Cantidad	Procesos					
			Corte	Doblado	Torneado	Taladrado	Rectificado	Pintado
			(mm)	(mm)	(h)	(h)	(h)	(m2)
1	Matriz Auxiliar	1	500		1	4.5	5	
2	Protección Sist Cont Temp.	1	4200	3700		0.5		0.3
3	Bastidor	1	3300			0.5		0.5

Costos de Procesos.

	V.Unit	Subtotal
Costos de los Procesos	USD	USD
Costo por metro de corte con plasma	4.25	2.13
Costo por metro de corte con sierra	0.50	3.75
Costo por metro de doblado	0.50	1.85
Costo por hora de torneado	5.00	75.00
Costo por hora de taladrado	3.00	16.50
Costo hora de rectificado	8.00	40.00
Costo por metro cuadrado de pintura	5.00	4.00
	Total	143.23

Costos de Materiales.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Sub Total
		USD	USD
Acero A-36	25 Kg	1.00	25
Especial K 100	1 Kg	2.5	2.5
Angulo 50 x 50	30 Kg	1.25	37.5
Platina A-36 1/4"	0.25 Kg	1	0.25
Controladores	3	60	180
Contactores	3	7	21
Cable Alta Temp	2 m	4	8
Cable T/C tipo J	2 m	2.54	5.08
Mislaneos			15
		Total	294.33

Costo Total.

	Descripción	Sub Total
N°		USD
1	Procesos	143.23
2	Materiales	294.33
	Total	437.56

CAPITULO 5

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1. PLANIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

5.1.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CORTADORA.

5.1.1.1. Pruebas Constructivas.

El objetivo de estas pruebas, es comprobar que la construcción este acorde con el diseño y planos constructivos.

Durante el proceso de manufactura de los diversos elementos mecánicos que fueron elaborados, para la modificación de la cortadora, se fue comprobando sus medidas (largo, alto, espesor, inclinaciones) y geometría, para posteriormente proceder a su ensamble.

En el montaje de los elementos no se encontró ningún problema, pues todos los elementos se ensamblaron de forma correcta, con lo cual aseguran su correcto funcionamiento.

5.1.1.2. Pruebas Operacionales.

Estas pruebas están enfocadas en encontrar la calibración ideal de las cuchillas. Esta calibración se basa en la separación entre la cuchilla fija y las móviles.

La separación establecida entre cuchillas es de 0.15 mm, que es la mitad del espesor promedio de las láminas de termoplástico (0.30 mm). Para establecer con exactitud esta distancia de separación, en primer lugar se colocó la cuchilla fija en la posición que permanecerá durante el corte; luego se montó las cuchillas móviles.

Para lograr la separación se utilizó tipo lámina, a las cuales se las colocó en cada extremo de las cuchillas para alcanzar la distancia. Se emplearon tres galgas, de 0.20 mm, 0.15 mm y de 0.10 mm; la galga de 0.20 mm ingresó ajustada, la galga de 0.10 mm lo hizo con entera libertad; con lo que se aseguró que la separación sea de 0.15 mm

Después de la calibración se ajustó las cuchillas fijas y la móvil; se colocó pega para rosca para asegurar que las cuchillas permanezcan totalmente fijas.

5.1.1.3. Resultado y análisis de pruebas.

Para realizar las pruebas de funcionamiento se cortó las bocas y los fondos de botellas plásticas de PET, obteniendo una lámina de este material; a esta lámina se la cortó en tiras de 15 mm de ancho.

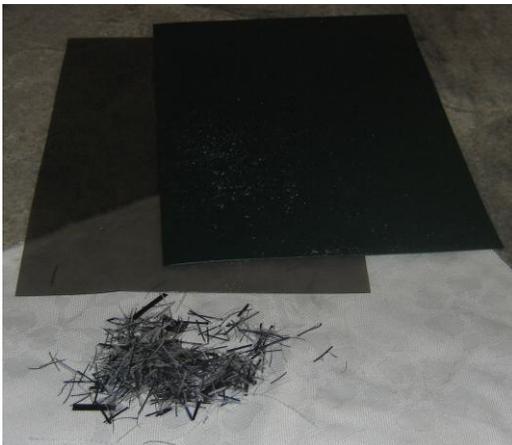
Estas tiras ingresaron por la ranura del sistema de alimentación lentamente, y fueron cortadas en forma de cabellos, con lo que se pudo comprobar que la máquina realiza el corte de manera óptima. El plástico cortado se muestra en la figura 5.1.



Figura 5.1. Material termoplástico cortado.

El material termoplástico, que se obtiene de la cortadora tiene el tamaño adecuado para ingresar en la inyectora sin ningún problema, lo cual es uno de los objetivos de la adecuación de la cortadora.

Además se realizó el corte de otros materiales plásticos, como carpetas (polietileno de baja densidad) y galones (polietileno de alta densidad). La máquina realizó el corte sin ningún problema e incluso con mayor rapidez que en el caso del PET (botellas de agua), ya que estos materiales termoplásticos son un poco más rígidos. El material plástico cortado, de carpetas y galones se puede observar en la figura 5.2.



(a)



(b)

Figura 5.2. a) Corte de carpetas plásticas, b) Corte de galones.

Las modificaciones realizadas permitieron cumplir con los objetivos de corte de material termoplástico planteados en este proyecto. El desarrollo de las pruebas constructivas y operacionales fueron la base para la calibración del equipo.

5.1.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA INYECTORA.

5.1.2.1. Pruebas Constructivas.

Durante el proceso de manufactura de la nueva matriz de la inyectora, para obtener probetas alargadas, se fue comprobando sus medidas y geometría, para posteriormente proceder a su ensamble.

Al montar la matriz en el molde hembra de la inyectora, no se encontró ningún problema.

En el sistema de control de temperatura se verificó que las conexiones se encuentren bien realizadas, siguiendo el circuito diseñado, comprobando que los cables estén ajustados y en sus terminales correspondientes. Para comprobar que el circuito este funcionando, se realizó una prueba de continuidad de corriente, para lo cual se empleó un multímetro.

5.1.2.2. Pruebas Operacionales.

La primera prueba de funcionamiento de la inyectora, fue comprobar que el sistema de control este funcionando de manera adecuada y que las resistencias eléctricas estén calentando el cilindro.

Las probetas se realizaron con diferentes mezclas de materiales termoplásticos, las cuales se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Mezclas de termoplásticos utilizadas en elaboración de probetas.

	<i>Solo PET</i>		<i>Mezcla 1</i>		<i>Mezcla 2</i>		<i>Mezcla 3</i>	
	<i>(g)</i>	<i>%</i>	<i>(g)</i>	<i>%</i>	<i>(g)</i>	<i>%</i>	<i>(g)</i>	<i>%</i>
HDPE	0	0	118	59	90	30	126	42
LDPE	0	0	74	25	60	20	90	30
EPS	0	0	20	6.5	45	15	30	10
PP	0	0	21	7	45	15	30	10
PET	300	100	7.5	2.5	30	10	12	4
TCT	0	0	0	0	30	10	12	4
Total	300	100	300	100	300	100	300	100

Nota.- HDPE: Polietileno de alta densidad.

LDPE: Polietileno de baja densidad.

EPS: Poliestireno expandido.

PP: Polipropileno.

PET: Polietileno Teraftalato.

TCT: Material de Tarjetas de Cabinas Telefónicas.

Para comprobar las temperaturas de trabajo de lo termoplásticos que se encuentran en tablas, utilizando una cocineta eléctrica se fundió el material sobre una placa metálica y se midieron los rangos de temperatura de fundición por medio de una termocupla.

Mediante las pruebas de funcionamiento de la inyectora se obtuvieron las temperaturas medidas en la prueba de la cocineta eléctrica, con las cuales se obtiene material fundido, en estado líquido, y sin que el material se degrade.

Las temperaturas ideales establecidas por estas pruebas se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Temperatura determinadas para cada mezcla.

	Resistencias		
	1	2	3
	°C	°C	°C
Solo PET	210	160	220
Mezcla 1	230	240	260
Mezcla 2	230	240	260
Mezcla 3	230	240	260

En primer lugar se alimenta la máquina con la mezcla, hasta que el cilindro plastificador este completamente lleno del material, esto es alimentando con 60g de la mezcla.

Las probetas de compresión se elaboran colocando una placa de aluminio, entre el molde macho y el molde hembra, la que es sujeta mediante la presión que genera el gato hidráulico. Esta placa posee una pequeña ranura en la parte superior, por donde fuga el material, indicando que la cavidad del molde hembra esta llena en su totalidad, por lo que debe terminar el proceso de inyección.

Para retirar la probeta con facilidad, se coloca grasa resistente a altas temperaturas en la cavidad, además se utiliza alambre en forma de la cavidad, el cual queda en el interior de la probeta.

La tercera resistencia es apagada para que el molde hembra se enfríe; cuando alcance una temperatura de 120 °C, se descarga el gato hidráulico y se retira el molde macho y la placa de aluminio. Empleando pinzas se hala de los alambres colocados, con lo cual sale la probeta de la cavidad del molde hembra.

Se elaboraron tres probetas de compresión por cada mezcla. Algunas de estas probetas se las muestra en la figura 5.3.



Figura 5.3. Probetas de compresión.

Para la elaboración de las probetas de tracción (probetas alargadas), se empleo dos resistencias adicionales, de 250 W de potencia. Se las colocó en las dos caras de la matriz se puede observar en la figura 5.4.



Figura 5.4. Matriz adicional con resistencias eléctricas.

Fue necesario utilizar las resistencias, debido a que la matriz no alcanzaba suficiente temperatura, por esto el material se solidificaba antes de llenar completamente la cavidad de la matriz.

Para medir la temperatura a la que se encuentra la matriz, se empleó una termocupla que sensa la temperatura. El cable de la termocupla se colocó entre las dos placas que forman la matriz; esto lo podemos observar en la figura 5.5.



Figura 5.5. Medición de temperatura en matriz adicional.

El rango de temperaturas, a las cuales se mantuvo la matriz al inyectar las diferentes mezclas se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Temperaturas de la matriz adicional.

	<i>Temperatura</i>
	°C
<i>Solo PET</i>	130 - 150
<i>Mezcla 1</i>	190 - 205
<i>Mezcla 2</i>	170 - 185
<i>Mezcla 3</i>	171 - 185

El control de estas temperaturas se realizó de forma manual, es decir se desconectaba las resistencias cuando ingresaba la temperatura al rango establecido, y se las conectaba cuando disminuía de este rango.

A la matriz adicional se la aseguró mediante la fuerza que genera el gato hidráulico.

La inyección de material se la debe hacer hasta que aparezcan pequeñas fugas de material en la parte inferior de la matriz, con lo cual se asegura que la matriz este totalmente llena.

Una vez llena la matriz se retira. Antes de abrirla se debe esperar que se enfríe en el ambiente hasta 60 °C, luego de lo cual se aflojan los pernos y se extrae la probeta.

En la cavidad de la matriz se coloca grasa, con el fin que a la probeta se la pueda extraer fácilmente.

Se elaboraron seis probetas de cada mezcla; algunas de las probetas se las puede observar en la figura 5.6.



Figura 5.6. Probetas para tracción (probetas alargadas).

5.1.2.3. Resultado y análisis de pruebas.

Las probetas de compresión y para tracción obtenidas, tienen la forma cilíndrica; sus dimensiones promedio, tanto de diámetro (ϕ), altura (H) y peso (P) se presentan en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Dimensiones de probetas.

	<i>Dimensiones</i>		
	ϕ	<i>H</i>	<i>P</i>
<i>Probeta</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>g</i>
Compresión	28	13	15
Tracción	8	180	9

Para determinar los porcentajes de las mezclas de los termoplásticos utilizados en la elaboración de las probetas, fue necesario conocer las propiedades de los plásticos, con el fin de combinarlas.

Las propiedades de los termoplásticos se presentan en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Propiedades de termoplásticos.

N°	DESCRIPCIÓN	Re	Rm	A
		(Kg/cm²)	(Kg/cm²)	(%)
1	HDPE	144.4	364.5	909.8
2	LDPE	151.8	256.7	560.3
3	EPS	12.7	15	5.8
4	PP	462.4	790.6	57.5
5	PET	851.88	1323.78	67.04
6	TCT		455.9	1.1

Nota: Re, Resistencia a la fluencia.

Rm, Resistencia última.

A, Elongación.

Según la mezcla realizada, las probetas obtuvieron diferentes cualidades como: color, ductilidad, estructura interna, acabado superficial.

Color: De acuerdo al porcentaje de cada termoplástico presente en la mezcla, las probetas adoptan diferentes colores.

Ductilidad: Capacidad de la probeta de termoplástico para soportar carga de tensión antes de la ruptura.

Estructura Interna: Disposición de celdas en el interior de la probeta.

Acabado Superficial: Rugosidad en la superficie de la probeta.

Tabla 5.6. Propiedades observadas en probetas.

	Propiedades			
	Color	Ductilidad	Estructura Interna	Acabado Superficial
Solo PET	Celeste	Baja	Porosa	Excelente
Mezcla 1	Gris azulado	Alta	Compacta	Buena
Mezcla 2	Gris	Media	Compacta	Regular
Mezcla 3	Gris oscuro	Media	Compacta	Regular

A analizar las probetas elaboradas con las diferentes mezclas, las observaciones encontradas son las siguientes:

- ❖ Las probetas conformadas únicamente con PET son muy frágiles y presentan porosidades en su estructura interna.

- ❖ Con la mezcla 1, se obtienen probetas de excelente calidad, con gran ductilidad, ya que sus componentes principales son el HDPE (polietileno de alta densidad) y LDPE (polietileno de baja densidad), los cuales son muy dúctiles y contribuyen con esta propiedad a la mezcla.

- ❖ Con las mezclas 2 y 3, se obtienen probetas de calidad menor a las obtenidas con la mezcla 1. Pese a que esta mezclas contienen alto porcentaje de HDPE y LDPE, los cuales son materiales dúctiles, poseen porcentajes mayores de PP (polipropileno), EPS (poliestireno expandido), PET (Polietileno Teraftalato),TCT (Material de Tarjetas de Cabinas Telefónicas) que en la mezcla 1, con lo cual las probetas disminuyen esta propiedad, debido a que estos materiales son menos dúctiles.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.

6.1.1. COSTOS DIRECTOS.

6.1.1.1. Costos de Adecuación de la Cortadora.

6.1.1.1.1. Costos de Maquinado.

	V.Unit	Subtotal
Costos de los Procesos	USD	USD
Costo por metro de corte con plasma	4.25	3.13

Costo por metro de corte con sierra	0.50	1.26
Costo por metro de doblado	0.50	1.44
Costo por hora de torneado	5.00	75.00
Costo por hora de taladrado	3.00	7.50
Costo hora de rectificad	8.00	80.00
Costo hora de tratamiento térmico	8.00	32.00
Costo por metro cuadrado de pintura	5.00	0.92
Total 1		201.24

6.1.1.1.2. Costo de Materiales.

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Sub Total
			USD	USD
1	Acero A-36 (lámina e= 2 mm)	25 Kg	1.00	25
2	Platina Acero AISI 01 1/4" x 3 mm	10 Kg	2.5	25
3	Bisagras ϕ 3 mm	2	0.3	0.6
4	Platina A-36 1/4" x 3mm	2 Kg	1	2
			Total 2	52.6

6.1.1.2. Costos de Adecuación de la Inyectora.

6.1.1.2.1. Costo de Maquinado.

	V.Unit	Subtotal
Costos de los Procesos	USD	USD
Costo por metro de corte con plasma	4.25	2.13
Costo por metro de corte con sierra	0.50	3.75
Costo por metro de doblado	0.50	1.85
Costo por hora de torneado	5.00	75.00
Costo por hora de taladrado	3.00	16.50
Costo hora de rectificado	8.00	40.00
Costo por metro cuadrado de pintura	5.00	4.00
	Total 3	143.23

6.1.1.2.2. Costo de Materiales.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Sub Total
		USD	USD
Acero A-36 (lámina e=2 mm)	25 Kg	1.00	25
Especial K 100	1 Kg	2.5	2.5
Angulo 50 x 50 x 3	30 Kg	1.25	37.5
Platina A-36 1/4" x 3 mm	0.25 Kg	1	0.25
Controladores digitales	3	60	180
Contactores	3	7	21
Cable Alta Temp	2 m	4	8
Cable T/C tipo J	2 m	2.54	5.08
		Total 4	279.33

6.1.1.3. Honorarios Profesionales.

Nombre	Cargo	Horas-H	USD	USD
			Valor H-H	Total
Sr. Robert Paredes	Responsable del Proyecto	600	3	1800
			SUB TOTAL 5	1800

6.1.2. COSTOS INDIRECTOS (MISCELANEOS).

Artículo	Sub Total (USD)
Material Oficina	200
Transportación	120
Subsistencias	150
Gastos Extras	50
TOTAL 6	520

6.1.3. COSTO TOTAL.

Costo Total = costo (1) + costo (2) + costo (3) + costo (4) + costo (5) + costo (6)

Costo Total = **2996.4 USD.**

6.2. ANÁLISIS FINANCIERO.

6.2.1. Cuadro de Resumen de Financiamiento.

	USD	USD		
RUBROS	PRESUPUESTO	RECURSOS PROPIOS	%	FINANCIAMIENTO
INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN				
Máquinas y Materiales	676.4	676.4	57	Proyecto de investigación "Viabilidad técnica, ambiental y económica para la producción de madera plástica en el distrito metropolitano de Quito"
Misceláneos	520	520	43	Estudiante
SUBTOTAL 1	1196.4	1196.4	100	
COSTOS DIRECTOS				
Honorarios Profesionales	1800	1800	100	Estudiante
SUBTOTAL 2	1800	1800	100	
TOTAL GENERAL	2996.4	2996.4		

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.

1. Las adecuaciones realizadas en la cortadora de termoplástico y en la inyectora de plástico, permiten realizar el corte de material termoplástico reciclado y su posterior inyección, para obtener probetas de mezclas de materiales termoplásticos.

2. **La cortadora de termoplástico funciona correctamente con una separación entre su cuchilla fija y las cuchillas móviles de 0.15 mm.**
3. **El nuevo sistema eléctrico de control de temperatura instalado en la inyectora, permite trabajar con cualquier tipo de termoplástico, previo el análisis de sus propiedades.**
4. **Las temperaturas de las resistencias de la inyectora son de 230 °C en la primera, 240 °C en la segunda y 260 °C en la tercera, para conseguir probetas de buena calidad con las mezclas empleadas.**
5. **Fue necesario utilizar dos resistencias auxiliares, adheridas a la matriz adicional, con el fin que el material termoplástico no se solidifique hasta llenar completamente esta matriz, consiguiendo probetas para tracción de excelente calidad.**
6. **Se reutilizó gran variedad de material termoplástico como, PET (Polietileno teraftalato), PP (polipropileno), EPS (poliestireno expandido), HDPE (polietileno de alta densidad), LDPE (polietileno de baja densidad), los cuales se obtuvieron de material plástico reciclado.**
7. **Las máquinas adecuadas, luego de las pruebas realizadas, cumplen con todas las expectativas creadas al inicio del proyecto.**

7.2. RECOMENDACIONES.

1. **Previo a la reutilización de termoplásticos es necesario identificarlos y clasificarlos correctamente, con el fin de conocer sus propiedades físicas y mecánicas.**
2. **Es necesario inyectar de 60 a 70 gramos de otro polímero o mezcla de termoplástico que se desee ingresar, con el fin de evacuar el material anterior presente en el cilindro inyector.**
3. **Controlar de forma permanente la temperatura en la matriz adicional para prevenir la degradación del material.**

4. Emplear grasa resistente a altas temperaturas, en las cavidades de la matriz hembra y de la matriz adicional, para facilitar la extracción de las probetas.
5. Operar la inyectora por lo menos entre dos personas, con lo cual se evitará accidentes y el proceso se realizará de manera más ágil.
6. El uso de la inyectora se debe hacer en lugares con ventilación para evitar inhalar los gases emanados al fundirse el termoplástico, los mismos que pueden provocar dolor de cabeza, ardencia en garganta y en ojos.
7. La FIME debe colaborar e incentivar a sus estudiantes con el fin de enfrentar el reto de diseñar, construir y crear máquinas, ya que de este modo se estará aportando al desarrollo del país.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

SCHEIRS. J. Polymer Recycling. 1ª ed. Australia, John Wiley & Sons, 1998. pp 119 – 379.

KALPAKJIAN. S Y SCHMID. S. Manufactura, ingeniería y tecnología. Traducido del inglés por Gabriel Sánchez. 4ta ed. Rose Kernan, 2001. pp 480 – 489.

GROOVER. M. Fundamentos de manufactura moderna. Traducido del inglés por Carlos de la Peña Gómez. 1ª ed. México, Hispanoamérica, 1997. pp 312 – 327.

SCHEY. J. Procesos de manufactura. Traducido del inglés por Javier León. 1ª ed. México, MacGraw Hill, 2002. pp 97.

AVALLONE. E. y BAUMEISTER. T. Manual del Ingeniero Mecánico. novena edición, Editorial Interamericana de México, México, 1999. pp 38 – 118.

SHIGLEY. J. y MISCHKE. R., “Diseño en Ingeniería Mecánica”, quinta edición, Editorial Interamericana de México, México ,1990. pp 18 – 465.

TESIS

LEMOS. C y MENDEZ. G. Diseño y construcción de un prototipo de inyectora de plástico para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2005.