

DESARROLLO DE UNA PELLETIZADORA EN CALIENTE

JUAN PABLO SALAZAR GONZALEZ

DANIEL URREGO GIL

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

MEDELLIN

2007

DESARROLLO DE UNA PELLETIZADORA EN CALIENTE

JUAN PABLO SALAZAR GONZALEZ

DANIEL URREGO GIL

Trabajo de grado para optar por
el título de Ingeniero Mecánico

IVAN DARIO ARANGO LOPEZ

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLIN

2007

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

A sus familias que los han apoyado durante todo este proceso educativo y nos han brindado su paciencia, amor y dedicación.

Al ingeniero mecánico Iván Darío Arango, en calidad de asesor, por sus aportes y conocimiento en el tema de diseño de máquinas, y su apoyo incondicional en el transcurso del proyecto.

A los profesores que nos encaminaron a iniciar, desarrollar y finalizar este proyecto.

Al personal de los laboratorios de modelos, soldadura y maquinas y herramientas que nos colaboraron en el proceso de construcción.

A todos los amigos más que compañeros que nos han acompañado y aconsejado en los momentos duros y no tan duros.

DEDICATORIA

A nuestros padres, hermanos e hijos que nos apoyaron y acompañaron en este largo proceso.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO TEORICO	13
1.1. RECICLAJE DE PLÁSTICOS	13
1.2. MATERIALES DE EXTRUSIÓN	21
1.2.1. Polietileno, PE.	22
1.2.2. Policloruro de vinilo (PVC).	27
1.2.3. Polipropileno (PP).	28
1.2.4. Poliestireno (PS)	30
1.2.5. Policarbonato (PC).	32
1.3. PELLETIZADO.	34
1.3.1. TIPOS DE PELLETIZADORAS.	36
1.3.2. Otras maquinas similares.	42
2. PROCESO DE DISEÑO	43
2.1. BRIEF	43
2.1.1. Antecedentes	43
2.1.2. Justificación	44
2.1.3. Definición del usuario	44
2.1.4. Objetivo general	44
2.1.5. Objetivos específicos	45
2.2. REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA PDS	46
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL MECANISMO	46
2.4. ANALISIS DE LA FUNCIÓN	48
2.5. FUNCIÓN GENERAL “CAJA NEGRA”	49

2.6.	ESTRUCTURA FUNCIONAL	50
2.7.	MATRIZ MORFOLÓGICA	52
2.8.	PROPUESTAS DE DISEÑO	62
2.8.1.	Propuesta 1.	62
2.8.2.	Propuesta 2.	65
2.8.3.	Propuesta 3	67
2.8.4.	Propuesta 4	69
3.	CALCULOS	80
3.1.	CALCULOS Y RESULTADOS DE VELOCIDAD DE CORTE.	80
3.1.1.	Datos iniciales.	81
3.1.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	81
3.2.	CALCULOS y RESULTADOS DEL TORQUE EN LA FLECHA	83
3.2.1.	Datos de entrada	83
3.2.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	84
3.3.	CALCULOS y RESULTADOS DEL MOTOR	85
3.3.1.	Datos de entrada	85
3.3.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	85
3.4.	CALCULO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR MEDIO DE POLEAS	86
3.4.1.	Datos de entrada	86
3.5.	CALCULOS Y RESULTADOS DE LA FLECHA PEQUEÑA	88
3.5.1.	Datos de entrada	88
3.5.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	88
3.6.	CALCULOS Y RESULTADOS DE LA FLECHA HUECA	89
3.6.1.	Datos de entrada	89
3.6.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	89

3.7.	CÁLCULOS Y RESULTADOS DE SOLDADURA	94
3.7.1.	Datos de entrada	94
3.7.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	94
3.8.	CALCULOS Y RESULTADOS DE LOS TORNILLOS	96
3.8.1.	Datos de entrada	96
3.8.2.	Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados	97
4.	CONSTRUCCION	99
5.	CONCLUSIONES	103
6.	BIBLIOGRAFIA	106
6.1.	CLASICA.	106
6.2.	INTERNET	107
	ANEXO A	109
	ANEXO B	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Vida útil de materiales plásticos.	14
Tabla 2. Clasificación de envases.	21
Tabla 3. Comparación de las propiedades de PEAD virgen contra Reciclado.	23
Tabla 4. Estabilización del HDPE aditivazo.	24
Tabla 5. Estabilización del HDPE.	25
Tabla 6. Comparación de propiedades del PP virgen con el reciclado.	29
Tabla 7. Estabilización del PP.	29
Tabla 8. Comparación de propiedades del PS.	31
Tabla 9. Dimensiones del husillo para PC.	32
Tabla 10. Potencia requerida e acuerdo al diámetro del husillo.	34
Tabla 11. Perfil de temperaturas.	34
Tabla 12. Características del mecanismo.	46
Tabla 13. Portadores para la función controlar.	53
Tabla 14. Portadores para función convertir.	54
Tabla 15. Portadores para la función reducir.	55
Tabla 16. Portadores para la función direccional.	57
Tabla 17. Portadores función formar.	58
Tabla 18. Portadores función cortar - porta cuchillas.	60
Tabla 19. Portadores función cortar – flecha.	61
Tabla 20. Costos materiales a 10/02/2007.	99
Tabla 21. Costo hora maquinado.	100
Tabla 22. Costo Máquina.	100

LISTA DE IMAGENES

	Pág.
Figura 1. Opciones para el manejo integral de residuos plásticos.	15
Figura 2. Diagrama de flujo de la recuperación de plásticos.	17
Figura 3. Husillo de Extrusión.	19
Figura 4. Tolva.	19
Figura 5. Cabezal.	20
Figura 6. Tornillo para extruir PE.	26
Figura 7. Relación de Pasos.	26
Figura 8. Husillo para Extrusión del PVC.	28
Figura 9. Husillo recomendado para la extrusión de PP.	30
Figura 10. Husillo de extrusión para PC.	32
Figura 11. Rendimiento en función de la velocidad del husillo.	33
Figura 12. Pelletizadora de hilos (Conair).	36
Figura 13. Pelletizadora de hilos guiada.	37
Figura 14. Pelletizadora de placa seca.	38
Figura 15. Pelletizadora de aro de agua (Berringer).	39
Figura 16. Pelletizadora bajo agua (Farrel).	40
Figura 17. Pelletizadora de placa caliente (Erema).	41
Figura 18. Extrusora.	49
Figura 19. Esquema función general.	50
Figura 20. Función general.	50
Figura 21. Estructura funcional.	52
Figura 22. Propuesta de diseño 1.	64
Figura 23. Propuesta de diseño 2.	66
Figura 24. Propuesta de diseño 3.	68
Figura 25. Propuesta de diseño 4.	70
Figura 26. Ensamble Pelletizadora.	72
Figura 27. Cabezal, disco divisor y torpedo explosión.	73
Figura 28. Cabezal, disco divisor ensamble.	74
Figura 29. Camiza.	75

Figura 30. Soporte rodamientos.	76
Figura 31. Flecha en explosión.	77
Figura 32. Flecha ensamble	77
Figura 33. Ensamble porta cuchillas.	78
Figura 34. Ensamble pelletizadora con extrusora (Se muestra base motor)	79
Figura 35. Fuerzas en las cuchillas	84
Figura 36. Diagrama de fuerzas aplicadas en la flecha pequeña	88
Figura 37, Distribución de fuerzas en flecha hueca	90
Figura 38, Diagrama de fuerzas en la flecha hueca	90
Figura 39, Diagrama de cargas	91
Figura 40. Distancias necesarias para cálculo de soldadura	95
Figura 41. Distancias necesarias para cálculos de tornillos	97

INTRODUCCION

La sociedad colombiana hoy en día toma más en serio los temas del medio ambiente, desarrollo sostenible y está consciente de su responsabilidad con el planeta. Esto es claramente apreciable en las numerosas campañas de reciclaje iniciadas en diferentes formas en las empresas, oficinas, centros comerciales, centros de educación y en general en todo aquel lugar donde se generan desechos sólidos pero todas tiene en común la separación en canecas de diferentes colores con el fin de identificar mejor el residuo (EIA@,2006).

Los desechos sólidos o lo que comúnmente llamamos basura son materias primas, que una vez que van a los sistemas de disposición final (botaderos, basureros o rellenos sanitarios) se degradarán o no, pero lo que sí es seguro es que no volverán a ser utilizados.

El camino para obtener materias primas, madera, agua, pulpa de papel, petróleo, minerales, entre otros no renovables, para luego hacer productos y botarlos después de usados, conduce en una sola vía: el encarecimiento de las materias primas por su escasez y el aumento de los impactos ambientales derivados de su obtención.

La población crece cada día, pero este crecimiento no es problema, sino su crecimiento asociado a un estilo de vida consumista insaciable que necesita cada vez de mas productos (materia y energía) para satisfacer a individuos que ven su modelo de felicidad en acumular bienes y consumir más servicios (Acoplasticos@, 2006).

El reciclaje busca recuperar materiales ya usados para volverlos a utilizar en la fabricación de nuevos productos y así reducir la demanda de recursos del planeta. Estas iniciativas ambientales con base en una herramienta como lo es el reciclaje tienen una base conceptual fuerte: el planeta tiene recursos limitados y no hay que desperdiciarlos (EIA@,2006).

1. MARCO TEORICO

1.1. RECICLAJE DE PLÁSTICOS

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes; por estas razones desde hace 40 años los materiales plásticos son muy utilizados en el mundo en diferentes aplicaciones, entre las que podemos encontrar: industria manufacturera, construcción, empaquetado, aislamiento térmico, partes de automóviles, entre otros (Rave, 2005-2).

Las empresas manufactureras del sector del plástico en Colombia generan diferentes tipos de productos con características y una vida útil diferente; los tipos de vida útil se resumen en tres clases:

Largo plazo (mayor a 6 años hasta más de 50 años).

Mediano plazo (1 a 6 años).

Corto plazo (15 días a 1 año).

Con el aumento de productos en material plástico también se viene aumentando considerablemente la generación de basura, según un informe publicado por Acoplásticos en la revista guías ambientales publicada el 4 de julio de 2004, oscila entre 0.5 y 0.8 Kg de los cuales el 20 % del volumen y del 5 al 7% del peso corresponde a desechos plásticos (Acoplasticos@, 2006).

Estas condiciones hacen que hoy en día aumenten las estrategias de reciclaje ya que cuando el producto plástico cumple su ciclo de vida básico se vuelve un problema ya que la relación de almacenamiento (peso/volumen).

Tabla 1. Vida útil de materiales plásticos.

PRODUCTO	TIEMPO DE VIDA UTIL
Tubería PVC en viviendas	Vida vivienda
Tubería PVC en infraestructuras	Hasta 50 años
Cajas de PP para herramientas	
Cajas de HDPE para bebidas	5 a 7 años
Películas de invernadero de PE	2 a 3 años
Envases para productos de higiene y aseo	1 a 2 años
Bolsas plásticas de PE	Menor a 1 año
Envases PET	Menos de 6 meses o más de 1 año si son retornables

Acoplasticos@, 2006

Todos estos inconvenientes encontrados al final del ciclo inicial de vida útil del plástico, hacen que el reciclaje de este se vuelva la mejor alternativa.

“La gran mayoría de los plásticos se pueden reciclar claro que se hace más fácil el reciclaje de materiales termoplásticos que el de los termoestables que solo pueden ser utilizados en pequeñas cantidades como carga o material regenerado” (plastunivers@,2006).

Las aplicaciones y las propiedades de los materiales reciclados se mejoran realizando un proceso de clasificación y de limpieza de con el fin de retirar de ellos desechos como cartón, papel, acero, aluminio entre otros.

Los materiales plásticos tienen la característica que se pueden reciclar utilizando algunos de los procesos de fabricación original como lo es la extrusión.

Formados mediante un calentamiento se lleva a su estado elasto - plástico para luego ser enfriados y llevados al estado sólido; este proceso lo podemos repetir teniendo en cuenta los aditivos y la contaminación a la que ha sido sometido el plástico (Acoplasticos@, 2006).

Para realizar un buen proceso se deben garantizar que el material reciclado tiene

ciertas propiedades tanto mecánicas como físicas; además las industrias recicladoras también deben tener en cuenta el aspecto económico que afecta a la producción de material reciclado y su impacto en la sociedad empresarial.

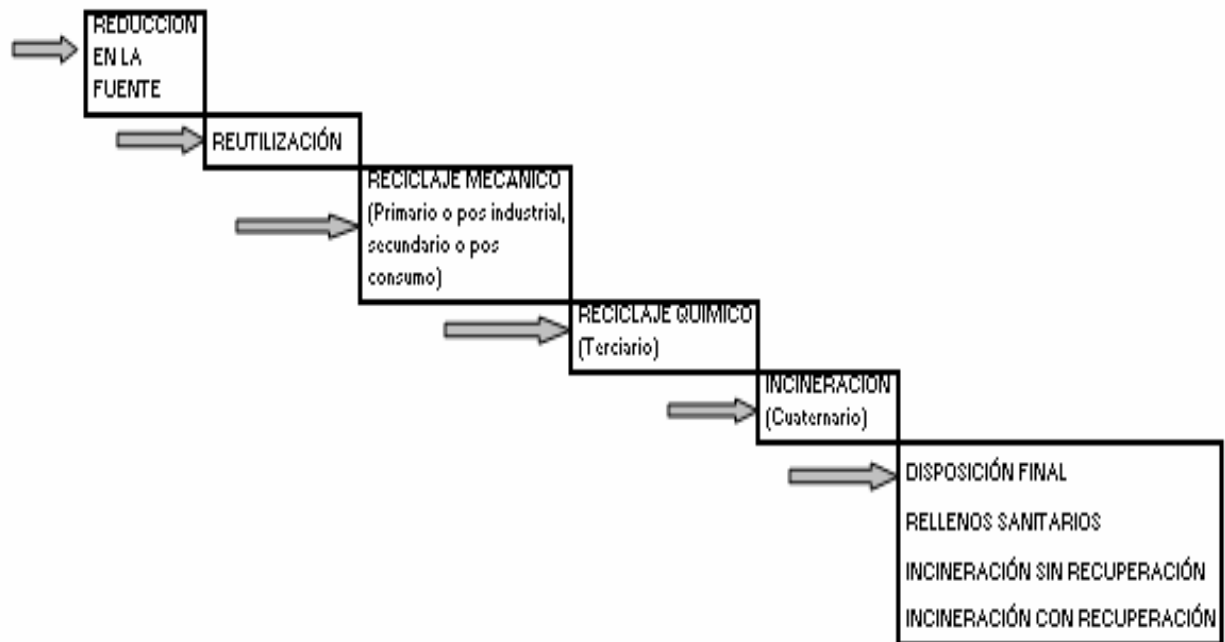
Las principales razones para realizar el reciclado de plásticos son:

Los grandes volúmenes de residuos plásticos reciclables generados.

Las diversas aplicaciones de esos materiales reciclados.

Los diferentes tipos de reciclaje que se implementan en la actualidad como lo son el reciclaje mecánico, el reciclaje químico, y la incineración con recuperación energética (Acoplasticos@, 2006).

Figura 1. Opciones para el manejo integral de residuos plásticos.



Acoplasticos@, 2006

Reciclaje mecánico. Este proceso de reciclaje se divide en dos partes el post industrial (primario) que es el que se realiza en la misma empresa generadora del residuo y se hace mediante la molienda; y el reciclaje post consumo (secundario) se realiza mediante el reciclaje mecánico de productos que ya han cumplido su vida útil (Acoplasticos@, 2006).

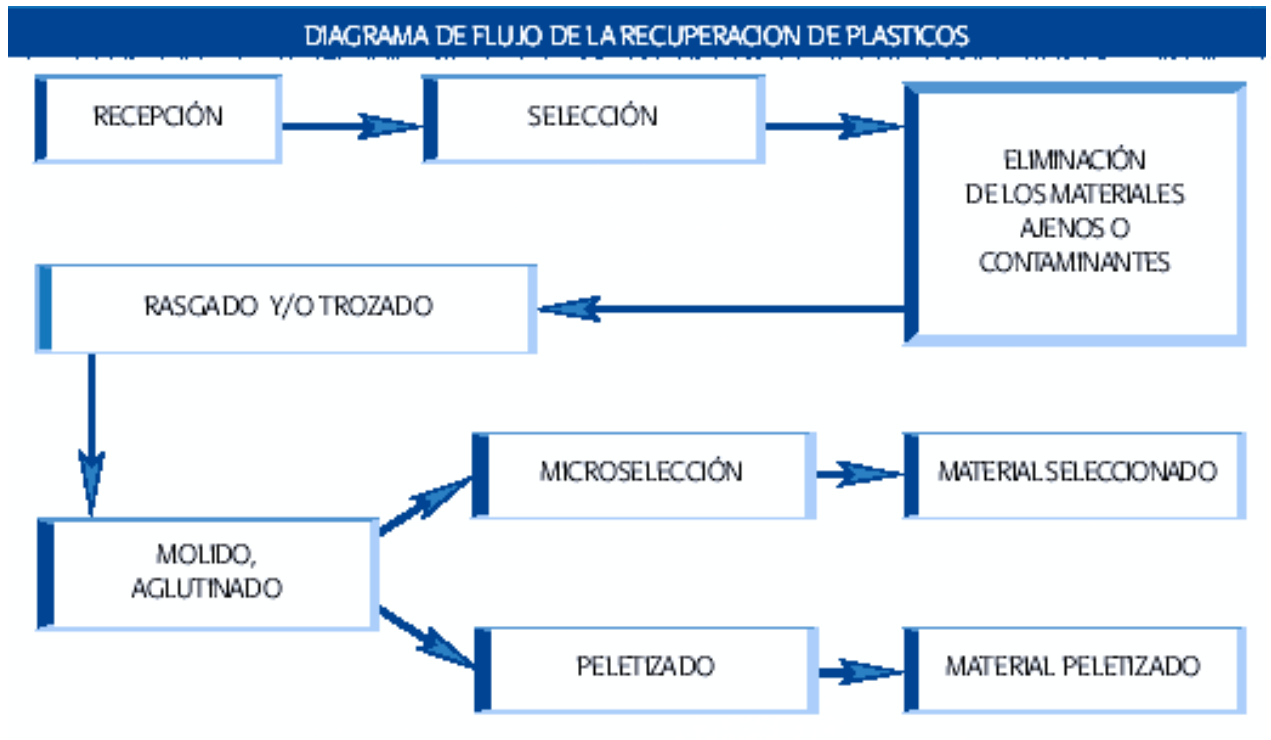
Para reciclar se debe seguir un conjunto de procesos para lograr un producto que cumpla ciertos estándares de calidad; estos procesos son: limpieza y trituración, para poder ser extruidos y luego pelletizados.

En el reciclaje del plástico se dan como puntos críticos: el conocimiento y/o la metodología como se realizan ciertas actividades, como por ejemplo la selección, el lavado, sistemas de molino, aglutinado y distribución de plantas entre otros (EIA@,2006).

No todos los productos plásticos se pueden reciclar por medio mecánico ya que muchas veces han tenido contacto con productos químicos, tóxicos o peligrosos; además los materiales reciclables no se pueden utilizar para realizar empaques para alimentos, empaques para el sector farmacéutico o para elaboración de juguetes (Acoplasticos@, 2006).

Nota: “Los materiales que presenten contaminación química, tóxica o que presenten algún riesgo para la salud pública deben ser sometidos a procesos de combustión, técnica y ambientes controlados” (Acoplasticos@, 2006).

Figura 2. Diagrama de flujo de la recuperación de plásticos.



Acoplasticos@, 2006

El plástico reciclado es de gran importancia, ya que algunas empresas lo usan como materia prima, la gran ventaja es la diferencia de precios que mantiene con el plástico virgen, en algunas empresas se mezclan los dos para obtener buena calidad a un mejor precio, ya que al momento de reciclar un plástico este pierde algunas propiedades físicas, químicas y por consiguiente su resistencia es diferente a la inicial por lo tanto va a generar productos terminados con apariencia física y propiedades mecánicas menores que los trabajados con plásticos originales (EIA@2006).

En el mercado nacional la mayoría de los plásticos de uso común son reciclables, además se puede encontrar diferentes tipos que se diferencian por sus siglas o simbología, estas aparecen en cada uno de los productos junto con el símbolo de reciclaje que más adelante vamos a mostrar (Acoplasticos@2006).

Además de determinar que tipo de material es el polímero que se va a reciclar también debemos determinar que proceso de transformación sufrió para nuestro caso se analizará el proceso de extrusión para conocer las principales características de la máquina. Primero se describe brevemente lo que es el proceso de extrusión:

Para describir en pocas palabras el proceso de extrusión se debe tener en cuenta que la función principal de la extrusora es generar la presión necesaria para expulsar el material, haciéndolo pasar a través de una abertura llamada cabezal; esta presión depende directamente de la geometría del cabezal y las propiedades del material (Rodríguez, 2006-2).

El proceso de extrusión está compuesto por dos componentes que se pueden reconocer fácilmente como lo son: el husillo o unidad generadora de presión y el cabezal o unidad consumidora de presión

Para determinar el comportamiento de estos componentes se debe tener muy en cuenta las condiciones de operación según el material seleccionado y los requerimientos de la empresa en cuanto a producción.

El comportamiento reológico de los polímeros de extrusión hace difícil predecir el las líneas características del husillo y del cabezal; se debe realizar de forma practica y teniendo en cuenta que es diferente para cada material, y varia de acuerdo al cabezal y al husillo de extrusión.

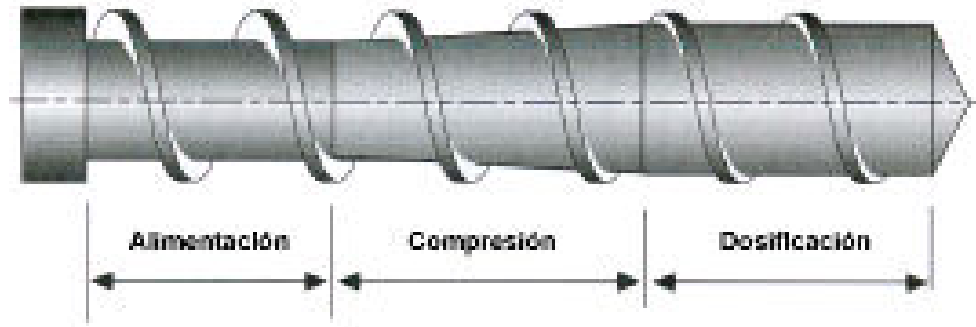
“La importancia de las curvas características radica en que permite al operario determinar el punto de operación adecuado para una producción determinada de la extrusora.”

Las extrusoras básicas están compuestas de las siguientes partes:

- Husillo de extrusión. Transporta, calienta, funde y mezcla el plástico, esta compuesto por la zona de alimentación, compresión y dosificación.

De acuerdo a su diámetro interior se determina el tamaño de la extrusora.

Figura 3. Husillo de Extrusión.

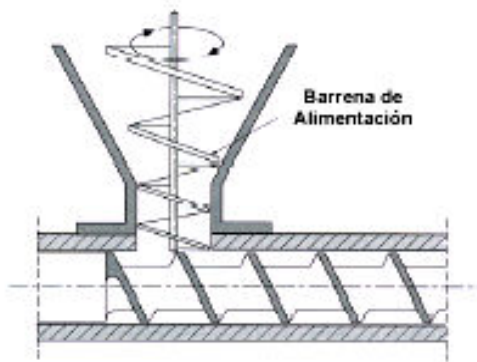


TEXTOSCIENTIFICOS@2006

El perfil de presión generado por el husillo se determina mediante el cálculo del flujo volumétrico en cada una de las velocidades de rotación de la extrusora.

- Tolva de alimentación. Mantiene el plástico (pellets, polvo) en la garganta de alimentación, manteniendo un flujo constante de material a través de la misma.

Figura 4. Tolva.



TEXTOSCIENTIFICOS@2006

- Cabezal de Extrusión. su función principal es moldear el flujo másico en la forma final deseada. Encargados de disipar la presión generada por el tornillo, es el encargado de dar la forma final del producto, y son llamados de acuerdo al producto que producen.

Figura 5. Cabezal.



TEXTOSCIENTIFICOS@2006

La presión del fundido a la entrada del cabezal (al final del husillo) es alta y la presión a la salida del cabezal es baja (atmosférica). Los cabezales pueden ser categorizados por la forma del producto que producen.

Otras funciones que cumple el cabezal son:

Mantener el polímero fluyendo dentro de los rangos establecidos para evitar las anomalías de flujo.

Minimizar los tiempos de residencia del polímero, lo cual resulta muy importante sobre todo cuando se pretende extruir material susceptible a la degradación térmica.

Crear una caída de presión que esté dentro de los límites de construcción de presión del husillo, para asegurar el flujo de material a unas tasas de producción adecuadas para el producto. Si el diseño del cabezal no considera su contraparte

(el husillo), podría generar producciones que no resulten rentables o simplemente no obtener ningún flujo con la capacidad instalada de generación de presión.

El canal de flujo del cabezal debe ser diseñado tal que el material fundido consiga una velocidad uniforme a través de la salida del cabezal.

Los cabezales de sección transversal circular son reológicamente simétricos y el flujo llega a ellos a través del husillo que presenta una sección circular, de manera que la transición de flujo no genera problemas de adaptación.








El torpedo es soportado por una patas de araña que tiene una forma aerodinámica para conseguir un flujo suave a través de la patas de soporte. Desde el torpedo, el plástico fundido fluye a la boquilla y cabezal (TEXTOSCIENTIFICOS@2006).

Esta es una importante razón porque el diseño de cabezales es algunas veces basado más en la experiencia que en los cálculos de ingeniería. Con la llegada de técnicas numéricas más exactas y software de análisis de flujo del cabezal comercial, esta situación cambia: sin embargo, el diseño de cabezales es todavía un proceso de ensayo y error. (Rauwendaal, 1998. p. 15)

1.2. MATERIALES DE EXTRUSIÓN

Los materiales plásticos mas usados en la Industria Colombiana son los siguientes:

Tabla 2. Clasificación de envases.

Tereftalato de Polietileno PET	Polietileno de alta densidad PEAD	Policloruro de vinilo PVC	Polietileno de baja densidad PEBD	Polipropileno PP	Poliestireno PS	Otros
						

Acoplastico@2006

En el país el crecimiento en el uso de estos materiales no ha sido acorde con la tecnología desarrollada para el aprovechamiento y desarrollo de estos, por lo cual surge la necesidad de crear diferentes opciones para el proceso de reciclaje con el fin de disminuir los niveles de impacto en el entorno y ofrecer nuevas alternativas de empresa (EIA@,2006).

En Colombia se ha practicado el reciclaje del plástico en las empresas más representativas, hace ya algunos años, como una de las alternativas de la empresa para generar ingresos, pero algunas de estas no han alcanzado a mantenerse o a crecer a lo largo del tiempo, debido a que una gran parte comenzó sus actividades de forma empírica, ocasionando que no se de un desarrollo sostenible, debido ala falta de inversión en investigación y desarrollo en procesos (EIA@,2006).

En la actualidad se cuenta en la ciudad de Medellín con institutos como el SENA y el instituto del plástico en la universidad EAFIT, los cuales dan asesoría técnica a estudiantes y a empresas relacionadas con este campo; De esta manera se asegura un desarrollo sostenible para este tipo de industria, sin embargo muchas empresas no se acercan a estas instituciones por falta de conocimiento o de recursos para ello (EIA@,2006).

De acuerdo a análisis realizados en los diferentes institutos y teniendo como base la enciclopedia del plástico se pueden definir las características de los materiales más usados a nivel nacional y así definir no sólo sus propiedades mecánicas sino también conocer las posibilidades y características de reciclarlo.

1.2.1. Polietileno, PE.

Los tipos de polietileno que se pueden procesar mediante el proceso de extrusión son HDPE, LDPE.

En el reciclado de los Polietilenos, las propiedades que mas se modifican son la

resistencia a la tensión y elongación, relacionadas con el contenido de humedad y el tipo de contaminante que presenten.

Con la siguiente tabla se puede conocer un valor aproximado de las propiedades del polietileno virgen comparadas con las del polietileno reprocesado una sola vez.

Tabla 3. Comparación de las propiedades de PEAD virgen contra Reciclado.

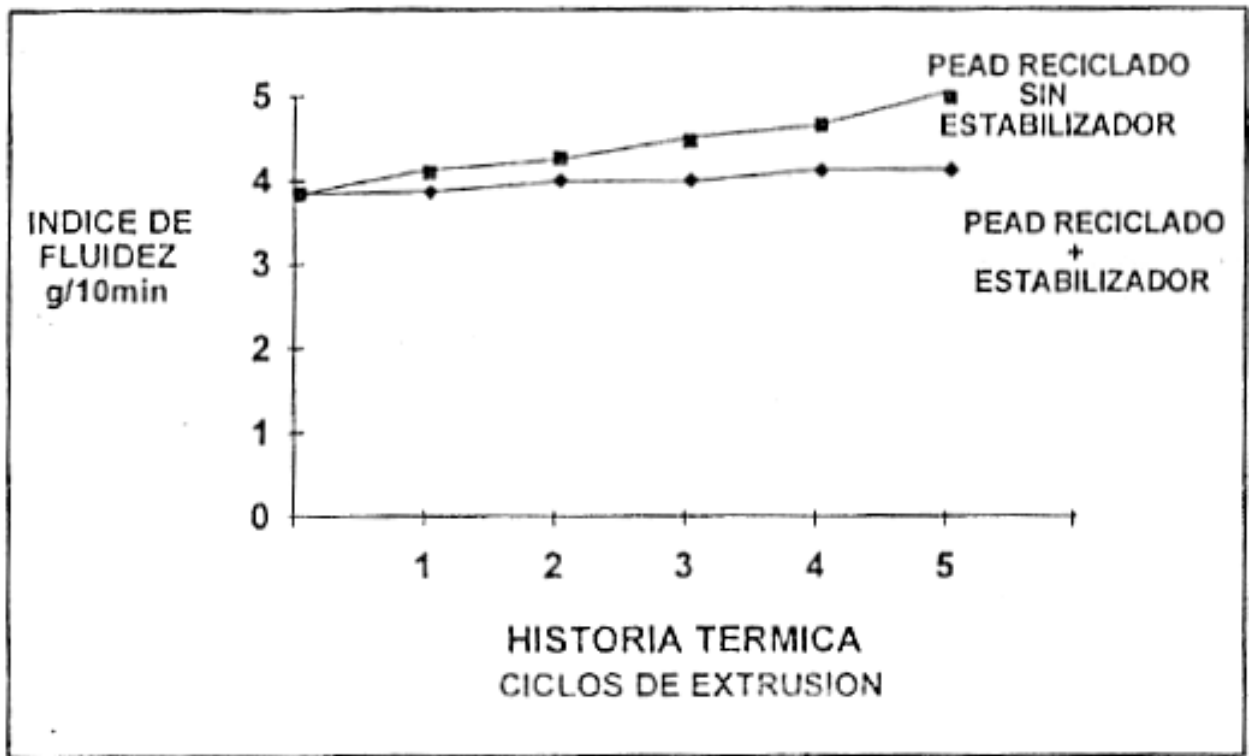
PROPIEDADES	PEAD Virgen	PEAD Reprocesado Una Vez
Índice de fluidez g/10 min	0,77	0,79
Densidad g/cm ³	0,963	0,961
Módulo de Flexión kg/cm ²	15,396	15396
Resistencia a la Tensión a la Ruptura Kg/cm ²	155	175
Elongación %	555	613

IMPI@2006

El índice de fluidez incrementa porque las cadenas moleculares redujeron su tamaño. Cuando el plástico es regranulado más de una vez, es necesario mezclarlo con aditivos especiales para conservar sus propiedades.

La diferencia entre un polietileno estabilizado con aditivos y uno sin aditivos se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Estabilización del HDPE aditivazo.

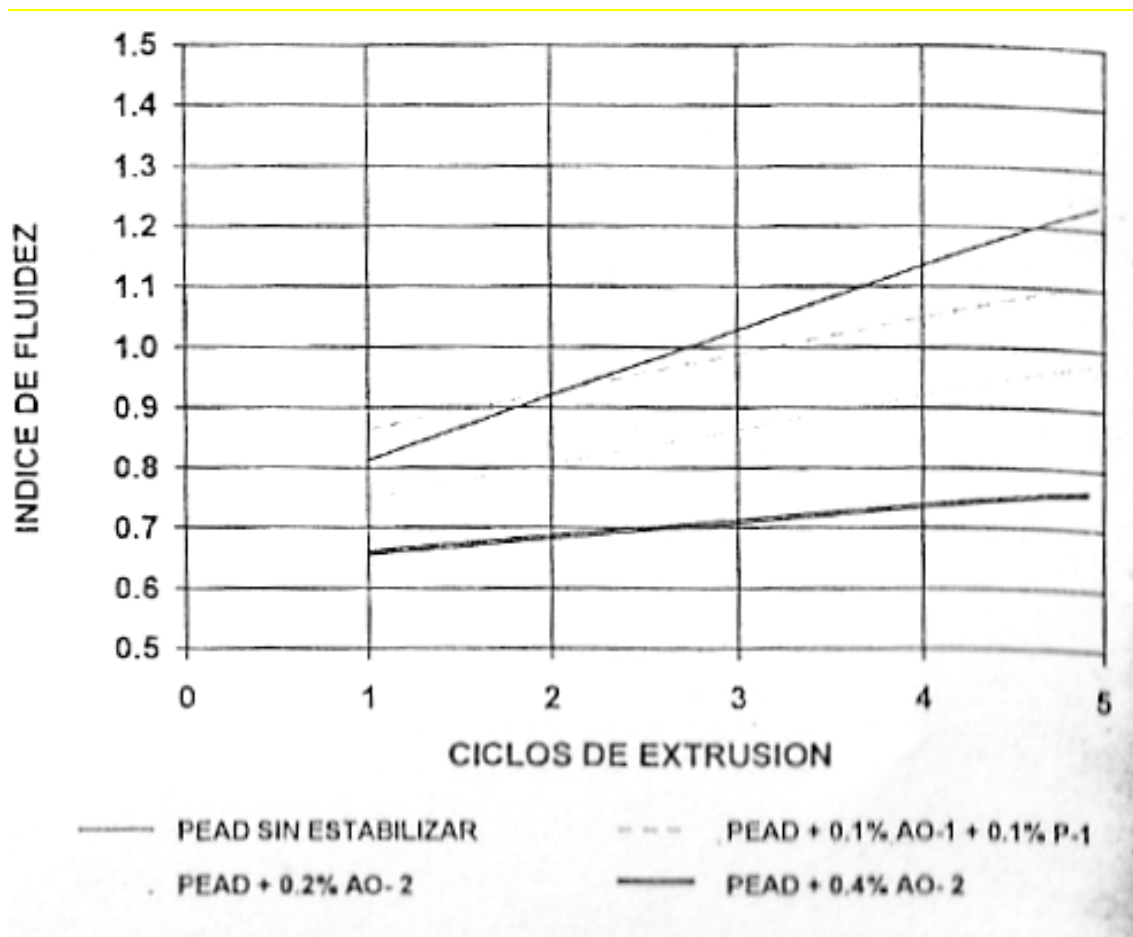


IMPI@2006

Las ineficiencias en producción, la mala calidad de los productos y algunos problemas que se presentan en el proceso de extrusión son originados por la reducción del índice de fluidez.

En la actualidad existen estabilizadores para polietileno recuperado con el fin de mantener el índice de fluidez constante durante los primeros 5 ciclos de extrusión.

Tabla 5. Estabilización del HDPE.



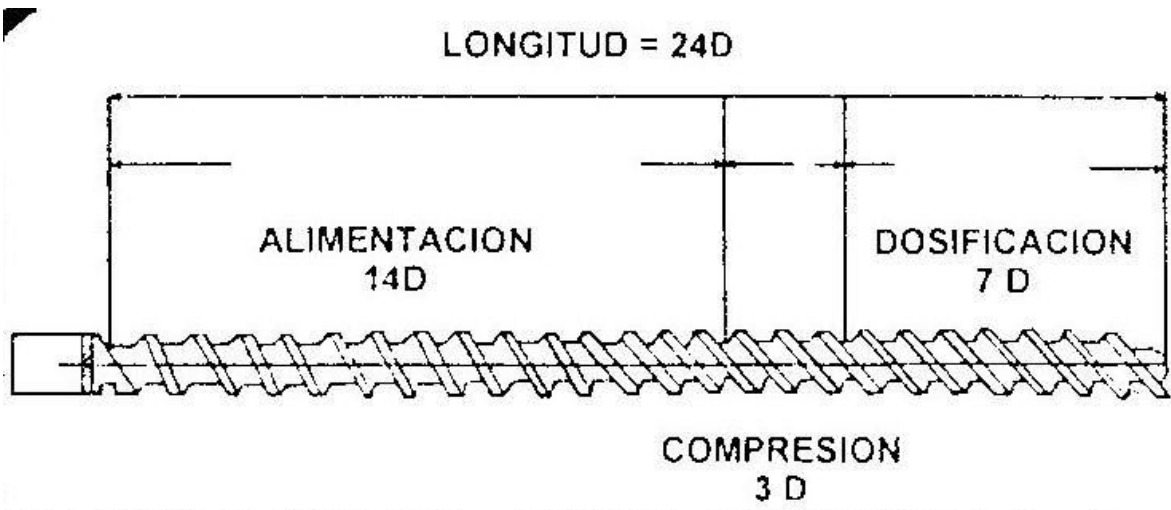
IMPI@2006

A continuación presentaremos una breve descripción y características que deben tener cada una de las partes de la extrusora. Teniendo en cuenta que algunas partes, como el husillo varían según el material a extruir.

- Características del equipo

Para el polietileno el husillo debe tener zonas de alimentación y de dosificación largas y además la zona de compresión debe ser corta con esto se garantiza la homogenización del material.

Figura 6. Tornillo para extruir PE.



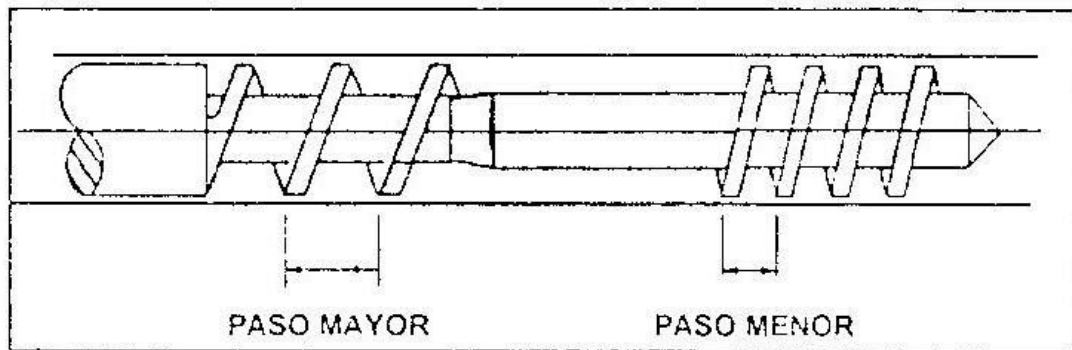
IMPI@2006

Para el polietileno lineal los husillos deben ser diseñados para reducir la disipación de energía en forma de calor o potencia del motor.

Se recomienda un husillo con paso descendente para fundir mejor el material y homogenizarlo al final, con el fin de reducir el esfuerzo aplicado al material.

Para HDPE, LDPE se recomienda una relación L/D entre 20:1 a 28:1.

Figura 7. Relación de Pasos.



IMPI@2006

1.2.2. Policloruro de vinilo (PVC).

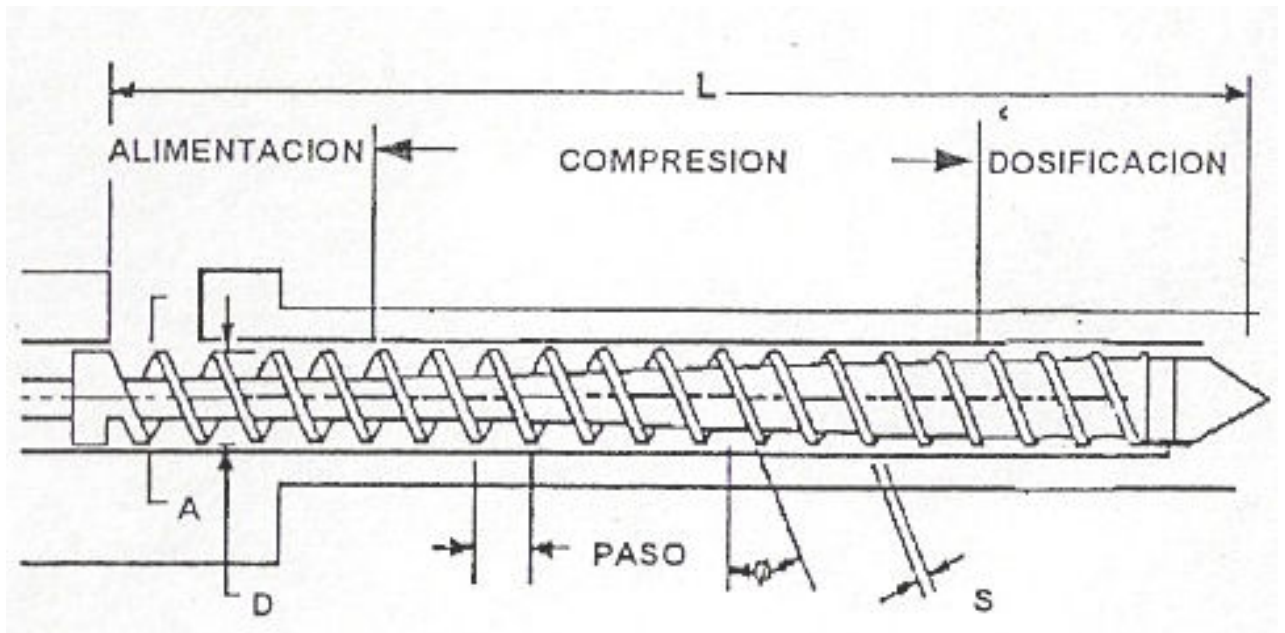
El PVC es difícil de reciclar debido a los cambios en su apariencia física como lo son: pérdida de brillo, amarillamiento y transparencia. Por otra parte el cloro se desprende muy fácil de las cadenas moleculares produciendo la rápida degradación del material.

El PVC utiliza gran variedad de aditivos aunque hoy en día se estén desarrollando estabilizadores especiales para conservar las propiedades. Actualmente se utilizan mezclas de material reprocesado con material virgen para no reducir la calidad del producto.

La maquina puede tener el cilindro con una estructura base de acero inoxidable con elevado contenido de cromo, y el tratamiento superficial un cromado en conjunto de un nitrurado; todo esto debido a que este material es considerado como un polímero corrosivo por su alto contenido HCl. El diseño del barril no debe tener zonas de estancamiento de material o cambio de dirección bruscos para evitar la degradación del mismo.

Por otra parte es aconsejable un calentamiento en tres o cuatro zonas para un mejor control. La relación L/D debe estar entre 16 y 20 para un funcionamiento sin problemas de materiales pelletizados y una relación superior a 20 para trabajo de material en polvo. La zona de compresión debe ocupar entre un 40% y un 60% ya que este proceso se debe llevar a cabo lo menos brusco posible para evitar la degradación del material. Las demás zonas, alimentación y dosificación se reparten de igual forma.

Figura 8. Husillo para Extrusión del PVC.



IMPI@2006

La relación de compresión varía desde 1,5 a 2,5 y a su vez depende del peso molecular de la resina. El paso de la hélice, que generalmente es cuadrada, debe ser igual al diámetro y la distancia entre el barril y el husillo varía desde 0,1 a 0,4 mm dependiendo del diámetro.

1.2.3. Polipropileno (PP).

Pertenece a la familia de las poliolefinas, es un material de alto consumo que de la misma forma que en el polietileno existen desarrollo sobre las propiedades obtenidas en el proceso de reciclado. En la tabla que se muestra a continuación se observan la variación de las propiedades al reciclarse.

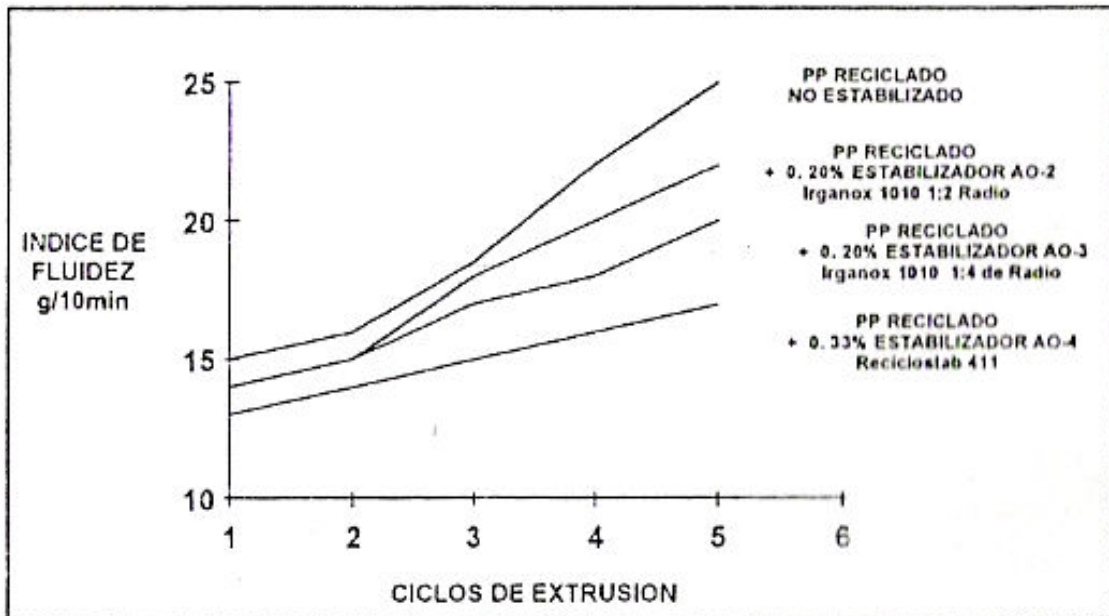
Tabla 6. Comparación de propiedades del PP virgen con el reciclado.

PROPIEDAD	PP HOMOPOLIMERO		PP COPOLIMERO	
	Virgen	Regranulado Una Vez	Virgen	Regranulado
Indice de fluidez g/10 min	314	267	195	191
Módulo de Flexión kg/cm ²	19,543	19,614	12,232	12,092
HDT a 4,6 Kg/cm ² °C	100	105	74	81

IMPI@2006

De la misma forma se han desarrollado estabilizadores para este material que alcanza hasta 5 procesos de extrusión, conservando sus propiedades. En la siguiente grafica se observa como varía el índice de fluidez de acuerdo al número de ciclos de extrusión y el estabilizador utilizado.

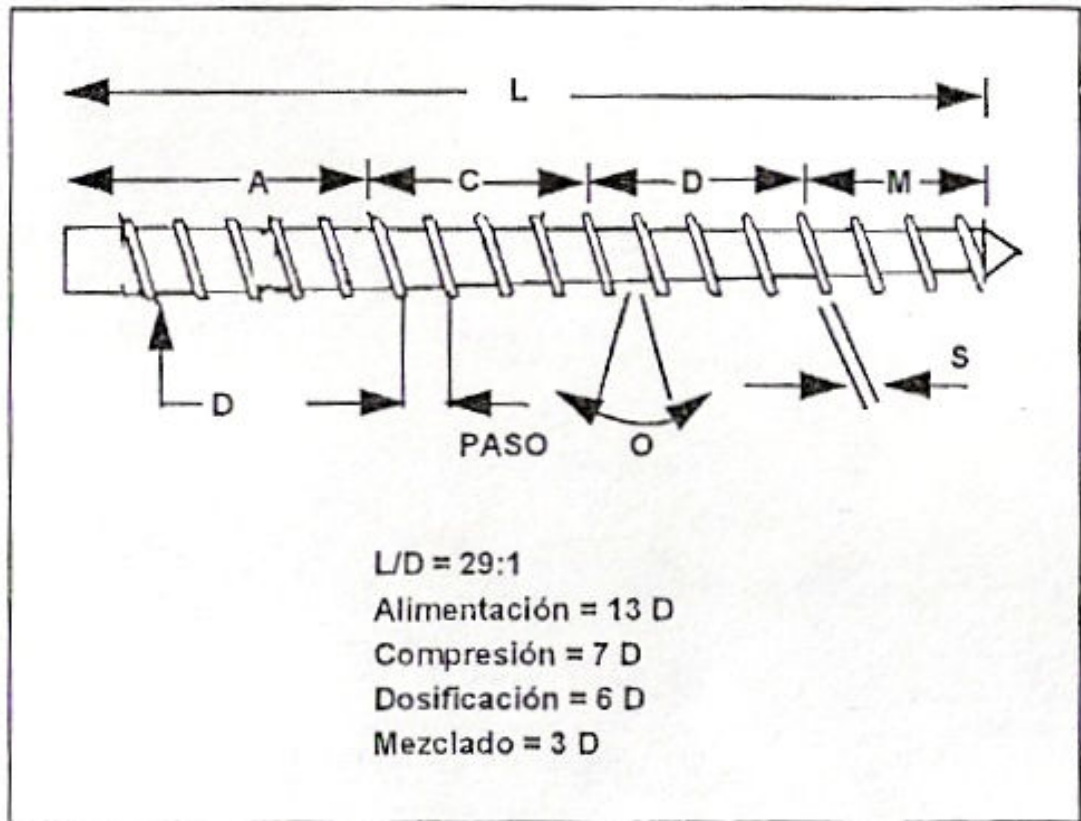
Tabla 7. Estabilización del PP.



IMPI@2006

Debido a la sensibilidad del material a las condiciones de flujo, material fundido y temperatura durante el procesamiento, se recomienda utilizar un husillo de cuatro zonas como el mostrado en la figura.

Figura 9. Husillo recomendado para la extrusión de PP.



IMPI@2006

1.2.4. Poliestireno (PS)

Dentro de esta familia, el que más dificultades presenta es el poliestireno expandible ya que su mercado a incrementado considerablemente aunque no tenga el consumo del poliestireno cristal o de impacto.

La diferencia entre un poliestireno estabilizado con aditivos y uno sin aditivos se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Comparación de propiedades del PS.

PROPIEDADES	PS Virgen	PS Reprocesado Una Vez
Indice de fluidez g/10 min	0,77	0,79
Densidad g/cm ³	1,05	1,05
Resistencia a la Tención a la Flexión Kg/cm ²	703	562
Elongación %	1,6	1,2
HDT a 4,6 Kg/cm ² °C	91	82

IMPI@2006

El mayor porcentaje de los artículos fabricados con poliestireno cristal o de impacto son utilizados en la industria para el empaque de alimentos; esto hace que después de utilizados sean enviados directamente a la basura. Encuanto al poliestireno expansible se generan grandes volúmenes de basura por el aditivo utilizado para la expansión, se recomienda utilizar un estabilizador especial en cantidades específicas para que el material pueda soportar tres procesos de extrusión.

Los poli estirenos pueden ser inyectados en equipos convencionales buscando óptimas condiciones de proceso para obtener alto brillo, espesor uniforme y superficies libres de defectos. También existen extrusoras con propiedades especiales como el venteo al vacío de dos etapas, las cuales entregan un producto de mejor calidad.

La relación L/D se encuentra entre 20 y 24 para que el material no este por mucho tiempo en la unidad de inyección y se deteriore el material ya que este material maneja altas temperaturas en el proceso. En cuanto a la relación de compresión se trabajan desde 1.5 hasta 3.25, preferiblemente en un rango de 2 a 2.5.

1.2.5. Policarbonato (PC).

Aunque cualquier tipo de PC se puede procesar por extrusión, se recomienda trabajar con aquellos altamente viscosos que debido a su buena consistencia de masa fundida y su alto coeficiente de fricción presenta buen comportamiento a la hora de ser transportado.

Se recomienda trabajar a bajas velocidades para evitar las altas temperaturas.

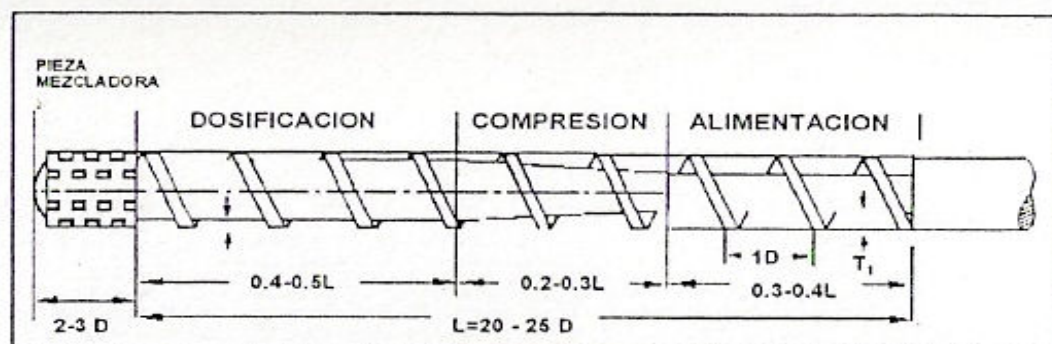
El husillo que se recomienda utilizar para obtener una excelente plastificación del material es de tres zonas con filete sencillo con una relación L/D de 20 a 25 y un paso igual al diámetro. En la siguiente tabla se muestran dos configuraciones de tornillo.

Tabla 9. Dimensiones del husillo para PC.

ZONA	LONGITUD DE HUSILLO	
	20D	25D
ALIMENTACIÓN	9D	11D
COMPRESIÓN	4D	6D
DOSIFICACIÓN	7D	8D

IMPI@2006

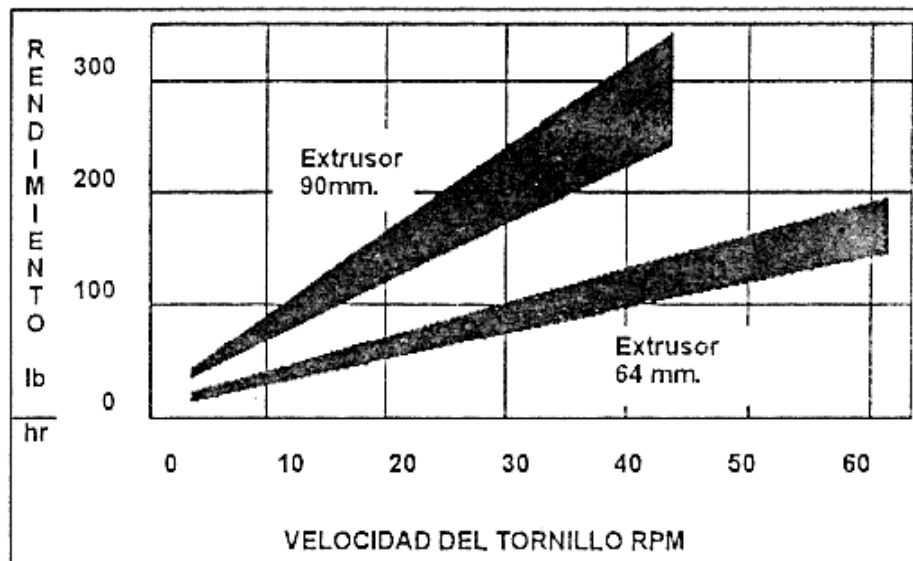
Figura 10. Husillo de extrusión para PC.



IMPI@2006

El husillo se puede trabajar con relaciones de compresión de 2.5 a 3y una velocidad de 5 a 50 rpm y en algunos casos especiales hasta 100 rpm. Todo esto se debe al rendimiento en base a la velocidad del husillo.

Figura 11. Rendimiento en función de la velocidad del husillo.



IMPI@2006

El material más usado en el cilindro es el acero nitrurado, pero cuando se trabajan materiales reforzados con fibra se recomienda utilizar cilindros bimetálicos. Para el husillo se utiliza acero ion-nitrurado y para aumentar más la resistencia de los filetes se pueden recubrir en cromo.

La potencia requerida por la máquina para trabajar con este material va desde 0.2 a 0.32 kWh/kg de material. Esto depende del diámetro del tornillo.

Tabla 10. Potencia requerida e acuerdo al diámetro del husillo.

DIAMETRO HUSILLO (mm)	POTENCIA MOTRIZ (Kw)
45	10-20
60	30-40
90	60-70
100	120-130

IMPI@2006

El perfil de temperatura de este material es diferente a los demás, ya que se transforma con un gradiente de temperatura descendente, mayor temperatura en la tolva y menor en la zona de alimentación, esto se hace para obtener un mejor transporte del material. Es conveniente que la temperatura de la masa fundida a la salida del cabezal este entre 230 y 260°C.

Tabla 11. Perfil de temperaturas.

ZONA	Rango de Temperatura °C
Alimentación	270 - 300
Compresión	260 - 270
Dosificación	250 - 260
Adaptador	250 - 260

IMPI@2006

1.3. PELLETIZADO.

El pelletizado es una operación de moldeado termoplástico en el que partículas finamente divididas de una ración se integran en un pellet compacto y de fácil manejo, el cual incluye condiciones específicas de humedad, temperatura y presión. Este producto de la pelletización es usado en la extrusión de perfiles,

moldes de inyección, moldes de soplado, etc., tiene las siguientes ventajas:

Sistema de alimentación simple con un manejo libre de suciedad.

Menos variabilidad en el producto por su homogénea alimentación.

Mayor capacidad de extrusión por su alto volumen de alimentación

Menores costos de manejo también por su alto volumen de alimentación (Todd, 1998, 258).

El proceso de pelletización puede ser clasificado en dos categorías: (I) Temple y solidificado, luego corte; o, (II) primero corte, después templado y solidificado. En la categoría I se encuentran las pelletizadoras de cubos o dados y de hilos. En la categoría II, hay varios tipos de pelletizadoras de placa seca frontal, incluyendo las de aro de agua y las pelletizadoras bajo agua. En los casos anteriores, el corte y el enfriamiento puede ser en aire o en agua, o el corte puede ser realizado en aire, seguido por el temple en agua (259).

El templado involucra suficiente de una solidificación de al menos en el exterior del pellet para prevenir la reaglomeración. Con un templado en agua, suficiente contenido caliente puede quedarse en el interior de los pellets a evaporar la superficie humedad en el paso de secado, separando los pellets del exceso de agua. Generalmente, el agua par el temple circula en un intercambiador de calor. Esta circula en promedio 15 kilos de agua por kilo de producto (260).

El rápido temple de los hilos o pellets puede causar una solidificación rápida de la superficie externa, tanto que el interior de la fundición puede crear una contracción de vacío (burbuja) como consecuencia de la solidificación. Las burbujas pueden ser prevenidas utilizando una más alta temperatura de circulación en el sistema de templado en agua. Los pellets secos son frecuentemente clasificados para removerles aglomeraciones y aletas. Los dados se presentan generalmente en forma cúbica o en octaédrica. Los pellets en hilos son cilíndricos. El uso de un

tipo particular de pelletizadora depende del polímero procesado, la cantidad deseada, la forma de pellet requerida y el espacio de trabajo asignado (261).

1.3.1. TIPOS DE PELLETIZADORAS.

- Pelletizadoras de hilos (figura 12 y 13): La fundición que viene de la etapa de composición es forzada a que pase a través de una hilera de pequeños orificios redondos. Estos hilos parecidos a un espagueti son luego introducidos en un baño de agua, siendo empujados por los rodillos dentados de la cortadora. Se pueden utilizar corrientes de aire para ayudar a secar los hilos que emergen del baño de agua (261).

Los hilos son picados en cilindros con longitudes de 1 a 5 mm determinados por la frecuencia de corte y la velocidad del rodillo dentado. Los cortadores de hilo son muy versátiles y tienen una capacidad de producción de hasta 4000 kg/h. Sin embargo, la alta capacidad requiere de un largo número de hilos y amplios baños de agua, los cuales aumentan la demanda de atención si hay una ruptura o un enredo (261).

Figura 12. Pelletizadora de hilos (Conair).

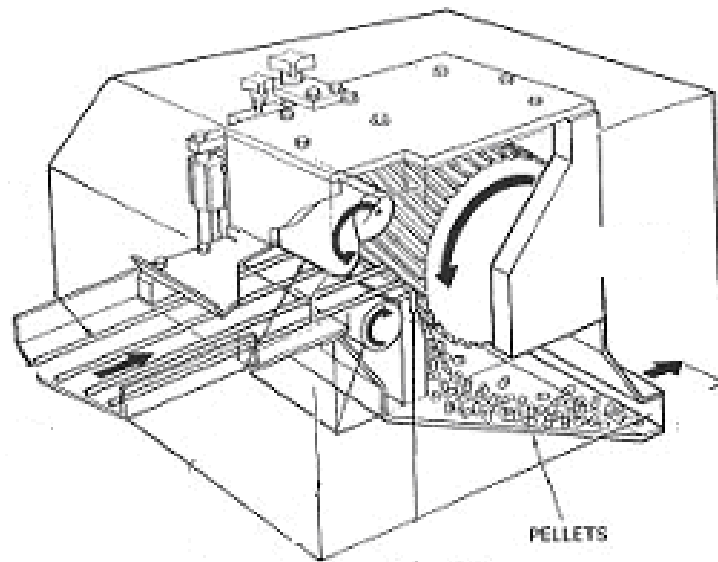
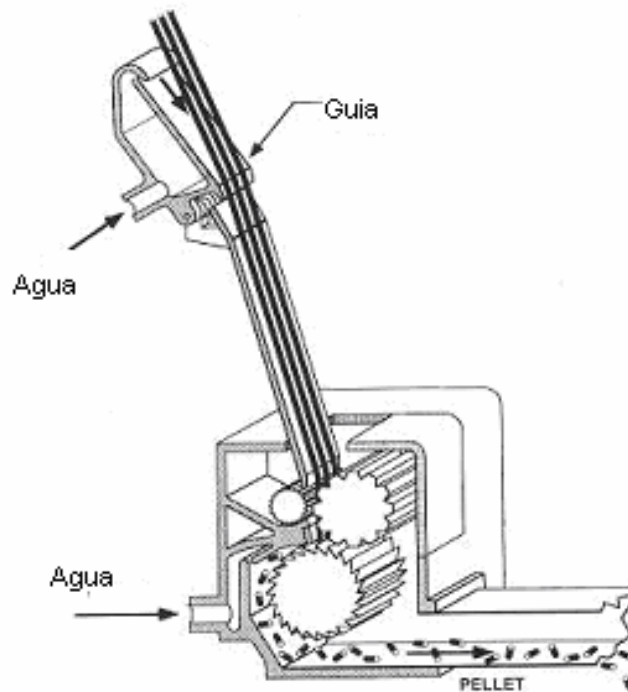


Figura 13. Pelletizadora de hilos guiada.

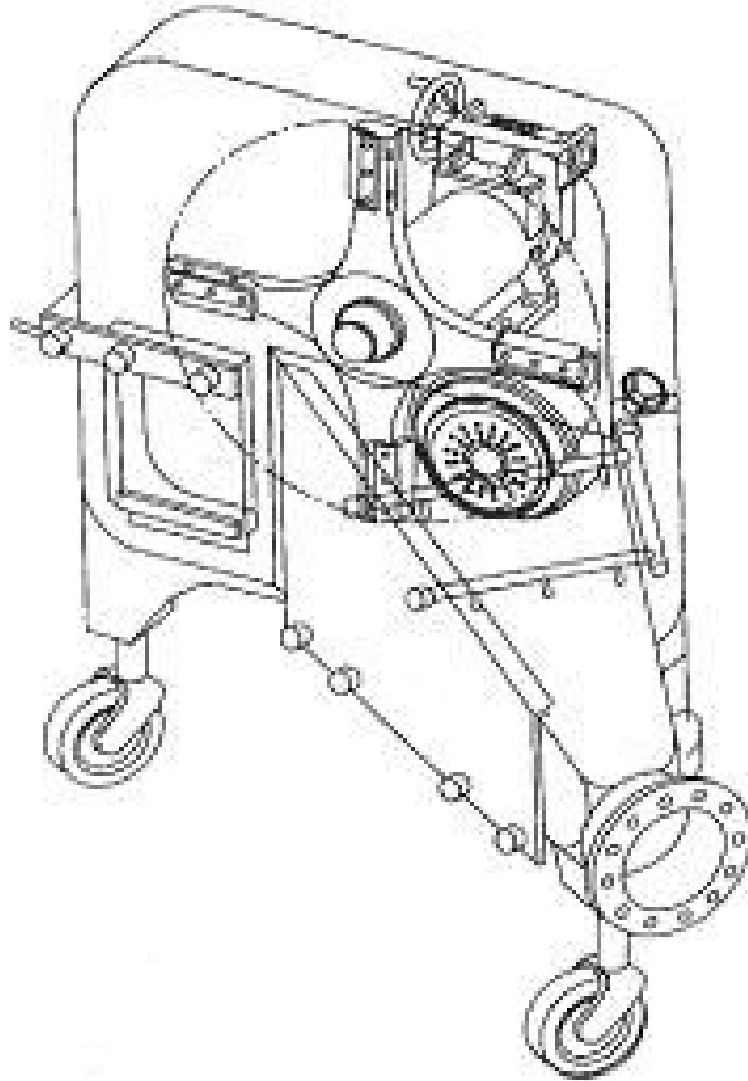


Todd, 1998, 262

- Pelletizadoras de placa seca frontal (figura 14): Las cuchillas centradas o excéntricas cortan el plástico fundido que emerge de una placa de múltiples agujeros. El rápido movimiento de las cuchillas lanzan los *pellets* lejos de la placa frontal generalmente hacia un flujo de agua. Los *pellets* son llevados al baño de agua con suficiente templado para prevenir la aglomeración, y luego son secados (263).

Las pelletizadoras de placa seca frontal pueden ser usadas solo en templado en aire y luego llevado a almacenaje. Frecuentemente, una pequeña porción de agua puede ser rociada en las cuchillas para prevenir el sobrecalentamiento (y que los *pellets* se adhieran). La cantidad de agua que es esparcida se puede ajustar para que el calor de la evaporación apenas compense el cambio de entalpía en los *pellets* (cerca de 0.25 kg de agua/kg *pellets*) (263).

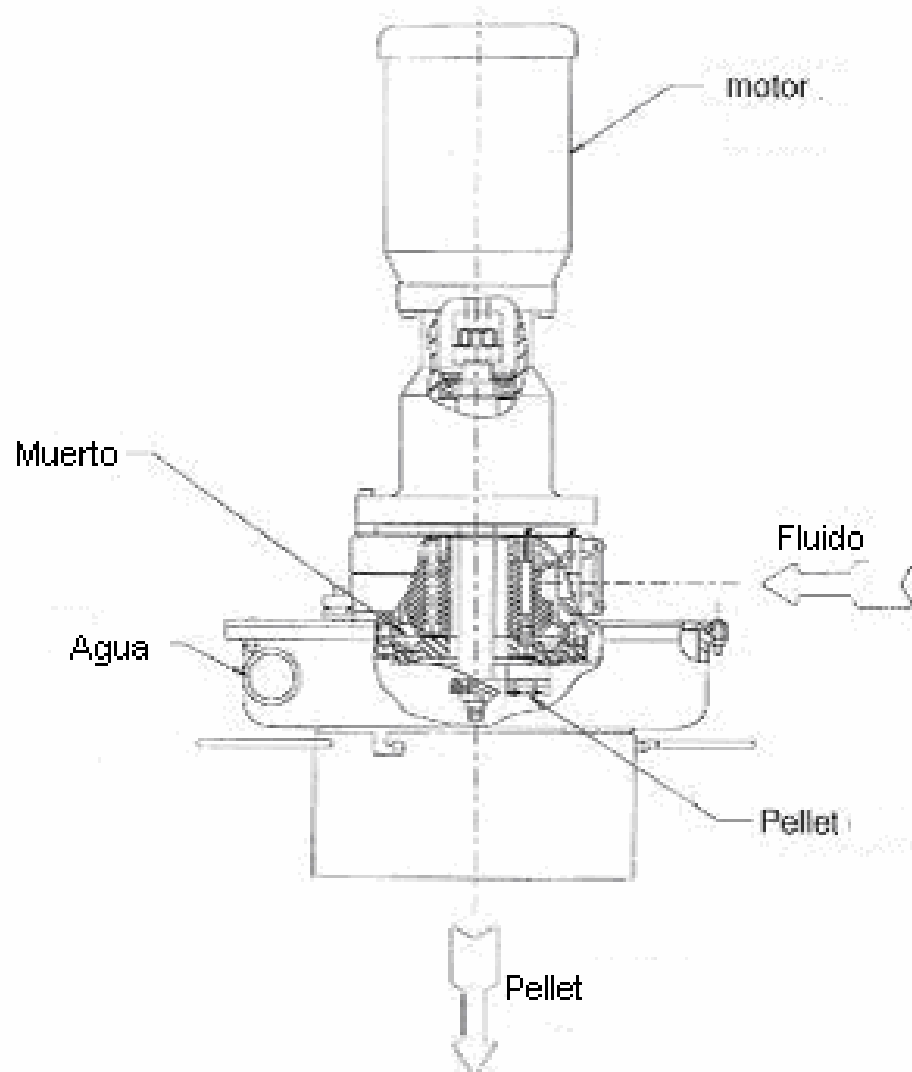
Figura 14. Pelletizadora de placa seca.



Todd, 1998, 263

- Pelletizadoras de aro de agua (figura 15): Este tipo de pelletizadora, capitaliza la acción centrífuga de la cortadora que arroja los *pellets* fundidos a una caja con agua en forma de serpiente alrededor de la periferia de la carcaza de la cortadora. Luego del corte los *pellets* pueden ser bombeados o llevados en una corriente a agua a un secador centrífugo (264).

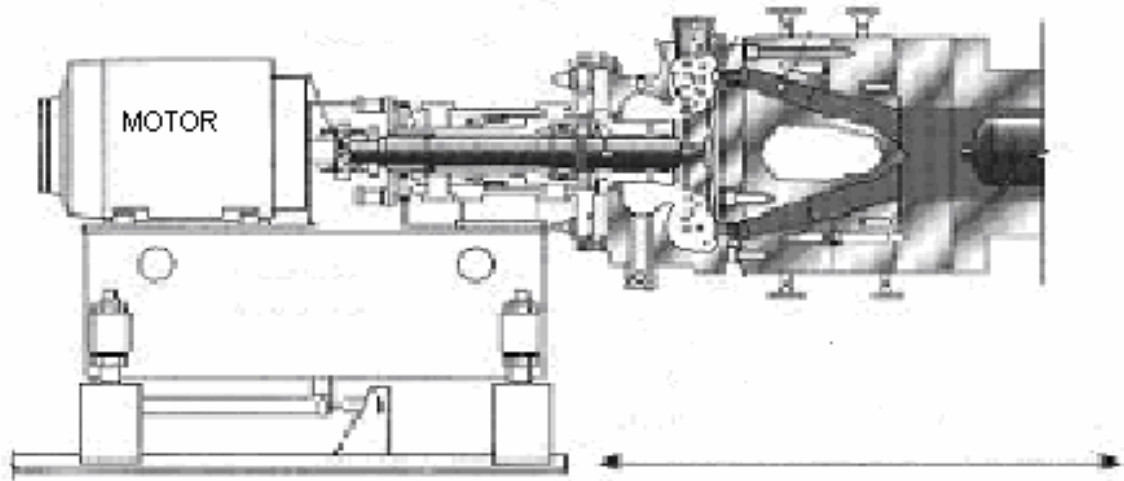
Figura 15. Pelletizadora de aro de agua (Berringer).



Todd, 1998, 264

- Pelletizadoras bajo agua (figura 16): La fundición caliente que viene de matriz de varios orificios puede ser extruída directo en el agua, seguida de un corte realizado por una cortadora de múltiples cuchillas. La capacidad de esta clase de pelletizadoras va desde una pequeña empresa a una gran planta manufacturera de hasta 10,000 kg/h (264).

Figura 16. Pelletizadora bajo agua (Farrel).



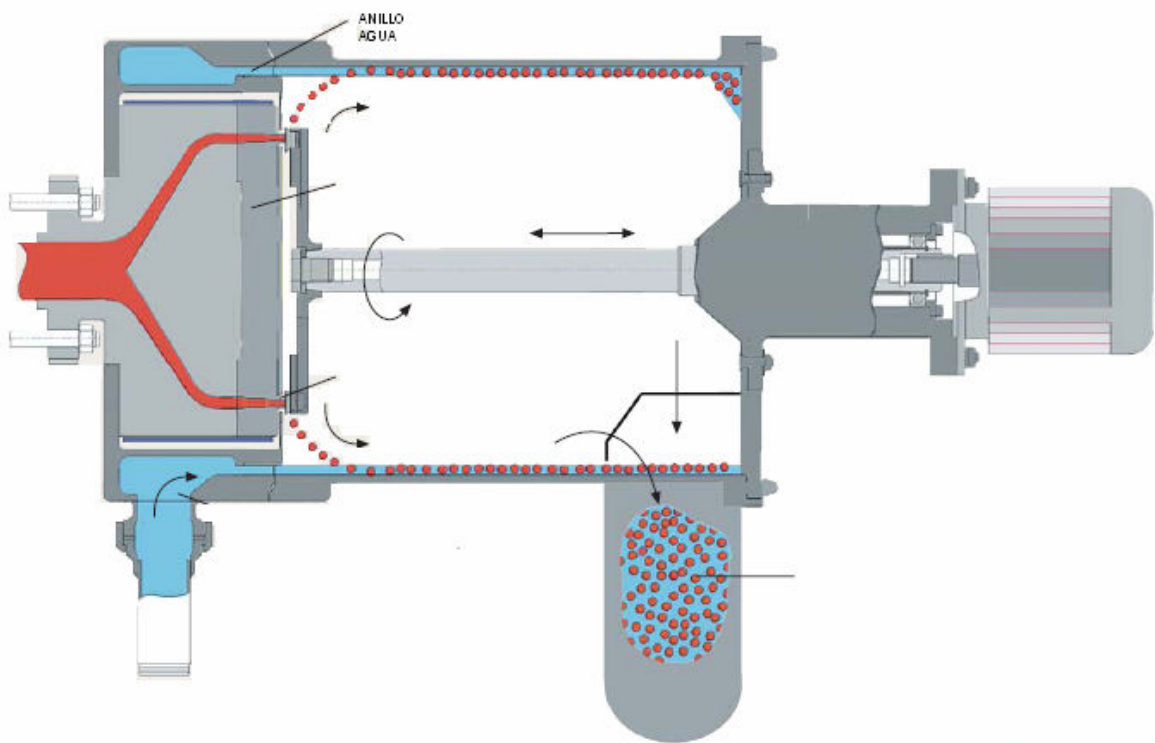
Todd, 1998, 265

- Secadoras de *pellets*: Para eliminar el exceso de agua en los *pellets* se utilizan unos secadoras centrifugas, tal como se muestra en sistema de la fig. . El flujo de agua pasa sobre una pantalla de presecado para remover la mayoría del agua, y luego los *pellets* entran al fondo de la secadora. El rotor similar a una turbina dirige los *pellets* hacia arriba en espiral mientras que la superficie de agua es conducida centrífugamente hacia fuera. El aire seco que entra desde arriba del secador, completa le proceso de secado (264).
- Pelletizadora de placa caliente frontal (figura 17): El sistema de placa caliente frontal se puede montar en casi cualquier extrusora convencional, después de cualquier equipo de filtro o bomba de engranajes.

La masa fundida sale a través de los orificios calibrados en la placa frontal (*pelletising knife*) y es cortada a su salida por las cuchillas rotativas y la fuerza centrífuga la empuja hacia fuera en un anillo de agua rotativo a alta velocidad.

El *pellet* se enfría y transporta a través de un canal de descarga hacia una criba separadora del agua, donde el *pellet* enfriado se separa del agua de enfriamiento (*water ring*). El *pellet* pasa entonces por una malla separadora de gruesos y va a una centrifuga secadora. La centrifuga trabaja con doble intercambio de aire y junto con el sistema siguiente de transporte de la granza por tuberías (al silo o equipo de ensacado) asegura que la granza se seque continuamente. Una bomba devuelve el agua de enfriamiento al cabezal de la peletizadora, en un circuito, pasando a través de un sistema de filtración de esta agua y de un intercambiador de calor. Así se consigue un reducido coste de agua de enfriamiento (Erema@¹, 2005).

Figura 17. Pelletizadora de placa caliente (Erema).



Erema@², 2005

¹ @ Denota que es extraída de internet.

² @ esta imagen fue tomada de Internet de la página web <http://www.ereima.com>

1.3.2. Otras maquinas similares.

- Molinos de martillos: Los molinos de martillos son máquinas robustas que tienen altos consumos de energía y tasas de producción muy elevadas, utilizados en grandes operaciones de reducción y tamaño de desechos sólidos plásticos, el campo de acción de los molinos de martillo que trabajan con el principio de rebote, abarcan desde la pre trituración hasta la trituración fina de materiales flexibles y semi rígidos que pueden ser secos o húmedos (Cano, 2000, 44).

Molinos de bolas: Los molinos de bolas son utilizados para generar máquinas muy robustas. Son utilizados para generar bienes a granel, de granulometría fina, sustancias flexibles, frágiles, lubricantes, hidrocópicas, termo sensible, oleosas y elásticas hasta dureza Mohs 4. El proceso de trituración se puede realizar tanto en materiales secos como mojados (45).

Molinos granuladores: Los molinos granuladores son los más utilizados actualmente en la industria del reciclaje plástico en el medio. Son de corte tangencial, muy similar al de unas tijeras, que permite que el granulado se realice en forma sencilla y sin calentamiento del material, la alimentación se puede realizar en forma sencilla a través de una tolva que facilita la alimentación y posterior granulado del material.

Este tipo de molinos, son utilizados para disminuir el tamaño al plástico recuperado de procesos de extrusión, inyección y de soplado, pero no es igual de eficiente con algunas películas, estas son procesadas mediante aglutinadoras (45).

2. PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño solucionara un problema mediante la metodología VDI 2221 el cual plantea las posibles soluciones y determina la opción más viable mediante un análisis técnico. Como primer paso se realizan diferentes bocetos donde estén plasmadas las ideas concebidas anteriormente al proceso, con el fin de crear un punto de partida que sirvan como base de ideas para formar estructuralmente el producto final.

Este proceso hace referencia a la parte conceptual y metódica de la máquina, es decir partir de las funciones que desarrolla la máquina, las entradas de información, materia y energía además conocer cual es su respectiva transformación.

2.1. BRIEF

2.1.1. Antecedentes

Colombia en su proceso de modernización debe avanzar tecnológicamente con el fin de disminuir la distancia que existe con otros países más desarrollados, uno de los sectores que en la actualidad esta guiando la economía de los países es la industria del plástico; por lo tanto se esta trabajando en la optimización de los procesos que intervienen en este sector y que pueden ayudar a un país a mejorara económicamente. Después de la optimización de los procesos productivos como lo son la inyección, extrusión, el soplado entre otros el proceso más crítico es el reciclaje del material y de este proceso el más crítico para es el pelletizado.

Las industrias colombianas se conforman con las pelletizadoras convencionales mencionadas anteriormente aceptando sus debilidades y conociendo que en el mercado existen máquinas que cumplen la misma función pero aclarando que por el costo de la misma prefieren continuar con el proceso actual.

2.1.2. Justificación

Es necesario el desarrollo de este proyecto para la industria de reciclaje de plásticos del área metropolitana, pues es preciso diseñar y construir una máquina para pelletizar plásticos que optimice este proceso, satisfaciendo las necesidades tanto de clientes, como usuarios y consumidores.

La idea de este proyecto es que cumpla con los requerimientos básicos exigidos por la industria de plástico, contribuyendo al mejoramiento y la optimización del proceso de reciclaje de plásticos. Por consiguiente la empresas de reciclaje se verán beneficiadas y a su vez el consumidor final de los pellets por su calidad y tamaño homogéneo.

2.1.3. Definición del usuario

El usuario directo es el laboratorio de plásticos de la Universidad Eafit y con base en la extrusora que hace parte del mismo se determinan las dimensiones y características funcionales y formales del producto.

Empresa: La necesidad principal es optimizar el rendimiento del proceso de reciclaje de plástico a nivel del valle de aburra pero inicialmente se va a implementar en el laboratorio de la Universidad Eafit con el fin de analizar su funcionamiento y que a su vez sirva de soporte para la educación. Por esta razón este tipo de usuario limita el costo, los materiales y forma de la máquina a diseñar.

2.1.4. Objetivo general

Diseñar un dispositivo de pelletizado de placa caliente para la implementación en

la industria del reciclaje de plásticos mediante el proceso de extrusión.

2.1.5. Objetivos específicos

- Primer objetivo.

Analizar las propiedades de los materiales a reciclar de acuerdo con las características técnicas de la extrusora con la que cuenta la universidad, con el fin de obtener las propiedades del material que necesitemos para el diseño de la pelletizadora.

- Segundo objetivo.

Diseñar el cabezal teniendo en cuenta las características del material seleccionado para reciclar.

- Tercer objetivo.

Calcular el motor necesario para realizar un pelletizado que genere un pellet uniforme con las mismas propiedades físicas.

- Cuarto objetivo.

Estudiar las posibles alternativas para el desarrollo del sistema de corte.

- Quinto objetivo.

Diseñar el mecanismo de graduación del dispositivo de corte.

- Sexto objetivo.

Construcción de la pelletizadora la cual cumpla con las características mencionadas.

- Séptimo Objetivo.

Entrega del proyecto.

2.2. REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA PDS

El sistema que se necesita diseñar debe realizar básicamente las siguientes funciones que a continuación se van a dividir en sistemas con el fin de determinar cada uno de los componentes que se acoplen de la mejor manera al funcionamiento requerido.

Los sistemas que encontramos en la máquina son los siguientes:

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL MECANISMO

Tabla 12. Características del mecanismo.

ITEM		CARACTERÍSTICAS		
			REQ	DESEADAS
1	GENERALES	Que sea para material reciclado	X	
		Que sea adaptable a la Extrusora de la Universidad EAFIT	X	
		Que sea para pelletizar polietileno		X
		Que corte en Caliente		X
2	GEOMÉTRICA	Que conserve las Tolerancias geométricas y dimensionales	X	
		Que ocupe un espacio Reducido		X
		Que tenga la mínima Cantidad de piezas, construcción modular		X
		Que tenga relación Geométrica con la Extrusora de EAFIT	X	
		Que se conserve la Concentricidad	X	
3	CONSTRUCCIÓN	Que sea de fácil ensamble	X	
		Que se pueda construir mediante un proceso de CNC		X
		Que las piezas críticas deben tener fácil acceso para un mantenimiento		X
		Que se evite tener piezas sin posibilidad de inspección interna (selladas)		X
		Que las partes o Accesorios sean comerciales	X	

ITEM		CARACTERISTICAS		
			REQ	DESEADAS
5	TRANSMISION DE POTENCIA	Que sea de fácil Montaje		
		Que sea de fácil mantenimiento		
		Que tenga guardas de Protección		
		Que las partes sean comerciales		
		Que tenga Mayor eficiencia.		
6	CORTE	Que el material sea comercial.	X	
		Que el diseño sea comercial.		X
		Que sean de fácil construcción.	X	
		Que sea de fácil ensamble.	X	
7	MANTENIMIENTO	Que el mantenimiento sea lo más simple y corto posible.	X	
		Que maneje piezas de recambio de fácil adquisición		X
		Que maneje piezas de recambio de fácil construcción		
8	SEGURIDAD OPERACIONAL	Que se Eviten las puntas y aristas cortantes que puedan afectar al operario	X	
		Que se eviten los riesgos de quemadura, cortaduras,	X	
		Que el operario utilice los implementos de seguridad necesarios: guantes, gafas, botas, uniforme.		X
9	ERGONOMIA	Que tenga dimensiones de fácil operación por parte del instalador y operador.		X
		Que el operario no realice fuerzas, simplemente el ingreso del material reciclado.	X	
10	MONTAJE TRANSPORTE Y	Que sea de fácil ensamble con la extrusora	X	
		Que sea de fácil transporte		X
		Que ocupe el menor espacio y peso posible	X	

2.4. ANALISIS DE LA FUNCIÓN

Este análisis se basa en la búsqueda de la función principal del diseño donde se pueda definir su funcionamiento con el fin de garantizar fácil asimilación del concepto final de la máquina, es decir garantizar que con esta función se puede definir de una forma concreta el funcionamiento de la misma.

El diseño conceptual de la máquina PELLETIZADORA DE PLACA CALIENTE esta basado en la necesidad que existe en la industria colombiana de tener un sistema de pelletizado que sea más compacto en tamaño y que tenga mejores beneficios en cuanto a la relación costos producción. Para una mediana empresa manufacturera de productos plásticos que desee reciclar su propio desperdicio no sería rentable adquirir una maquina pelletizadora la cual puede costar alrededor de 400 millones de pesos, ya que su principal objetivo no es reciclar; debido a esto se busca construir una máquina mucho más económica que no represente una gran inversión (aproximadamente 25 millones de pesos) y le proporcione los mismos beneficios.

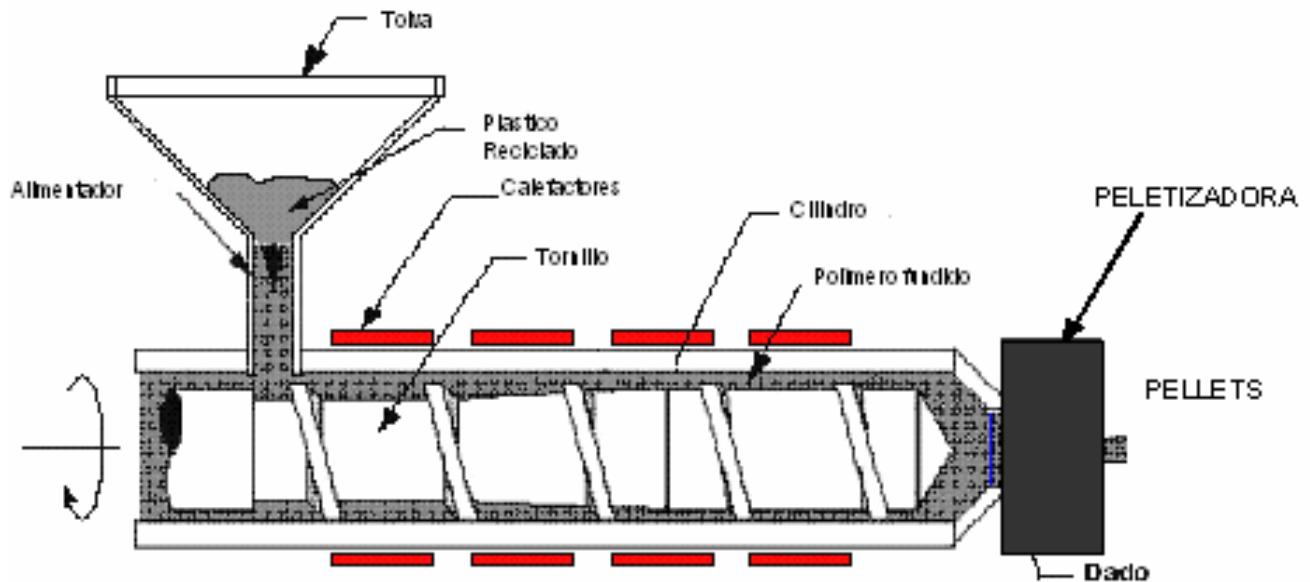
El proceso de diseño es realizado teniendo en cuenta que el reciclaje es uno de los factores más importantes en la industria del plástico ya que el tiempo de degradación del plástico es largo.

Se tiene en cuenta que el principal cambio en el proceso de pelletización en relación con el proceso existente es la parte de enfriamiento del hilo extruído que ya no se realizará por fuera del dispositivo de pelletizado sino interiormente.

La propuesta que se desea desarrollar es crear una pelletizadora en caliente para implementarla en la pequeña y mediana empresa.

El problema radica en el proceso de reciclaje utilizado actualmente en nuestro país, ya que nuestro país aún no esta concientizado completamente sobre la importancia del reciclaje en el desarrollo de la industria.

Figura 18. Extrusora.



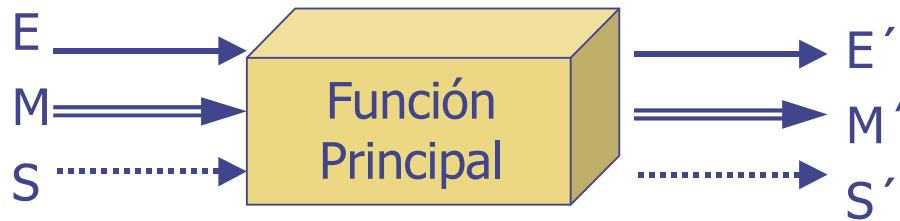
Rodríguez, 2006-1

2.5. FUNCIÓN GENERAL “CAJA NEGRA”

La máquina debe realizar determinada tarea bajo ciertas condiciones de funcionamiento, las cuales se formulan mediante la descripción de una función principal que se define en la figura 19 como la realización general descrita teniendo en cuenta las entradas y las salidas del sistema necesarias para realizar tareas específicas.

Para el desarrollo de la función general es necesario tener en cuenta tres tipos de flujos que se ven en la figura 19, los cuales son: energía, materia e información; así como conocer los estados iniciales y finales de éstos mismos.

Figura 19. Esquema función general.



Martinez, 2006-1

La función general (figura20) del sistema es pelletizar el fundido plástico, que viene a alta presión proveniente de la extrusora, por lo tanto se puede concluir que el flujo principal es materia (plástico fundido).

Figura 20. Función general.



2.6. ESTRUCTURA FUNCIONAL

La caja negra de un sistema no es suficiente para definirlo completamente ya que la mayoría de las veces no existe claridad entre la relación entre las entradas y las salidas, además no se conocen cuales deben ser cada uno de los procesos por los cuales debe pasar para realizar la transformación final; para definir completamente cada transformación y cada proceso se debe dividir la función

principal en un número determinado de sub funciones.

Las máquinas las podemos definir como un sistema de funciones que se orientan hacia la función principal del sistema, es decir, mediante la estructura funcional se determina el orden interno del proceso mediante el cual va a funcionar el artefacto mediante el desarrollo de cada una de las funciones que describen el proceso.

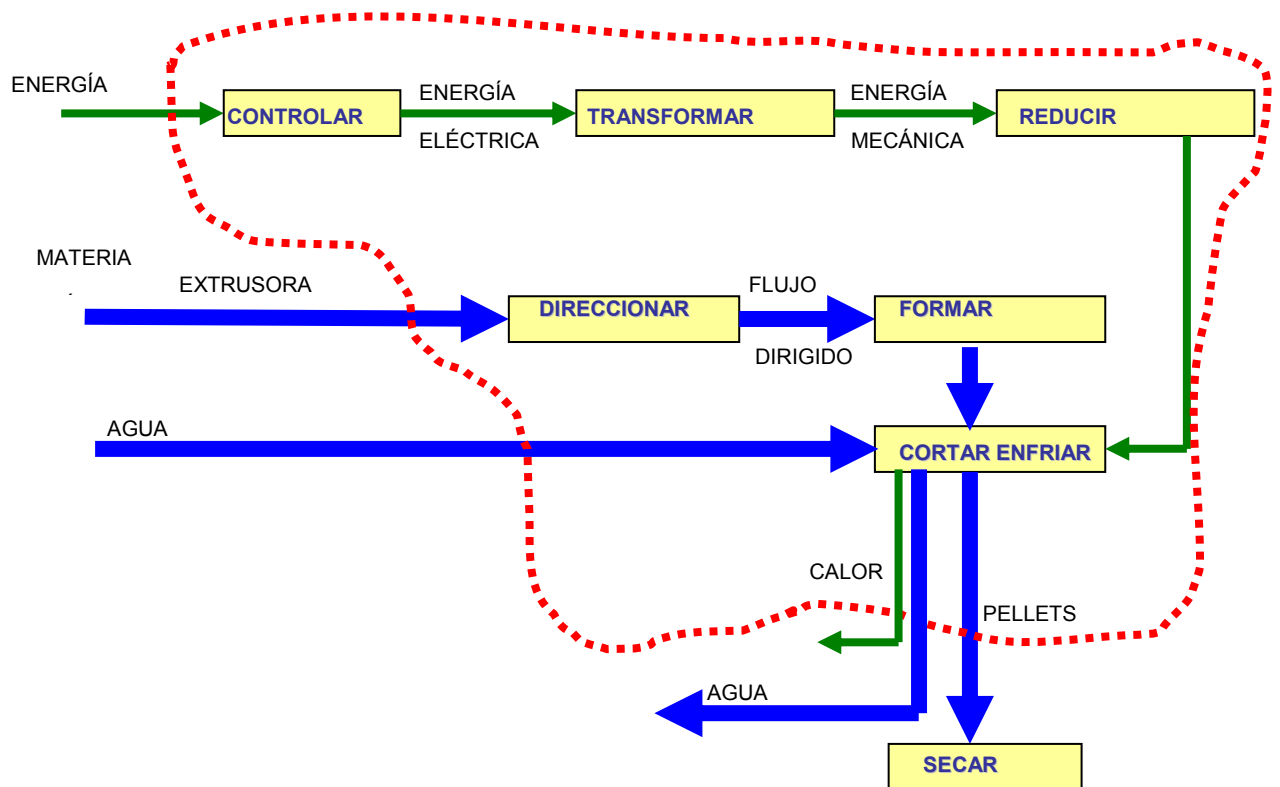
Las funciones están relacionadas mediante los flujos, determinando así cada una de las entradas y salidas en cada una de las funciones con el fin de distinguir cada proceso y además conocer su importancia en el desarrollo de la función principal.

Las sub funciones deben tener un amplio campo de soluciones con el fin de brindarle al diseñador posibles soluciones al problema, teniendo en cuenta que las funciones implican una o más acciones que desarrolla la máquina.

La estructura funcional es la representación simbólica de los elementos, para saber de donde se parte y parar donde se quiere llegar.

Se va a partir de la información obtenida de acuerdo al análisis de la extrusora que esta ubicada en laboratorio de plásticos de la Universidad Eafit.

Figura 21. Estructura funcional.



2.7. MATRIZ MORFOLÓGICA

De acuerdo con las funciones establecidas en la síntesis y en la estructura funcional, teniendo en cuenta los flujos sobre los que actúa cada función, se definen varios portadores para cada una de las funciones que requiere desarrollar el diseño.

La selección de cada uno de los portadores apropiados, para el cumplimiento de las sub funciones mediante las cuales se cumple la función principal, se hace importante ya que permite al diseñador analizar las posibles soluciones a un problema determinado llevándolo a tomar la mejor decisión en cuanto al portador.

El proceso de buscar portadores para el cumplimiento de cada una de las funciones consiste en analizar mediante una lluvia de ideas y conceptos que nos permitan determinar las alternativas de solución.

A continuación se presentan cada una de las propuestas de portadores para cada sub función seleccionando y justificando la más adecuada para el posterior diseño mecánico.

Tabla 13. Portadores para la función controlar.






PORTADORES PARA LA FUNCION CONTROLAR	
Portador 1. Swiche 1	
Portador 2. Swiche 2	
Portador 3. Swiche 3	

Tabla 14. Portadores para función convertir.

PORTADORES PARA LA FUNCION CONVERTIR	
<p>Portador 1.</p> <p>Motor corriente continua</p> <p>Permiten variar velocidad y sentido de giro.</p> <p>Difícil mantenimiento</p>	 <p>www.motorelectrico.com</p>
<p>Portador 2.</p> <p>Motor corriente alterna</p> <p>Motor corriente alterna</p> <p>Trabajo a velocidad constante, alto momento de torsión de arranque para lograr la velocidad nominal</p>	 <p>www.motorelectrico.com</p>

El portador elegido para realizar la función convertir fue el numero 2 ya que no solo se puede controlar su velocidad de rotación y suministra un torque suficiente para realizar su función. Además se necesita que trabaje a una velocidad y torque constante.

Tabla 15. Portadores para la función reducir.

PORTADORES PARA LA FUNCION REDUCIR	
<p>Portador 1.</p> <p>Reductor de piñones</p> <p>No necesita sistema operador como lo son la cadena y la correa, transmite grandes potencias, alto costo, poca flexibilidad, necesita lubricación, eficiencia operativa de 99%, facilidad en el montaje,</p>	 <p>www.motorelectrico.com</p>
<p>Portador 2.</p> <p>Bandas sincrónicas</p> <p>Eficiencia operacional entre 98 - 99%, difícil montaje y alineación exacta. No tiene deslizamiento. Transmite velocidad constante.</p>	 <p>www.sram.com</p>
<p>Portador 3.</p> <p>Bandas - correa</p> <p>Eficiencia operacional entre 96-97%, no necesita lubricación, fácil montaje permite desalineación, tiene deslizamiento.</p>	 <p>www.encyclopedia.us.es</p>
<p>Portador 4.</p> <p>Cadenas – piñones</p> <p>Necesita lubricación, tiene una eficiencia operativa de no tiene deslizamiento.</p>	 <p>www.sram.com</p>

El portador elegido para realizar la función convertir es el número 3 ya que cumple con el torque y la velocidad requerida por el sistema y además tiene un bajo precio y una eficiencia del 96 -97% cumple las funciones que debe cumplir el sistema reductor, además se debe tener en cuenta que el montaje es sencillo.

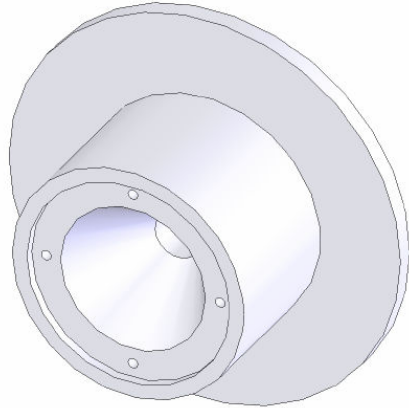
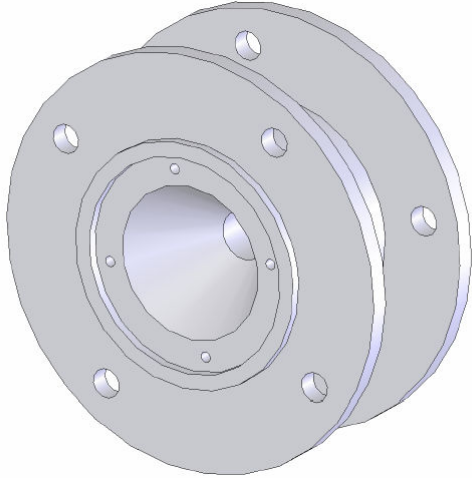
Se tuvo en cuenta que las poleas tienen gran adherencia, debida tanto a los materiales de la correa como al efecto de cuña de la misma sobre la garganta de la polea. (Barbosa, 2001)

Al trabajar con reducción mediante poleas se tiene la posibilidad de realizar reducciones hasta de 1:12 empleando motores de alta velocidad, que en cuanto a potencia que nos reducen los costos y el volumen (Barbosa, 2001).

Se reduce el volumen ocupado por el motor, no es tan indispensable manejar una alineación tan estricta del sistema y además podemos trabajar diferentes distancias entre centros pudiendo así jugar un poco en el basto sentido de la palabra con la ubicación del motor y el sistema de transmisión (Barbosa, 2001).

Las poleas trabajan necesitando menos tensión disminuyendo así la las fuerzas generadas en el eje, además es más silenciosa presenta a su vez una transmisión uniforme que se une a la facilidad del montaje y desmontaje teniendo en cuenta que la máquina debe estar diseñada pensando en el futuro mantenimiento (Barbosa, 2001).

Tabla 16. Portadores para la función direccional.

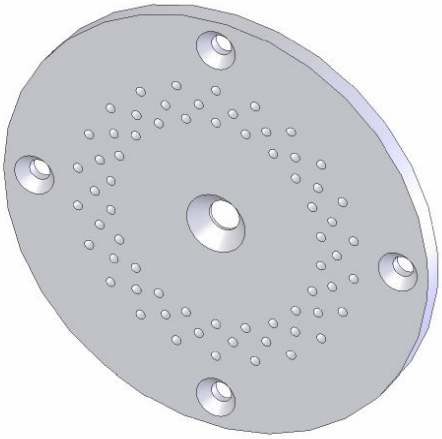
PORTADORES PARA LA FUNCION DIRECCIONAR	
<p>Portador 1.</p> <p>Cabezal 1 presenta una abertura con un ángulo de inclinación de 60°.</p> <p>El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento.</p> <p>Dificultad para desmontaje, necesidad de desmontar todas las piezas para realizar un mantenimiento o para cambio de cuchillas</p>	
<p>Portador 2.</p> <p>Cabezal 2 presenta una abertura con un ángulo de inclinación de 60° (determinado según fluidez del fundido analizado en el instituto del plástico que se encuentra en el anexo A, se ve que ese ángulo permite que no se aumenten las presiones en el cabezal.), 2 flanches para estar sujetado de la máquina extrusora y el otro para sujetar la camisa, posee una resistencia para calentarlo y así evitar la posible solidificación del material fundido dentro de él.</p>	

El portador elegido para realizar la función convertir fue el numero 2 teniendo en cuenta que permite más facilidad no solo de operación de la máquina sino también facilita de desmontaje de cada una de las piezas con el fin de agilizar y hacer más fácil el mantenimiento, se debe tener en cuenta que el cambio de sección no varié las propiedades del material extruído, y la temperatura que deben de mantener el cabezal suministrada por las resistencias.

El fundido que sale de la extrusora en forma circular, debe ser guiado en el cabezal hacia lograr su forma final, esta transformación se realiza por medio cambios graduales en la dirección del flujo dependiendo de la viscosidad del fundido ya que a mayor viscosidad mas gradual debe ser el cambio en la sección transversal.

Las paredes del cabezal deben mantener la misma temperatura que el fundido para evitar la variación de las propiedades. Para mantener la temperatura en las paredes del cabezal se puede utilizar resistencias.

Tabla 17. Portadores función formar.

PORTADORES PARA LA FUNCION FORMAR	
<p>Portador 1.</p> <p>Disco 1 la geometría del disco es igual para todos los portadores, lo que puede variar es la cantidad de perforaciones y sus diámetros y estos varían de acuerdo a la extrusora y la capacidad de generar presión que esta tenga. Construido en acero inoxidable con el fin de evitar la corrosión por el continuo contacto que tiene con el agua refrigerante. Perforaciones para sujetar el torpedos y para sujetarse del cabezal.</p>	

Las características del disco son las siguientes, presenta 66 perforaciones distribuidos en tres direcciones de 22 cada una y cada perforación tiene un diámetro de 3 mm.

Se realizaron las perforaciones con este diámetro ya que por lo general los pellets que se consiguen en la industria tienen diámetros que oscilan entre 3 -4 mm, se realizaron tres hileras para optimizar el espacio y así disminuir la presión generada por el fundido en el disco.

El tamaño y la forma de las perforaciones del disco extrusor no son exactamente iguales al diámetro de los pellets a extruir; se debe tener en cuenta que el polímero reacciona con el enfriamiento, el hinchamiento, el halado y la relajación.

Este cambio que produce el polímero después de salir del cabezal es difícil de predecir, por consiguiente es difícil decir cual debe ser la forma ideal de los canales ubicados en el disco para que el extruido tenga la forma deseada (RODRIGUEZ, 2006-2).

La perforación del centro es para sujetar el torpedo y los de los extremos para ensamblar el disco con el cabezal extrusor.

Tabla 18. Portadores función cortar - porta cuchillas.

PORTADORES PARA LA FUNCION CORTAR - PORTACUCHILLAS	
<p>Portador 1</p> <p>Soporta 3 cuchillas separadas entre si por un ángulo de 120°.</p> <p>Material acero boehler recomendado por lo asesores de ventas de dicha empresa.</p>	 <p>www.ereima.com</p>
<p>Portador 2</p> <p>Soporta 2 cuchillas separadas entre si por un ángulo de 180°.</p>	

El portador elegido es el 2, soporte para dos cuchillas con las especificaciones técnicas definidas posteriormente ensamblada con el eje mediante un sistema de chaveta y prisionero, se seleccionó de acuerdo a la distribución de las cuchillas y además por su gasto para disminuir el costo de la máquina.

Tabla 19. Portadores función cortar – flecha.

PORTADORES PARA LA FUNCION CORTAR - FLECHA	
<p>Portador 1</p> <p>Flecha sencilla donde la regulación de las cuchillas se realiza mediante arandelas en la parte del ensamble con el portacuchillas, y los soportes de los rodamientos mediante cambios de sección, difícil de regular, ya que se realiza de forma visual.</p>	
PORTADORES PARA LA FUNCION CORTAR - FLECHA	
<p>Portador 2</p> <p>Flecha regulable mediante un mecanismo mecánico que funciona con tornillo que se desplaza el eje hasta sentir que toca el disco. El sistema mecánico consta de un tornillo, una contratuerca y un resorte.</p>	

El portador elegido para la flecha de la función cortar es el 2, ya que aunque su producción es un poco más complicada le da más valor agregado a la máquina y en el momento de operarla la hace más fácil, además la variación de la presión de

las cuchillas no implica un paro en la máquina como si lo era en la opción que se realizaba por medio de arandelas.

2.8. PROPUESTAS DE DISEÑO

Consiste en la sustentación de la elección de los portadores antes mencionados, con el fin de generar la ideas suficientes que ayuden al diseñador a ir avanzando en el proceso de diseño, que finalmente lo llevará a la decisión final en cuanto a estructura y distribución de piezas.

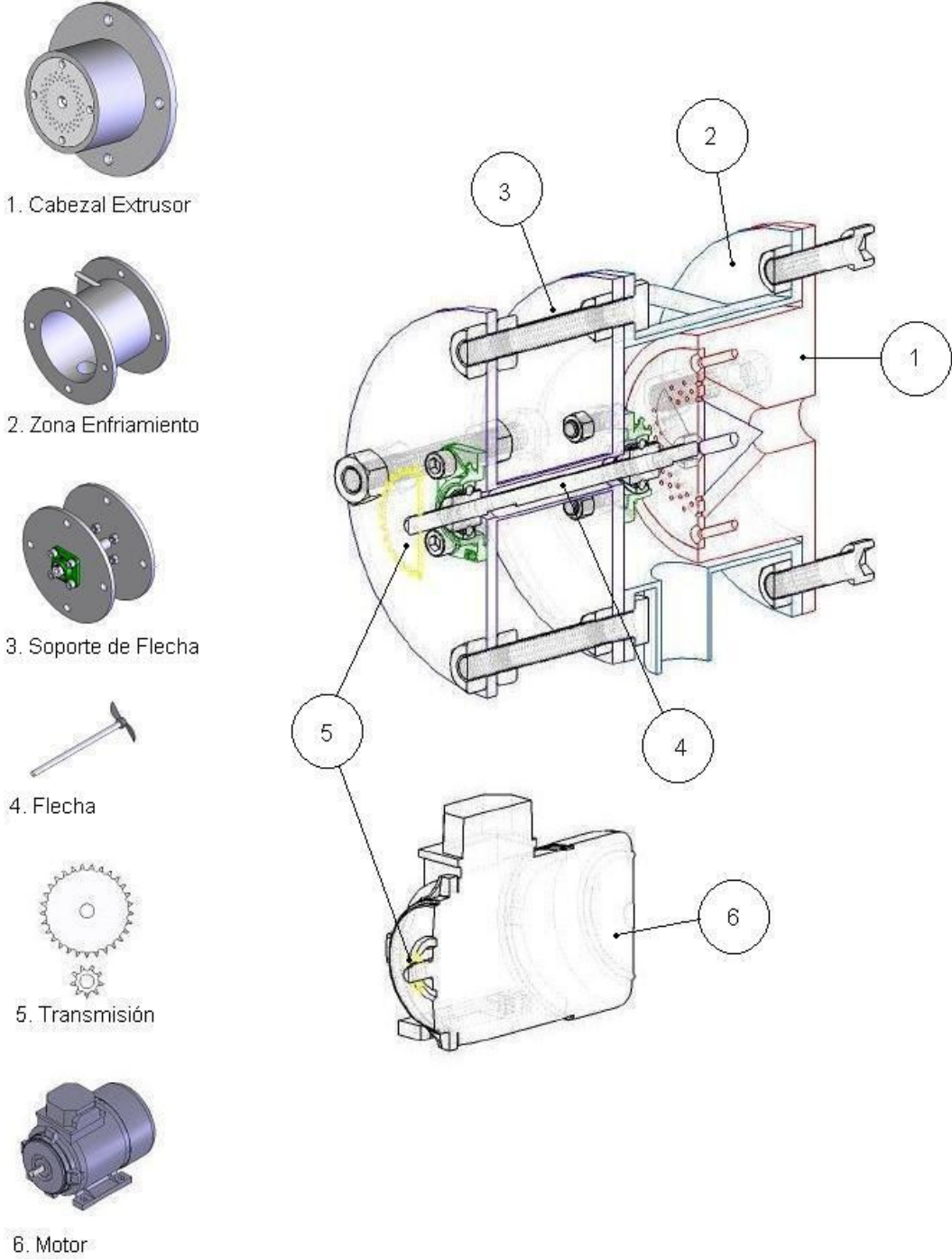
Con el fin de seleccionar la mejor opción se han realizado tres posibles soluciones del problema, o tres propuestas que cumplen con las especificaciones teórico técnicas de la máquina. Cada una de las propuestas esta sustentada mediante una breve descripción de cada una de sus partes con el fin de su mayor entendimiento.

2.8.1. Propuesta 1.

El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente de la extrusora después del flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua direccionada a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruído para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas. El soporte de la flecha esta unido a la zona de enfriamiento por medio de un flanche, cuyos tornillos están dispuestos de tal forma que quede más estructurado. La flecha es regulable mediante arandelas en la parte de unión con el porta cuchillas. El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de piñón cadena. El motor de corriente alterna esta dispuesto en el piso o alguna otra base.

Figura 22. Propuesta de diseño 1.



2.8.2. Propuesta 2.

El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente de la extrusora después del flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua direccionada a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruído para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

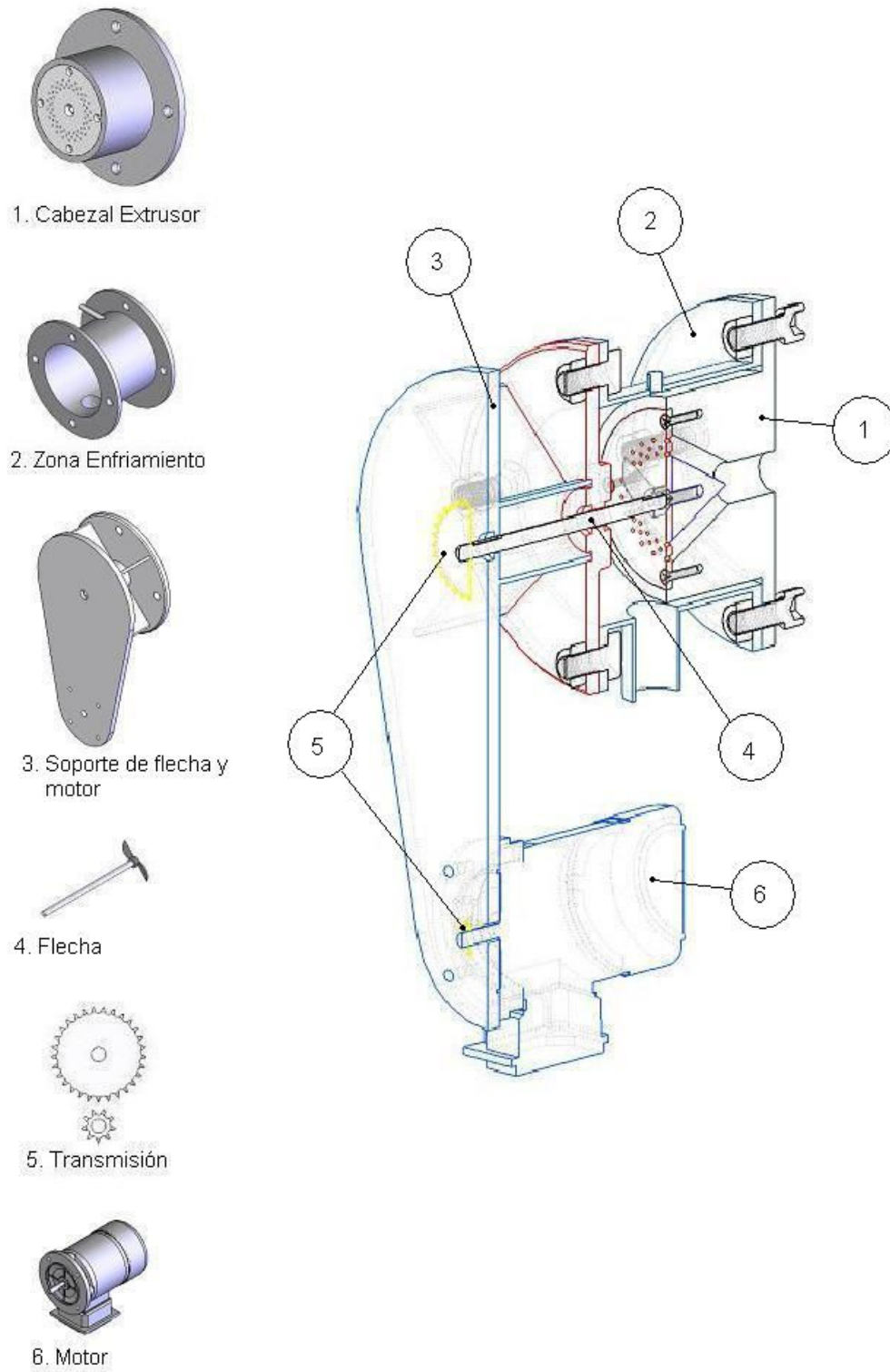
El soporte de la flecha cumple también la función de soporte del motor, ambos estarían unidos en una sola pieza fijada de la zona de enfriamiento por medio de un flanche y esta estructurado por medio de aletas.

La flecha es regulable mediante arandelas en la parte de unión con el porta cuchillas.

El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de piñón cadena.

El motor de corriente alterna esta dispuesto en el mismo soporte de la flecha.

Figura 23. Propuesta de diseño 2.



2.8.3. Propuesta 3

El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente de la extrusora después del flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua direccionada a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruído para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

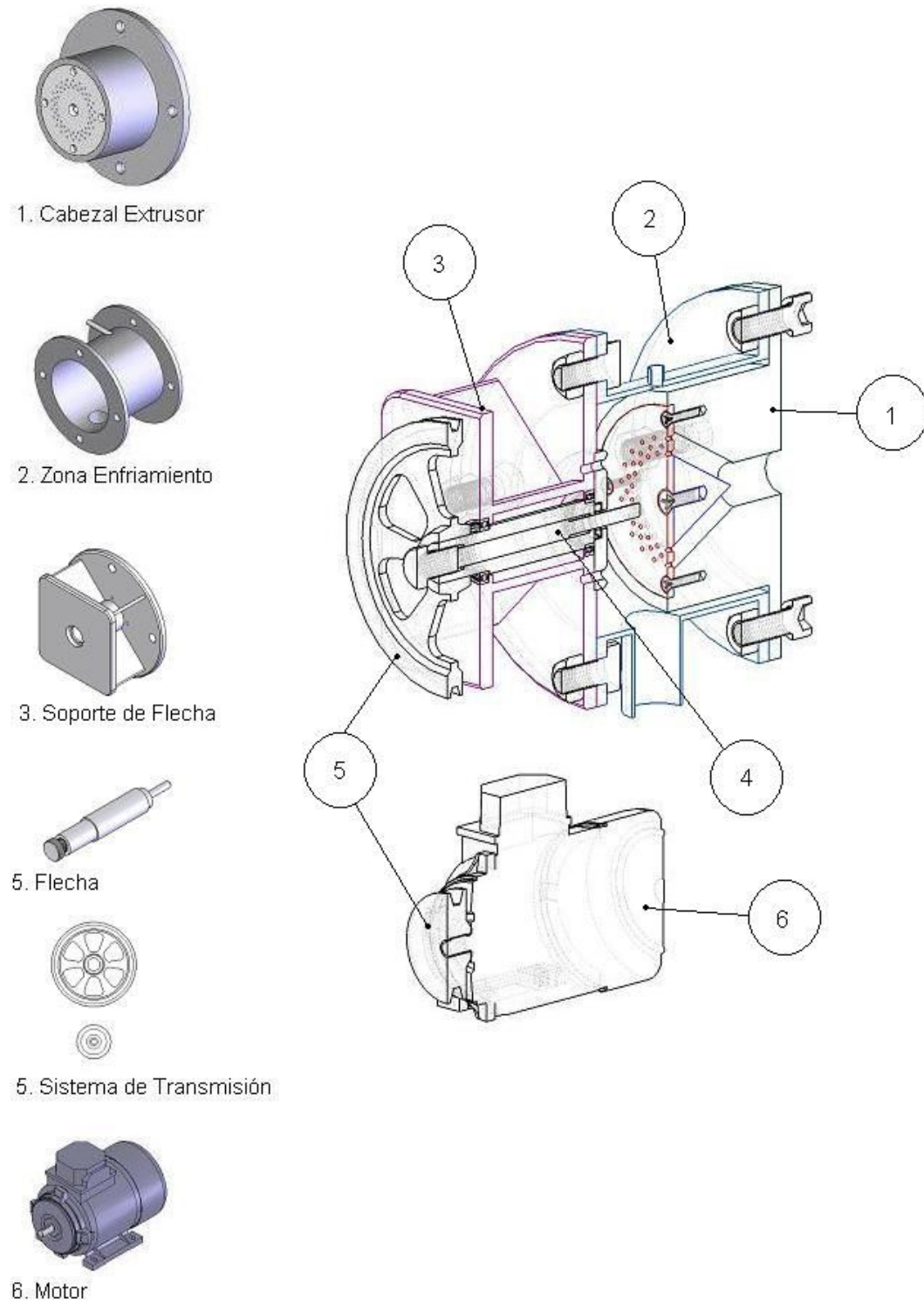
El soporte de la flecha esta unido a la zona de enfriamiento por medio de un flanche y esta estructurado por medio de aletas.

La flecha se puede regular mediante un tornillo para facilitar el montaje y tener una mejor precisión de corte.

El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de poleas.

El motor de corriente alterna esta dispuesto en el piso o alguna otra base.

Figura 24. Propuesta de diseño 3.



2.8.4. Propuesta 4

El cabezal extrusor posee dos flanches, posee una resistencia para calentarlo y así evitar la posible solidificación del material fundido dentro de él.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente al segundo flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua por tres puntos separados a 120° los cuales están direccionados a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruído para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

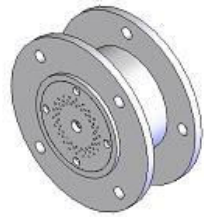
El soporte de la flecha esta unido a la zona de enfriamiento por medio de un flanche y esta estructurado por medio de aletas.

La flecha se puede regular mediante un tornillo para facilitar el montaje y tener una mejor precisión de corte.

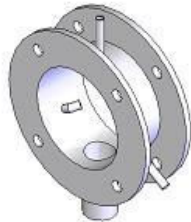
El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de poleas.

El motor de corriente alterna esta dispuesto en el piso o alguna otra base.

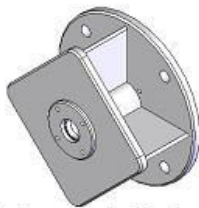
Figura 25. Propuesta de diseño 4.



1. Cabezal Extrusor



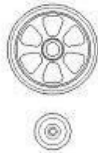
2. Zona Enfriamiento



3. Soporte de Flecha



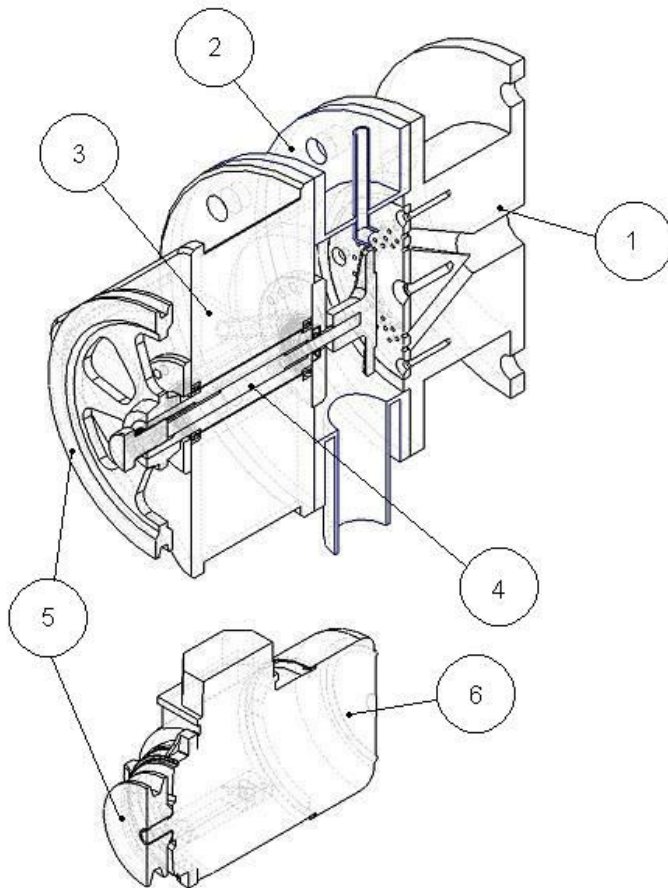
4. Flecha



5. Sistema de Transmisión



6. Motor

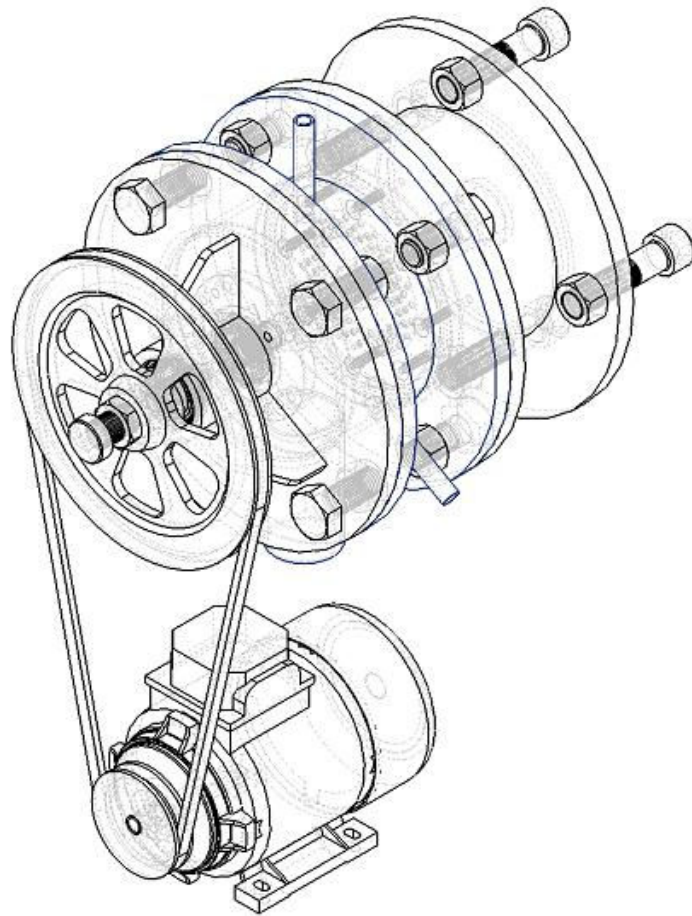


Teniendo en cuenta que cada una de las propuestas poseen defectos y cualidades que las hacen diferentes mediante un análisis de necesidades y características de la máquina, se obtiene una propuesta final en la que se puede resumir las necesidades del producto con el fin de cumplir las especificaciones requeridas para su correcto funcionamiento, de las cuales se destacan las siguientes:

- Debe facilitarse el proceso de limpieza y mantenimiento
- Deben evitarse las zonas muertas y los cambios bruscos de geometría que generen regiones de acumulación de material o altos tiempos de residencia, ya que en dichos puntos el polímero corre el riesgo de degradarse y generar problemas de puntos negros o roturas del extruído.
- Debe considerarse la resistencia mecánica de los metales utilizados para la construcción, de manera que no fallen a las presiones de operación.
- Debe minimizarse la inercia térmica para que el cabezal responda rápido a los cambios de temperatura y pueda establecerse un adecuado control de la temperatura de la masa fundida.

La propuesta final fue desarrollada en el programa CAD SolidWorks con el fin de presentar las diferentes partes de las cuales consta la máquina y su posterior explicación, así como definir cada una de las piezas con su respectivo material.

Figura 26. Ensamble Pelletizadora.



De acuerdo a la propuesta final expuesta en la figura 26 se puede observar que la unión de cada una de las piezas sobrepuestas están fijadas por flanches mediante tornillos de $\frac{3}{4}$ " grado 5 los cuales poseen un esfuerzo de fluencia de 85.74 Kpsi. (ING.PUC.CL@2007)

Para definir correcta y explícitamente el funcionamiento y la geometría de cada una de las partes se inicia por caracterizar el cabezal y los ensambles que están relacionados.

El ensamble entre el cabezal extrusor y el disco se realiza mediante 8 tornillos de $\frac{1}{4}$ " de cabeza avellanada grado 5 que roscan en el cuerpo del cabezal buscando

que las cabezas no puedan golpear las cuchillas en el momento que se este realizando el proceso de corte ya que las cuchillas están a nivel con el disco para realizar el corte de la mejor manera posible; el torpedo se acopla al disco por medio de un tornillo de 3/8" grado 8.

El disco fue diseñado no solo con el fin de que proporcione la forma al extruído sino también cumple la función de soportar el torpedo que se encarga de ayudar a direccional el flujo a través del cabezal, podemos suponer que el torpedo hace parte del cabezal, ya que entre ambos cumplen la función de direccional el flujo proveniente de la extrusora.

Figura 27. Cabezal, disco divisor y torpedo explosión.

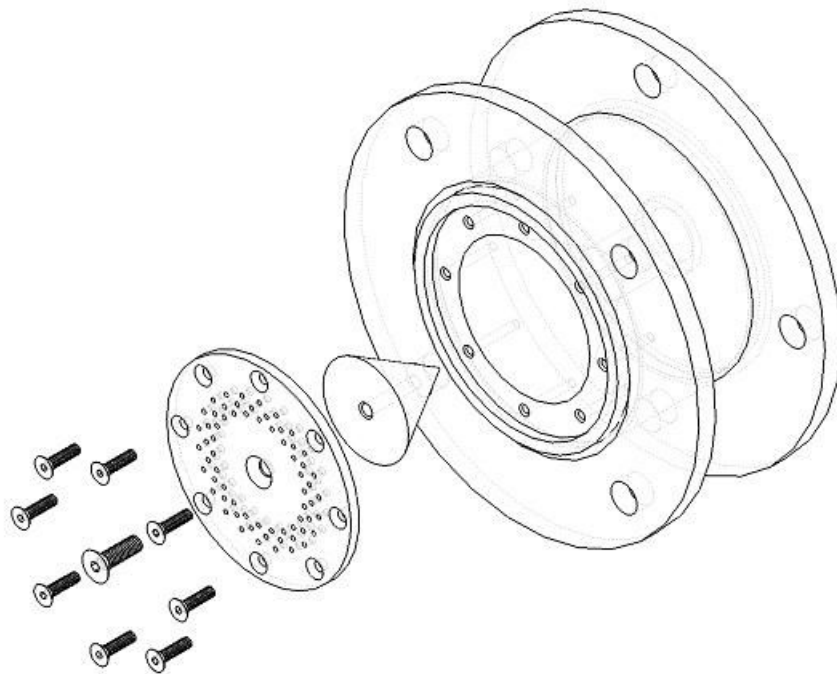
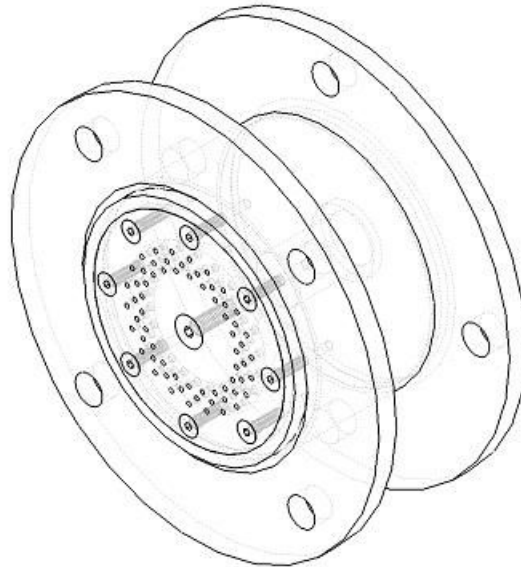
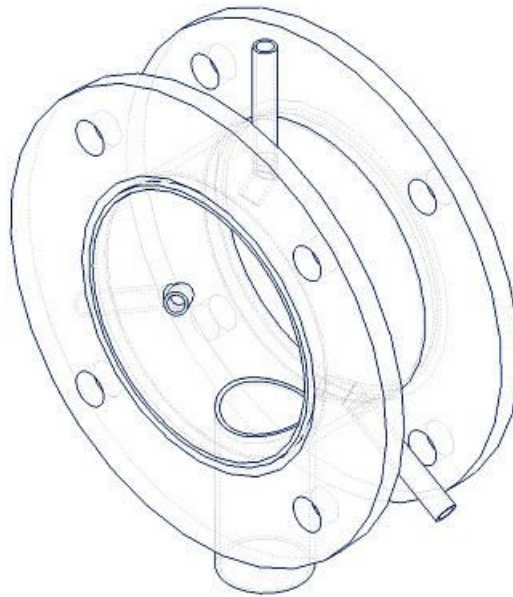


Figura 28. Cabezal, disco divisor ensamble.



La zona de enfriamiento y de corte como su nombre lo indica es el área donde ocurre el corte y solidificación del pellet, para lograr un rápido enfriamiento y solidificación del pellet en esta zona se suministra agua por tres puntos los cuales están separados a 120° . El flujo de agua va directamente a las cuchillas de corte, por tubería de $\frac{1}{2}$ " rosca PTC que fue tomada de ya que es comercial y cumple con la función, para evitar que el polímero se aglomere en esta zona y además conservar la temperatura de las cuchillas. También posee un ducto de 2" por donde evacuar el agua y los pellets creados.

Figura 29. Camisa.



El soporte de la flecha que es la estructura que se encarga de soportar y alinear dicha flecha. Este consta de las siguientes partes:

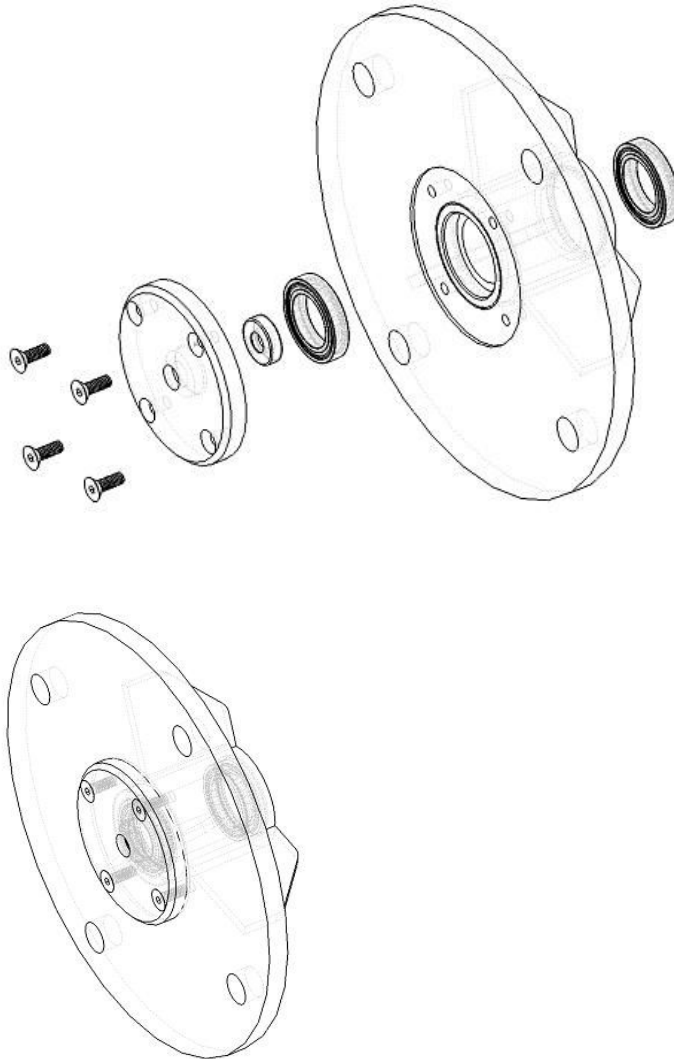
Un cuerpo que posee un flanche para ser sujetado a la zona de corte y enfriamiento por medio de tornillos de 3/4" grado 5.

Dos rodamientos de bolas referencia 61906 2RZ sobre los cuales se dispone el eje.

Un sello mecánico referencia CR 10x26x7 el cual evita el contacto del agua con los rodamientos y la flecha mayor.

Una tapa que contiene el sello mecánico y evita el desplazamiento de uno de los rodamientos, la cual esta sujeta al cuerpo por medio de 4 tornillos de 1/4" cabeza avellanada y un pin-candado que evita el desplazamiento del rodamiento del otro extremo.

Figura 30. Soporte rodamientos.



La flecha esta diseñada de forma que pueda ser graduada su longitud para garantizar el corte preciso de las cuchillas.

Cada una de las partes se han diseñadas teniendo en cuenta que el medio al cual van a estar sometidas, es decir algunas van a tener contacto con agua por lo tanto se necesita un material que sea inoxidable.

Las partes que la componen son las siguientes:

La flecha menor la cual esta en contacto con el porta cuchillas.

La flecha mayor la cual soporta a la flecha menor y por consiguiente le transmite la potencia que a ésta a su vez le entrega el sistema de transmisión.

El tornillo regulador que se encarga de regular la longitud de toda la flecha.

La contratuerca que se asegura de mantener una sola longitud de la flecha.

Figura 31. Flecha en explosión.

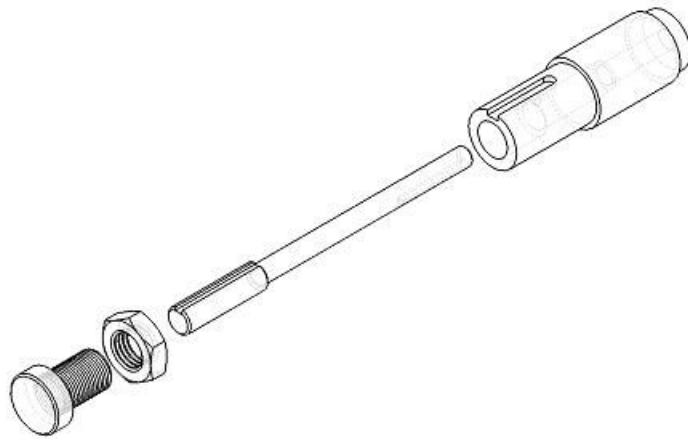
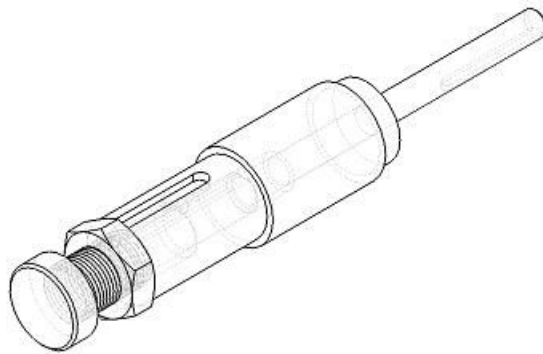


Figura 32. Flecha ensamble



El porta cuchillas como su nombre lo indica es el encargado de sostener las cuchillas de corte, esta compuesto por un cuerpo y dos cuchillas separadas a 180° dispuesta de tal forma que al cortar el pellet lo expulsan hacia fuera.

Figura 33. Ensamble porta cuchillas.

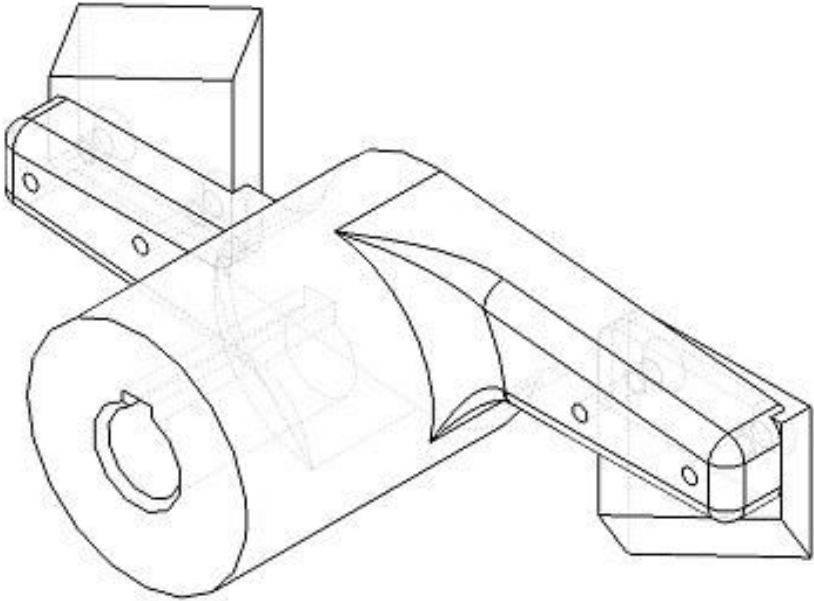
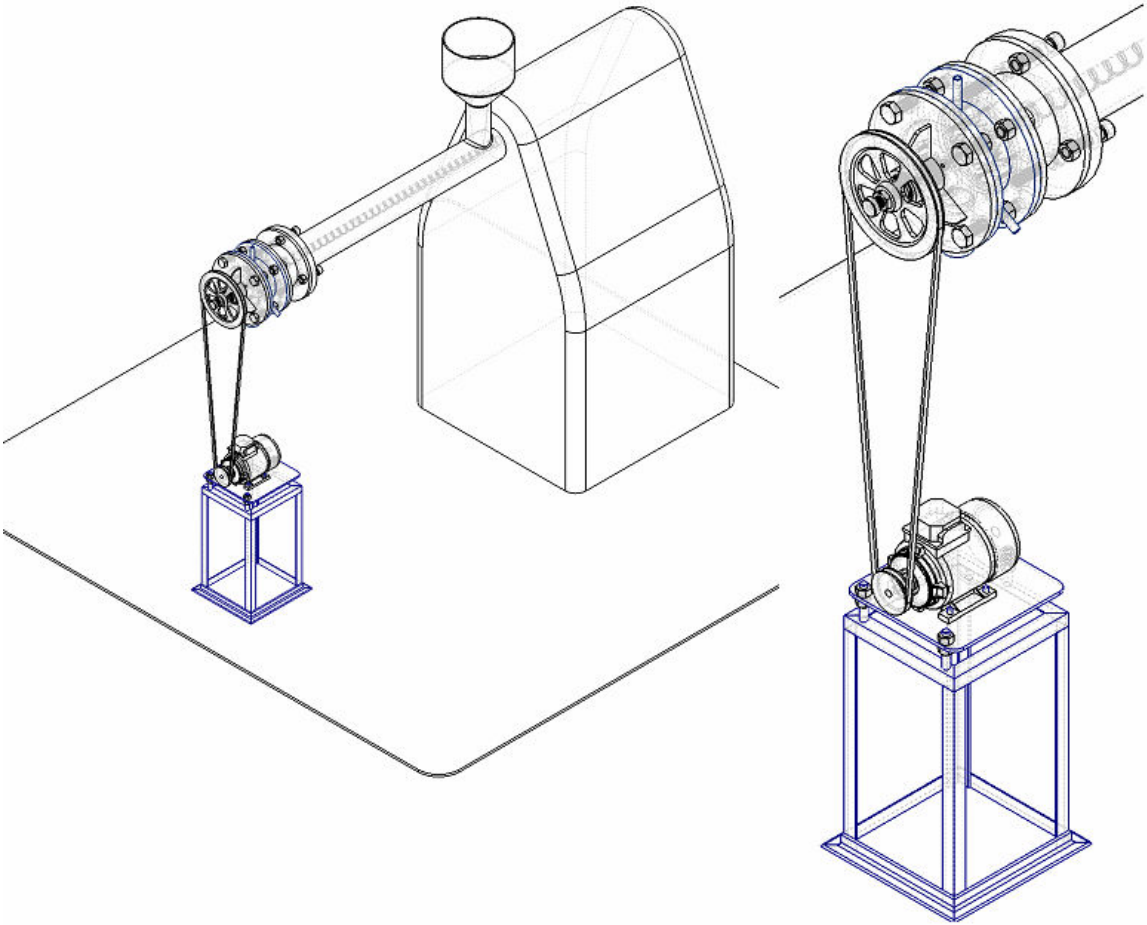


Figura 34. Ensamble pelletizadora con extrusora (Se muestra base motor)



3. CALCULOS

El proceso de cálculo permiten al ingeniero comprobar o asegurar dimensiones y propiedades de los distintos componentes, se consideran las partes críticas con el fin no solo de aumentar su vida útil sino también de encontrar la dimensión necesaria para soportar las fuerzas a las que serán sometidas.

Las ventajas del diseño basado en los cálculos de ingeniería son muy extensas ya que permiten a la persona conocer cual es el límite mínimo en cuanto a geometría o el límite máximo en cuanto a resistencia, generando un rango de uso en el cual el diseñador puede trabajar con el fin de lograr un diseño más útil, factible, confiable y a su vez económico.

Los cálculos se realizaron para la selección de algunas piezas comerciales como lo es el motor con el fin de definir las especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento de la pelletizadora.

A continuación se presentarán los cálculos que se consideraron necesarios en cuanto a producción, características de extrusión, partes sus características y posibles fallas.

Se han considerado partes críticas aquellas de las cuales depende el correcto funcionamiento de la pelletizadora, el motor y el eje y el sistema de transmisión.

Las propiedades del material con las que se realizaron los cálculos serán las del polietileno Hostalen GF4760.

3.1. CALCULOS Y RESULTADOS DE VELOCIDAD DE CORTE.

Este cálculo se trata de encontrar la velocidad de corte necesaria para lograr una geometría determinada al pellet la cual hemos definida de 4mm de longitud por 3mm de diámetro.

3.1.1. Datos iniciales.

Densidad del polietileno de alta densidad Hostalen GF 4760

$$\rho = 956 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Flujo másico a través del cabezal

$$Q_{mT} = 200 \text{ Kg} / \text{h}$$

Número de perforaciones del disco divisor.

$$N_{pdd} = 66$$

Longitud deseada de pellets

$$L_{pellets} = 4 \text{ mm}$$

Diámetro de pellets perforaciones del disco

$$D_{pellets} = 3 \text{ mm}$$

3.1.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Suponiendo un flujo másico total a través del cabezal de 200 Kg/h, y teniendo que el disco divisor tiene 66 perforaciones necesitamos conocer el flujo másico (Q_m) a través de cada perforación:

$$Q_m = \frac{Q_{mT}}{N_{pdd}}$$
$$Q_m = \frac{200 \text{ Kg/h}}{66}$$
$$Q_m = 3.03 \text{ Kg/h}$$

El volumen del pellet (V_{pellet}) lo encontramos con la geometría antes descrita multiplicando el área por la

longitud mediante la fórmula:

$$V_{pellet} = \frac{D_{pellet}^2 \times \pi}{4} \times L_{pellet}$$

$$V_{pellet} = \frac{(.003m)^2 \times \pi}{4} \times .004m$$

$$V_{pellet} = 2.82743 \times 10^{-8} m^3$$

El flujo volumétrico (Q_{vp}) a través de cada perforación lo calculamos con la fórmula que relaciona el flujo másico la densidad y el flujo volumétrico.

$$Q_{vp} = \frac{Q_m}{\rho}$$

$$Q_{vp} = \frac{3.03 \text{ Kg/h}}{956 \text{ Kg/m}^3}$$

$$Q_{vp} = 31.6977 \times 10^{-4} m^3/h$$

El tiempo necesario para que la cuchilla de una revolución (Período T) y corte el pellet con la longitud deseada la hayamos mediante la fórmula

$$t = \frac{V_{pellet}}{Q_{vp}}$$

$$t = \frac{2.82743 \times 10^{-8} m^3}{31.6797 \times 10^{-4} m^3/h}$$

$$t = 8.919987 \times 10^{-6} h = 0.03211s$$

Debido a que son dos cuchillas separadas 180° el tiempo se reduciría a la mitad por lo tanto

$$t_{corte} = \frac{t}{2}$$

$$t_{corte} = \frac{0.03211s}{2}$$

$$t_{corte} = 0.01606s$$

Teniendo en cuenta que la frecuencia es el inverso de período

$$w = \frac{1}{t}$$

$$w = \frac{1}{0.01606s}$$

$$w = 62.2821s^{-1}$$

Las revoluciones de las cuchillas se
hayan de la siguiente manera

$$rpm = \frac{w \times 60s}{2 \times \pi_{rad}}$$
$$rpm = \frac{62.2821s^{-1} \times 60s}{2 \times \pi}$$
$$rpm = 594.75$$

3.2. CALCULOS y RESULTADOS DEL TORQUE EN LA FLECHA

Los cálculos del torque se realizaran con los datos del polietileno de alta densidad
Hostalen GF4760

3.2.1. Datos de entrada

Esfuerzo de cizalladura del material a la salida del cabezal

$$\tau = 437.492KPa$$

Esfuerzo de Trabajo del material a temperatura ambiente

$$Syp = 27MPa$$

Coefficiente de fricción del material con el acero

$$\mu = 0.2$$

Area del pellet

$$A = 7.08 \times 10^{-6} m^2$$

Número de pellets que corta cada cuchilla al tiempo

$$\# pc = 3$$

Número de pellets que cada cuchilla sobrepasa a tiempo

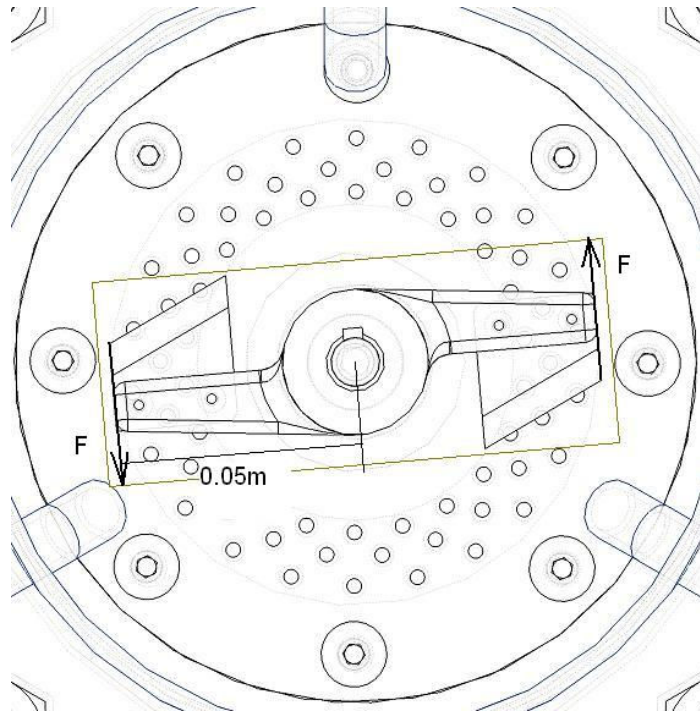
$$\# ps = 8$$

Radio de las cuchillas (r)

$$r = 0.05m$$

3.2.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Figura 35. Fuerzas en las cuchillas



Calculamos la fuerza necesaria (F_1)
para cortar tres pellets al tiempo

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$F_1 = \tau \times A_T$$

$$A_T = A_{pellet} \times \# pc$$

$$F_1 = (437.492 \times 10^3 Pa)(7.06 \times 10^{-6} m^2 \times 3)$$

$$F_1 = 9.277N$$

Calculamos la fuerza de fricción (F_2)
ejercida por los pellets y las cuchillas

$$F_2 = A_T \times S_{yp} \times \mu$$
$$A_T = A_{pellet} \times \# ps$$
$$F_2 = (7.06 \times 10^{-6} m^2 \times 8)(27 \times 10^6 Pa)0.2$$
$$F_2 = 305.36N$$

Sumamos las dos fuerzas
encontradas para hallar la total (F_T)

$$F_T = F_1 + F_2$$
$$F_T = 9.277N + 305.36N$$
$$F_T = 314.64N$$

Calculamos el torque multiplicando la
fuerza total por el radio de las
cuchillas

$$T = F_T \times r$$
$$T = 314.64N \times 0.05m$$
$$T = 15.732Nm$$

3.3. CALCULOS y RESULTADOS DEL MOTOR

3.3.1. Datos de entrada

Torque

$$T = 15.732Nm$$

Revoluciones

$$rpm = 594.75 = 62.2821s^{-1}$$

Eficiencia %

$$E = 96\%$$

3.3.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Cálculo de potencia

$$P = wT$$
$$P = 62.2821s^{-1} \times 14.47Nm$$
$$P = 901.4363W$$
$$P = 1.37Hp$$

3.4. CALCULO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR MEDIO DE POLEAS

3.4.1. Datos de entrada

Motor

$$P = 1.37Hp$$

$$Velocidad = 1800rpm$$

Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Calculamos la potencia de diseño, C_1 lo tomamos de la tabla 19.9 del anexo B

$$Pd = C_1 \times P(HP)$$
$$Pd = 1.25 \times 1.37$$
$$Pd = 1.7$$

Definimos el diametro de la polea conductora en base al perfil de la correa que lo observamos en la tabla 19.12 del anexo B y luego en tabla 19.8 del mismo anexo.

$$D = 0.08m$$

El diámetro de la polea conducida lo hayamos tomando en cuenta la velocidad en la flecha, el motor y el diámetro de la polea conductora

$$D = \frac{n_1}{n_2} \times d$$
$$D = \frac{1800rpm}{594.75rpm} \times 0.08m$$
$$D \approx 0.24m$$

Longitud de la correa asumiendo una distancia entre centros (c) de 0.75m por la posible deposición de la máquina.

$$L_c = 1.57 \times (D + d) + 2c + \frac{(Dn - dn)^2}{4c}$$

$$L_c = 1.57 \times (0.24m + 0.08m) + 2 \times 0.75m + \frac{(0.24m - 0.08m)^2}{4 \times 0.75m}$$

$$L_c = 2.01m$$

Tomamos una longitud de 2.07m que es la mas aproximada según la tabla 19,10 del anexo B

Velocidad Lineal Transmitida por la Correa

$$V(m/s) = \frac{\pi \times d \times n_1}{60000}$$

$$V(m/s) = \frac{\pi \times 80mm \times 1800rpm}{60000}$$

$$V(m/s) = 7.54 m/s$$

El ángulo de abrazado (α) de la polea Conductora el cual es el ángulo que forma el contacto entre la polea conductora y la correa se obtiene a partir de

$$\alpha = 180^\circ - \frac{(D_n - d_n)}{c} \times 57^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - \frac{(0.24mm - 0.08mm)}{0.75mm} \times 57^\circ$$

$$\alpha = 167.84^\circ$$

Potencia efectiva s la cual se obtiene a partir de la potencia teórica por la tabla 19.7, y los factores de las tablas 19.11 y 19.13. del anexo B

$$P_e = P_t \times C_2 \times C_3$$

$$P_e = 1.4Hp \times 0.89 \times 0.98$$

$$P_e = 1.22108Hp$$

Número de Correas (M) necesarias para poder transmitir la potencia y velocidad requeridas en el sistema

$$M = \frac{P_d}{P_e}$$

$$M = \frac{1.7Hp}{1.22Hp}$$

$$M = 1.4$$

Necesitaremos dos correas de A 13x8x2070 (tabla 19.10 anexo B)

3.5. CALCULOS Y RESULTADOS DE LA FLECHA PEQUEÑA

3.5.1. Datos de entrada

Torque ejercido en la flecha

$$T = 15.732Nm$$

Diámetro de la flecha

$$D = 0.010m$$

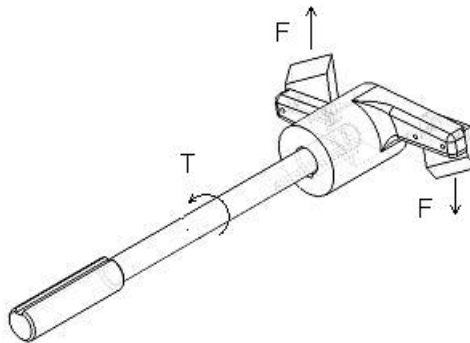
Esfuerzo cortante del acero inoxidable recocido AISI 304

$$\tau = 241MPa$$

La flecha pequeña esta sometida solo al torque ejercido en las cuchillas como se observa en la figura 35.

3.5.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Figura 36. Diagrama de fuerzas aplicadas en la flecha pequeña



Calculamos el esfuerzo cortante ejercido en la flecha debido al torque aplicado

$$\tau = \frac{16 \times T}{\pi \times D^3}$$
$$\tau = \frac{16 \times 15.732Nm}{\pi \times (0.01m)^3}$$
$$\tau = 80.122MPa$$

Comparando el τ del material con el de la flecha nos damos cuenta que $\tau = 150MPa > \tau = 80.122Pa$ por lo tanto la flecha aguantara el torque ejercido sobre ella.

3.6. CALCULOS Y RESULTADOS DE LA FLECHA HUECA

3.6.1. Datos de entrada

Radio de la polea conducida

$$R_c = 0.12m$$

Torque

$$T = 15.732Nm$$

Esfuerzo del acero AISI 1020

$$\tau = 344MPa$$

Diámetros exterior e interior de la flecha

$$D_o = 0.03m$$

$$D_i = 0.02m$$

3.6.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

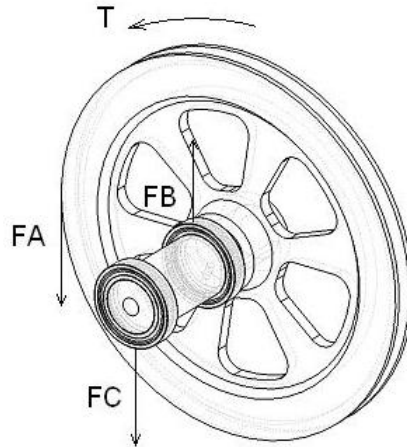
Primero calculamos la fuerza ejercida por la polea (F_A)

$$F_A = 1.5 \times \frac{T}{R_c}$$

$$F_A = 1.5 \frac{15.732Nm}{0.12m}$$

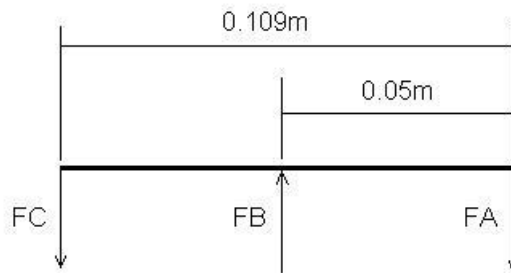
$$F_A = 196.65N$$

Figura 37, Distribución de fuerzas en flecha hueca



Propia

Figura 38, Diagrama de fuerzas en la flecha hueca



Propia

Calculamos las fuerzas restantes haciendo sumatoria de momentos y fuerzas

$$\Sigma MC = 0$$

$$0 = 196.65\text{N} \times 0.109\text{m} - F_B \times 0.059$$

$$F_B = 363.3\text{N}$$

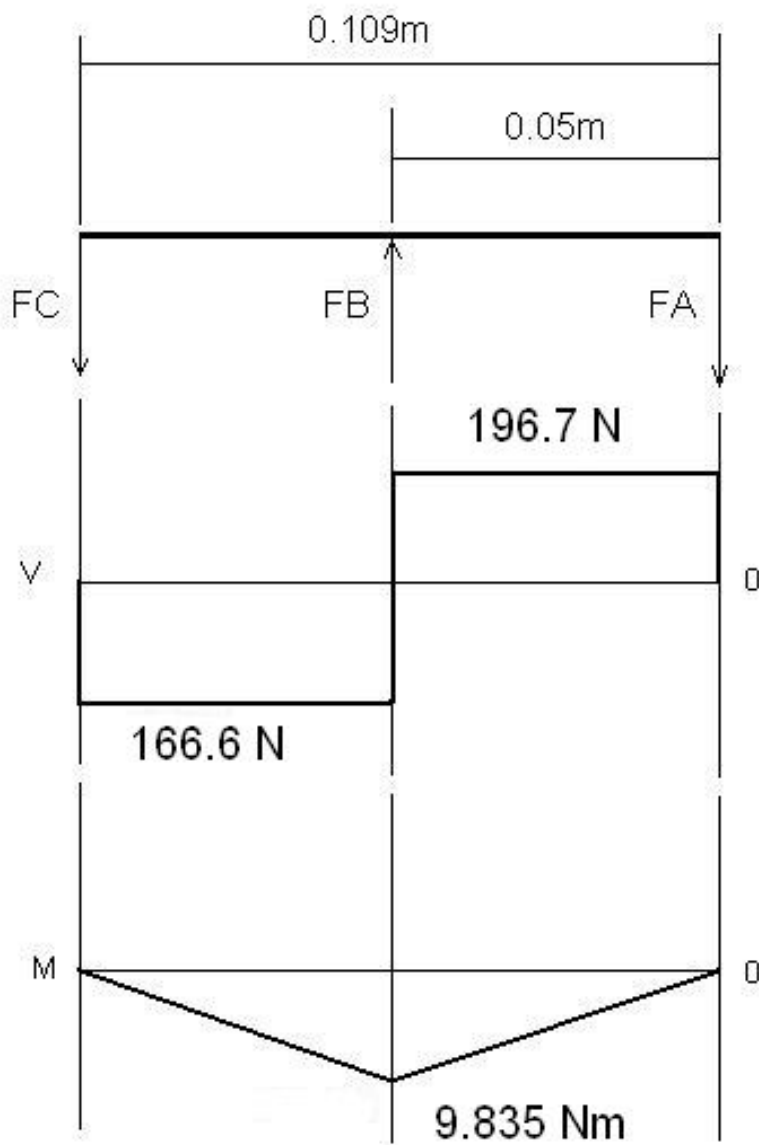
$$\Sigma Fy = 0$$

$$0 = -196.65\text{N} + 363.3\text{N} - F_C$$

$$F_C = 166.6\text{N}$$

Con las fuerzas y las distancias entre ellas podemos calcular el momento flector máximo.

Figura 39, Diagrama de cargas



Propia.

Calculamos el T_{\max} soportado por la flecha

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi D_o^3 \left[1 - \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^4 \right]} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_{yp}}{S_e} M_r \right)^2 + \left(T_m + \frac{S_{syp}}{S_{es}} T_r \right)^2}^3$$

$$S_e = C_R C_S C_F C_W \frac{1}{K_f} S'_n{}^4$$

M_m = Momento flexionante aplicado

M_r = Momento flexionante variable aplicado

T_m = Par torsión medio aplicado

T_r = Par torsión variable aplicado

S_{yp} = Esfuerzo de cedencia a tensión del material

S_{syp} = Esfuerzo de cedencia a corte del material

S_e = Esfuerzo límite de fatiga por tensión

S_{es} = Esfuerzo límite de fatiga por corte

³ Ecuación de T_{\max} sacada del libro de Diseño de Máquinas de Deutschman página 359

⁴ Ecuación de esfuerzo factor de T_{\max} sacada del libro de Diseño de Máquinas de Deutschman página 134

Tomando un factor de supervivencia del 95% hayamos el factor de confiabilidad

$$C_R = 1 - 0.08(D.M.F)$$

$$C_R = 1 - 0.08(1.64) \quad ^5$$

$$C_R = 0.8688$$

Factor de corrección por tamaño $C_S = 0.85^6$

Factor de corrección por acabado de la superficie $C_F = 0.9^7$

Factor de corrección por soldadura $C_W = 1$

Esfuerzo de fatiga del material $S'_n = 0.5S_u$
 $S'_n = 0.5 \times 441E^6 Pa$
 $S'_n = 220.6E^6 Pa$

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga $K_f = 2.8$
 $S_e = 0.8688 \times 0.85 \times 0.9 \times 1 \times \frac{220.6E^6 Pa}{2}$

Esfuerzo límite de fatiga por tensión $S_e = 73.319E^6 Pa$

Debido a que la carga flexionante es repetitiva $M_m=0$; ya que no hay volantes, embragues, etc, el par torsor será estable por lo tanto $T_r=0$.

⁵ Ecuación factor de confiabilidad sacada del libro de Diseño de Máquinas de Deutschman páginas 123 y 124.

⁶ Factor de corrección por tamaño sacado del libro de Diseño de Máquinas de Deutschman página 125.

⁷ Factor de corrección por acabado de la superficie sacado del libro de Diseño de Máquinas de Deutschman apéndice B, figura B-3 pagina 931.

⁸ Factor de concentración de esfuerzos por fatiga sacado del libro de Diseño de Máquinas de Deutschman apéndice B, figura B-1 pagina 930.

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi D_o^3 \left[1 - \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^4 \right]} \sqrt{\left(\frac{S_{yp}}{S_e} M_r \right)^2 + (T_m)^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi (0.03m)^3 \left[1 - \left(\frac{0.02m}{0.03m} \right)^4 \right]} \sqrt{\left(\frac{344MPa}{73.319Mpa} 9.835Nm \right)^2 + (15.732Nm)^2}$$

$$\tau_{\max} = 3.85MPa$$

Comparando estos valores con las propiedades del material observamos que son mayores las del material seleccionado por lo que esta flecha resistirá las fuerzas que actúan sobre ella. $344MPa > 3.85MPa$

3.7. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE SOLDADURA

3.7.1. Datos de entrada

Masa de toda la máquina

$$m = 34.46Kg$$

Tipo de soldadura

Soldadura de arco de flujo de núcleo 7018

Gravedad

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

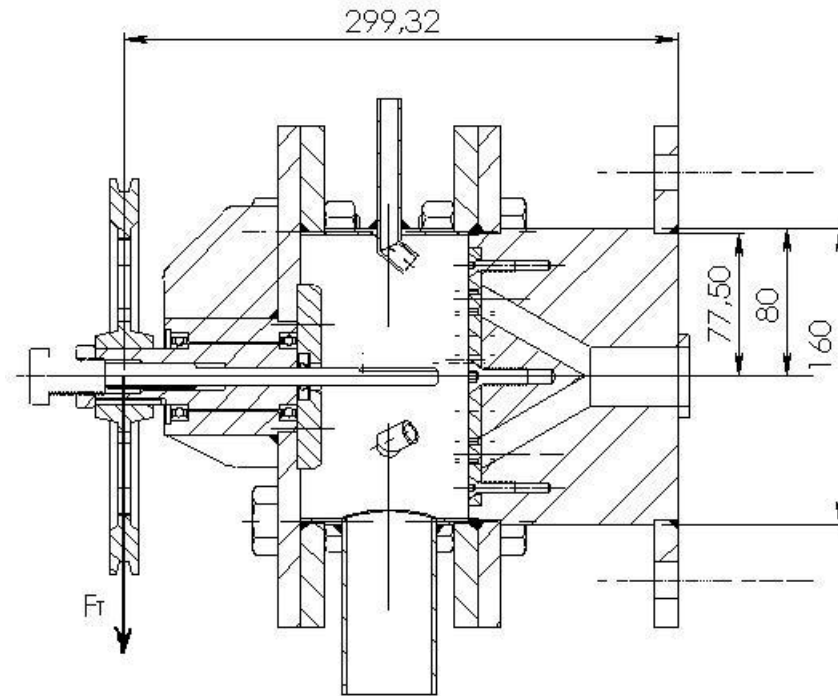
Fuerza ejercida por el motor

$$F_A = 196.65N$$

3.7.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Para obtener un mejor resultado la fuerza ejercida por el peso de la misma maquina será aplicado en el punto donde estará la tensión ejercida por la banda.

Figura 40. Distancias necesarias para cálculo de soldadura



la fuerza total ejercida es la suma de la fuerza producida por el peso mas la fuerza ejercida por la banda

$$F_T = mg + F_A$$

$$F_T = (34.46Kg \times 9.8 \frac{m}{s^2}) + 196.65N$$

$$F_T = 534.7026N$$

Para calcular la soldadura tenemos la siguiente ecuación

$$\frac{F}{2\pi r} + \frac{Mc}{Iu} = \left(0.707 \frac{S_{yp}}{2n}\right)w$$

F = Fuerza total

r = Radio del cordón de soldadura

M = Momento flexionante causado por la fuerza total

C = Diámetro del cordón de soldadura

I_u = Momento polar de inercia unitario

S_{yp} = Resistencia del material de aporte

n = Factor de seguridad

w = Tamaño nominal de la soldadura

$$w = \frac{\frac{F}{2\pi r} + \frac{Mc}{I_u}}{0.707 \left(\frac{S_{yp}}{2n} \right)}$$

Tenemos entonces que

$$w = \frac{\frac{534.7}{2\pi \times 0.0775} + \frac{534.7 \times 0.29932 \times 0.160}{2\pi \times 0.0775^3}}{0.707 \left(\frac{482.6 \times 10^6}{2 \times 2} \right)}$$

$$w = 0.0001241m = 0.1241mm$$

3.8. CALCULOS Y RESULTADOS DE LOS TORNILLOS

3.8.1. Datos de entrada

Fuerza ejercida

$$F_T = 534.7N$$

Propiedades del tornillo

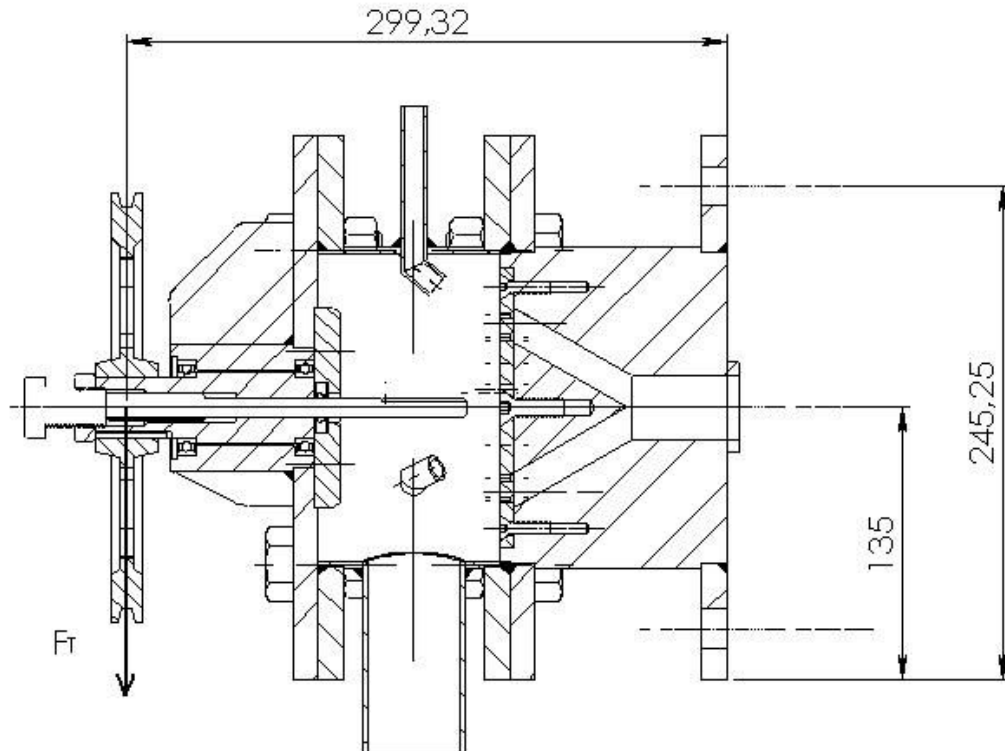
$$D = 3/4" = 19.05mm$$

$$S_T = 81kpsi = 558.5MPa$$

$$S_S = 74kpsi = 510.2MPa$$

3.8.2. Ecuaciones, proceso de cálculo y resultados

Figura 41. Distancias necesarias para cálculos de tornillos



Primero calculamos la fuerza cortante por cada tornillo

$$\tau = \frac{P}{A}$$

$$\tau = \frac{F/4}{\pi D^2/4}$$

$$\tau = \frac{\frac{534.7N}{4}}{\frac{\pi(0.01905m)^2}{4}}$$

$$\tau = 469KPa$$

Es claro que los tornillos de la parte superior están más cargados que los de la parte inferior

$$T = \frac{Md_2}{(d_1^2 + d_2^2)}$$

$$T = \frac{(534.7N \times 0.29932m) \times 0.24525m}{2 \text{ tornillos} (0.135m)^2 + (0.24525m)^2}$$

$$T = 408.62N$$

Esfuerzo de tensión en el tornillo más alejado

$$\sigma_t = \frac{408.62N}{2.85 \times 10^4 m^2}$$

$$\sigma_t = 1.434MPa$$

Esfuerzo máximo de tensión

$$\sigma_{t(\max)} = \frac{\sigma_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{t(\max)} = \frac{1.434 \times 10^6 Pa}{2} + \sqrt{\left(\frac{1.434 \times 10^6 Pa}{2}\right)^2 + (469 \times 10^3 Pa)^2}$$

$$\sigma_{t(\max)} = 1.58MPa$$

Comparando este valore con el del material observamos que es mucho mayor el del material seleccionado por lo que esta flecha resistirá las fuerzas que actúan sobre ella. $558.5MPa \gg 1.58MPa$

4. CONSTRUCCION

El proceso de construcción se realizó en los laboratorios de máquinas y herramientas, modelos y soldadura pertenecientes a la universidad Eafit en el periodo comprendido entre el 19 de febrero y el 23 de marzo del 2007.

Los costos de los materiales que se utilizaron para la construcción de las piezas están descritos en la tabla 20, cabe recalcar que no se presupuestan la mano de obra ni el tiempo de maquinado ya que estos no fueron valorados por el hecho de haber sido fabricados en los laboratorios de la universidad Eafit.

Los materiales fueron adquiridos en Ferrocortes, la tornillería en Mundial de Tornillos, los rodamientos y sellos en Se-Gira; cada uno de los proveedores especializados en los productos deseados con el fin de garantizar calidad de los productos, además se busca que tengan certificación ISO 9000 para confirmar lo anterior.

Tabla 20. Costos materiales a 10/02/2007.

COSTO MATERIA PRIMA					
MATERIAL	COMPONENTES	DIMENSIONES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	DISTRIBUIDOR
ACERO 1020	CABEZAL	6" x 120mm	1		FERROCORTES
ACERO 1020	TORPEDO	65mm x 70mm	1		
ACERO 1020	FLANCHES	D 275mm x 1/2"	5		
ACERO 1020	FLECHA HUECA	35mm x 160mm	1		
ACERO INOXIDABLE	FLECHA PEQUEÑA	14mm x 190mm	1		
ACERO INOXIDABLE	DISCO	D 150mm x 1/4"	1		
ACERO 1020	SOPORTE FLECHA	2 1/2" x 125mm	1		
ACERO 1020	PORTACUCHILLAS		1		
ACERO 1020	CAMIZA	6" x 120mm	1		
ACERO 1020	TAPA RETENEDOR	D 105mm x 1/2"	1		
		SUBTOTAL		\$ 300.000,00	
TORNILLERIA			48	\$ 31.766,00	MUNDIAL DE TORNILLOS
RODAMIENTOS			2	\$ 6.000,00	CENTRAL DE RODAMIENTOS
RETENEDORES			1	\$ 6.000,00	
TOTAL				\$ 343.766,00	

A continuación se describe brevemente los procesos a los cuales fueron sometidas las piezas con el fin de obtener el resultado final, se totalizó la cantidad de tiempo necesario por proceso para determinar el costo de manufactura de la PELLETIZADORA.

El proceso de construcción se realiza con base en los planos de taller realizados en el programa Solid Works, los cuales se adjuntan en el anexo C.

Teniendo como base algunas cotizaciones realizadas con estos planos en algunos talleres de mecanizado se llegó a la conclusión que el mecanizado tiene los siguientes costos:

Tabla 21. Costo hora maquinado.

	TORNO	TORNO CNC	FRESADORA	FRESADORA CNC
COSTO HORA TALLER	\$25.000	\$50.000	\$25.000	\$50.000

Según el tiempo suministrado por los laboratorios de la universidad Eafit, se puede calcular los costos de manufactura.

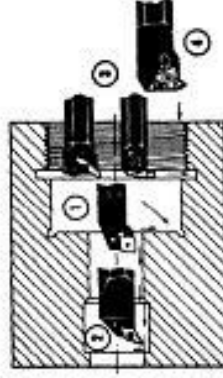
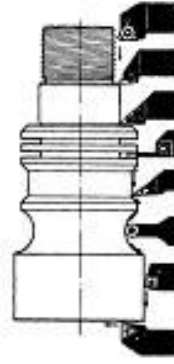
Tabla 22. Costo Máquina.

ITEM	VALOR
COSTO MATERIALES	\$ 343.766,00
COSTO MAQUINADO	\$350000,00
COSTO ENSAMBLE	\$ 50.000,00
SISTEMA TRANSMISIÓN	
TOTAL	\$ 743.766,00

Para determinar el costo de la máquina necesitamos sumar el costo de los materiales más el costo de mecanizado y además sumarle costos indirectos de fabricación donde se tiene en cuenta costos de transporte, ensamble, montaje, ensayos, material plástico reciclable, entre otros.

TORNO - FRESADORA

MAQUINADO	TORNEADO EXTERIOR				TORNEADO INTERIOR				FRESADORA		
	CILINDRADO	REFRENADO	ROSCADO	RECTIFICADO	CILINDRADO	REFRENADO	ROSCADO	RECTIFICADO	RECTIFICADO	PERFORACIONES	CHAVETEROS
CABEZAL	X	X			X	X	X	X		X	
DISCO	X	X		X					X	X	
FLANCHES	X	X		X						X	
CAMISA	X	X								X	
EJE INTERIOR	X	X		X							X
FLECHA HUECA	X	X		X	X	X	X	X			X
SOPORTE RODAMIENTO S	X	X		X	X	X		X			



5. CONCLUSIONES

El mundo entero esta siendo guiado económicamente por la industria del plástico; la necesidad de innovar en cuanto a maquinaria y a procesos es cada vez mayor ya que cada día aumentan las exigencias de los clientes y por lo tanto las empresas deben invertir en nuevos procesos que los hagan más efectivos en la producción y por consiguiente más competitivos frente al mundo.

Las pequeñas industrias por su reducido capital se tienden a extinguir ya que no son capaces de mantenerse tecnológicamente en el mercado, con el prototipo que construimos se pretende abrirles las puertas a estas empresas para que con poco capital puedan acceder a esta tecnología que no se ha explotado completamente en el mercado nacional y aumentará la efectividad en la producción reduciendo tiempos, espacio y sobre todo aumentando la calidad y homogenizando el proceso.

Las bondades que le ofrece la máquina al sector son altas en cuanto a forma, operabilidad, mantenibilidad, de bajo costo y que se puede ajustar a las necesidades de la industria; las diferencias entre la máquina de EREMA y las de nosotros esta basada en la parte eléctrica, electrónica y en el sistema de transmisión de potencia los cuales fueron adaptados a nuestro medio teniendo en cuenta las necesidades principales entre las cuales están el bajo costo y el cumplimiento de la función principal.

El proceso de diseño nos llevo a tener un sin número de problemas que fuimos sobrellevando con el paso de los días con la ayuda de los diferentes profesores encargados de cada tema.

El principal problema que tuvimos y aún tenemos es la disposición de la extrusora de la Universidad Eafit, lo que no solo nos atraso durante el desarrollo del proyecto sino que nos impidió la realización de pruebas del

prototipo construido, dichas pruebas van a ser realizadas por el laboratorio de plásticos de la universidad Eafit una vez terminado el montaje de la extrusora.

Los cálculos realizados sirven para dimensionar la máquina y además para la selección de los materiales adecuados que nos cumplan con la resistencia a la cual debe estar sometida, esto es importante ya que se garantiza que las partes no van a fallar por causa de un esfuerzo no estipulado en la etapa de diseño.

El proceso de diseño nos sirve para determinar los factores que intervienen la máquina, así como tener en cuenta el direccionamiento de los flujos para conocer la influencia de estos en el funcionamiento; el planteamiento de varios portadores nos abre la posibilidad de otros diseños por lo cual se realizaron varias propuestas de donde se tomaron ideas para realizar una propuesta final que agrupara todas las bondades de las demás propuestas.

Las piezas de la máquina que tiene contacto con agua se deben fabricar en acero inoxidable, o ser sometidas a un tratamiento térmico como galvanizado en caliente para evitar la corrosión.

El sistema de transmisión ideal por medio de un moto-reductor pero en nuestro proyecto por efectos de costos y facilidad de consecución nos orientamos por un sistema de transmisión por polea y banda.

La máquina para un buen funcionamiento se debe mantener lubricada y en excelente alineación para evitar el daño permanente de las cuchillas.

Las cuchillas son comerciales y se consiguen con un periodo de 1 a 2 días después del pedido en Aceros Bohler de Colombia S.A.

Para un correcto funcionamiento del eje regulador se debe mantener bien lubricado el tornillo para evitar que se atasque y el resorte para que mantenga el eje a tope.

Después de realizar las pruebas en el laboratorio de plásticos de la universidad se debe analizar el comportamiento del material en el cabezal para definir si es

necesario cromar la superficie que tiene contacto con el material para evitar la fricción.

De acuerdo al tamaño de pellets requeridos la empresa que adquiera la máquina inicialmente es la Universidad Eafit puede tener un Stock de discos con diferente geometría en cuanto a diámetro y cantidad, dependiendo de la presión que pueda alcanzar la extrusora.

Se definieron para soportar los planches tornillería de $\frac{3}{4}$ " para disminuir el costo de herramienta y facilitar el montaje y mantenimiento de la máquina.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. CLASICA.

CANO CARDONA, David Alexander y ESCOBAR TOBON, Juan David. Fundamentos básicos para la planeación de la producción en empresas recicladoras de termoplásticos. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería de Producción. Medellín, Colombia, 2000. p. 44-46.

DEUTSCHMAN, Aarón; MICHELS, Walter J. y WILSON, Charles E. Diseño de Máquinas: Teoría y Práctica. 6ª ed. Ciudad de México: Continental, 1995. 973 p. (MECHANICAL ENGINEERING SERIES). ISBN 9682606004.

GARCÍA, Luís Alberto. Curso Reciclaje de plásticos. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2006.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de grado. Quinta actualización. Bogotá DC.: ICONTEC, octubre 2004. NTC 1486.

MICHAELI, Walter, Extrusion Dies for Plastics and Rubber ISBN-13: 978-3-446-22561-9

NORTON, Robert I. Diseño de maquinaria: una introducción a la síntesis y al análisis de mecanismos y maquinas. Mexico: Mcgraw-Hill, 1995. 794p. (THE ELECTRIC POWER ENGINEERING). ISBN 9701008200.

Plastics for Engineer. Domininghaus. Publicación con información básica sobre los materiales plásticos. Sexta actualización. Boston, Estados Unidos: septiembre 2005

RAVE, Roberto. Curso Inyección de Plásticos. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2005.

RODRIGUEZ, Carlos. Curso Extrusión de plásticos. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2006.

TOOD, David B. Plastics Compounding. Equipment and Processing.. Plastics Compounding. Equipment and Processing. Cincinnati, Estados Unidos : Hanser Publications, 1998. p. 259-266. ISBN 3-446-15861-8

6.2. INTERNET

ACOPLASTICOS@2006

Entidad dedicada al estudio de los plásticos: Visitado en Octubre de 2006 < URL : <http://www.acoplasticos.org/principal.php>

ENCARTA@

Enciclopedia con información sobre los plásticos. En línea. - Visitado el 25 de Septiembre de 2005: < URL: <http://es.encarta.msn.com/encyclopedia>

EREMA@

Sistema de granceado de placa caliente frontal HG Disponible en internet: <URL : <http://www.ereima.com> >

IMPI@2006

Instituto mexicano de plásticos: Enciclopedia del plástico. Visitado en Septiembre de 2006 < URL : [http:// www.impi.mx](http://www.impi.mx).

JORPLAST@.

Curso básico de plásticos en línea. Visitado el 26 de Septiembre de 2005: < URL: [http:// www.jorplast.com.br](http://www.jorplast.com.br)

MATWEB@.

Página en línea donde encontramos propiedades y características de cada uno de los materiales. Visitado el 25 de Septiembre de 2005.
<URL:<http://www.matweb.com>

UDLAP@.

Proceso de reciclaje de plásticos: Visitado el 25 de Septiembre de 2005 < URL:
[http:// www.udlap.mx](http://www.udlap.mx)

TEXTOSCIENTIFICOS@2006

Proceso extrusión de polímeros: textos educativos: Visitado en Septiembre de 2006< URL : [http:// www.textoscientificos.com](http://www.textoscientificos.com).