

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS
DE GRAN VOLUMEN EN POLIPROPILENO RECICLADO

JUAN MANUEL VICENTE PÉREZ
JUAN PABLO LÓPEZ PÉREZ

UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE PROYECTOS
MEDELLÍN
2006

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS
DE GRAN VOLUMEN EN POLIPROPILENO RECICLADO

JUAN MANUEL VICENTE PÉREZ
JUAN PABLO LÓPEZ PÉREZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO EN LA UNIVERSIDAD EAFIT

ASESOR
CARLOS ARTURO RODRÍGUEZ
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
AREA DE PROYECTOS
MEDELLÍN
2006

DEDICATORIA

A nuestras familias y amigos...

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todas las personas que aportaron positivamente, en el desarrollo de nuestro proyecto de grado, con su conocimiento técnico y apoyo moral.

A nuestras familias por apoyarnos siempre en todas nuestras decisiones y ayudarnos a ser cada día mejores personas. Brindándonos la oportunidad de estudiar una carrera como la Ingeniería Mecánica.

Al asesor Carlos Rodríguez por su acompañamiento y orientación durante todo el proceso.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	12
1.1 Antecedentes	13
1.2 Definición del problema.....	19
1.3 Justificación	20
2. OBJETIVOS.....	22
2.1 Objetivo General.....	22
2.2 Objetivos especificos	22
3. ENFOQUE	23
4. LOS PLÁSTICOS.....	24
4.1 Procesos de conformación de plásticos.....	25
4.2 Propiedades más importantes de los plásticos.....	31
5. CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA.....	44
5.1 Características:.....	45
5.2 Principales usos:.....	46
5.3 Forma:.....	46
5.4 Cuidados con el recuperado.....	47
6. PIEZAS DE GRAN VOLUMEN.....	49
7. TECNOLOGIAS PARA EL PROCESAMIENTO.....	53
7.1 Tecnología de punta del proceso.....	53
7.2 Proceso utilizado a nivel local.....	56
8. SOLUCIONES ESPECIFICAS.....	59
8.1 Sistema de alimentación tolva.....	59
8.2 Alimentación forzada.....	59
8.3 Sistemas de Plastificación.....	61
8.4 Zona de alimentación.....	68
9. PROCESO CONCEPTUAL DE DISEÑO.....	75
9.1 Metodologia	75

9.2	Establecimiento de funciones	76
9.3	Posibles soluciones.	109
9.4	Evaluacion de las alternativas.....	123
9.5	Definicion de la alternativa seleccionada.	129
10.	CONCLUSIONES.....	149
11.	BIBLIOGRAFIA.....	152

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para el procesamiento de los polímeros	15
Tabla 2. Características de los procesos de formado y moldeo de plásticos y materiales compuestos.	25
Tabla 3. Estructura funcional.....	83
Tabla 4. Lista de requerimientos y deseos.....	86
Tabla 5. Matriz morfológica.	90
Tabla 6. Controlar suministro de energía, dividir flujo de energía, transformar energía eléctrica en energía mecánica, reducir velocidad.	94
Tabla 7. Transmitir energía mecánica, variar velocidad.....	95
Tabla 8. Controlar temperatura, transformar energía eléctrica en térmica.	96
Tabla 9. Contener el material de alimentación, transportar el material a alimentar y Dosificar el material sólido al sistema de plastificación.	97
Tabla 10. Transportar material a la zona de fundido, transferencia de calor y sensor temperatura.	98
Tabla 11. Sensor temperatura, homogenizar el material y conducirle material fundido.	99
Tabla 12. Llenar molde y estabilizar la pieza dimensionalmente.	100
Tabla 13. Desmoldar la pieza.....	101
Tabla 14. Tabla de ventajas y desventajas de los sistemas de fundición. ...	102
Tabla 15. Fundir material.	104
Tabla 16. Matriz morfológica reducida.	106
Tabla 17. Configuración de funciones para la solución 1.....	114
Tabla 18. Especificaciones de la solución 1.....	116
Tabla 19. Configuración de funciones para la solución 2.....	116
Tabla 20. Especificaciones de la solución 2.....	119
Tabla 21. Configuración de funciones para la solución 3.....	120

Tabla 22. Especificaciones de la solución 3..... 122

Tabla 23. Valoración de criterios..... 126

Tabla 24. Tabla de valoración de las alternativas de solución. 128

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Procesos para la transformación de la materia prima.....	23
Ilustración 2. Extrusora monohusillo.....	28
Ilustración 3 Extrusora Ram	33
Ilustración 4. Tornillo de Arquimides.	34
Ilustración 5. Curva de fluidez.	40
Ilustración 6. Aglutinador.....	45
Ilustración 7. Tamaño de grano del material.	47
Ilustración 8. Prueba de corte realizada a la madera plástica, se puede apreciar las discontinuidades del material.	50
Ilustración 9. Prueba realizada a la madera plástica.....	51
Ilustración 10. Acabado superficial de la pieza.	51
Ilustración 11. Campaña educativa alcaldía de Bogota.....	52
Ilustración 12. Esquema de la máquina COAX de EREMA.....	53
Ilustración 13. Máquina para polipropileno de la empresa NGR Recycling Machines.....	55
Ilustración 14. Maquina para peletizar PP reciclado de YEI Machinery Factory.	56
Ilustración 15. Proceso de reciclaje.....	57
Ilustración 16. Sistema de alimentación forzada por tornillo.	60
Ilustración 17. Alimentación con vibración.	61
Ilustración 18. Esquema de alimentación ranurada.....	71
Ilustración 19. Sección de alimentación ranurada.....	72
Ilustración 20. Tornillos especiales de sección cónica.	74
Ilustración 21. Tipos de flechas para los diferentes flujos.	77
Ilustración 22. Caja negra.	77
Ilustración 23. Funciones secundarias.	78

Ilustración 24. Balance de energía en el proceso de extrusión del polímero.	109
Ilustración 25 Parametrización	113
Ilustración 26. Arbol de objetivos.....	124
Ilustración 27. Dimensiones del tornillo	130
Ilustración 28. definición de parametros de los tornillos.....	131
Ilustración 29. Flujo en el tornillo.....	132
Ilustración 30. Caudal.....	133
Ilustración 31. Modelo para calculo del flujo de la extrusora	134
Ilustración 32. Propiedades del fundido.	135
Ilustración 33. Cálculos de flujo.....	137
Ilustración 34. Calculo de la extrusora.	138
Ilustración 35. Resultados obtenidos para la extrusora.....	139
Ilustración 36 Esquema general del sistema.....	142
Ilustración 37. Esquema del molde para tapas de alcantarillado.	146
Ilustración 38. Algunas medidas generales del molde.	147
Ilustración 39. Despiece del molde y pieza conformada.	148

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de fricción estático interno.	39
Ecuación 2. Coeficiente de fricción dinámico interno.	39
Ecuación 3. Viscosidad de cizalladura.	39
Ecuación 4. Balance de energía por unidad de masa del polímero.	110
Ecuación 5. Potencia teórica en operación adiabática.	110
Ecuación 6. Incremento de la entalpía del polímero.....	111
Ecuación 7. Potencia del motor requerida en operación adiabática.....	111
Ecuación 8. Potencia en HP.....	111
Ecuación 9. Consumo energético (Kw-H/Kg)	112

1. INTRODUCCION

Colombia actualmente esta profundizando en la cultura del reciclaje de los plásticos, cada día se están generando nuevos usos en diferentes áreas, obteniendo muy buenos resultados, sin embargo la tecnología utilizada no es la mas adecuada y nuestro proyecto en especial sobre fabricación de piezas de gran volumen de Polipropileno reciclado se hace con pocos conocimientos técnicos, utilizando la misma tecnología que se utiliza para formar piezas, a partir de material virgen en forma de pellets y con procesos de formación empíricos como es el vaciado.

El proyecto tiene como fin estudiar los diferentes procesos que pueden ser utilizados en la conformación de piezas de polipropileno de gran volumen, se investigaran y se analizaran los parámetros que puedan afectar la productividad de las maquinas y la calidad del producto final, con el fin de seleccionar los componentes de un sistema que minimice la generación de piezas de mala calidad, maximizando la eficiencia del proceso. Los procesos de conformación del producto final no deben ser costosos ya que se desea fabricar productos de buena calidad a muy bajos costos.

La determinación de estos parámetros guía el proyecto en sus etapas siguientes, en las cuales se hace una selección de funciones y la forma como pueden ser ejecutadas, concluyendo en la selección y el esquema general de la maquina que genere la menor degradación del material y productividad, con bajos costos de operación, mantenimiento y una inversión inicial mínima. Este proyecto sirve para otros futuros que entren a diseñar específicamente cada uno de los componentes seleccionados.

1.1 ANTECEDENTES

La creciente expansión en el uso de los plásticos ha hecho que esta industria sea la de mayor desarrollo y crecimiento en el mundo, el consumo de bebidas, alimentos empacados, la fabricación de bolsas para diferentes usos y el reemplazo de materiales como los metales, concreto, etc. ha llevado a los plásticos a representar un alto porcentaje de los ingresos en la economía de los diferentes países, en Estados Unidos esta industria ocupa el cuarto lugar de acuerdo a los ingresos anuales. (SANCHEZ, 2003, pag13)

El uso de los polímeros esta en constante crecimiento y algunos catalogan esta era como la “Era del plástico”, en donde ha reemplazado materiales metálicos y cerámicos, en todos los campos, llegando a ocupar funciones que nunca se hubieran imaginado en los años 80’s. Con los polímeros existe la posibilidad de generar formas y lograr resistencia que otros no pueden en relaciones peso/resistencia/costo. Todos los polímeros están catalogados como materiales reciclables, existiendo algunas dificultades a la hora de la práctica en su reproceso.

Hoy por hoy, la industria del plástico ocupa un lugar preponderante entre los productos más comercializados a nivel mundial, pues otras industrias como, la eléctrica - electrónica, automotriz y autopartes, alimentos y bebidas, muebles, materiales de construcción, medicina, agricultura, adhesivos y muchas más

dependen del plástico en gran parte del proceso de fabricación, terminado, presentación y transportación de sus artículos. (soyentrepreneur@1998)

Los plásticos son materiales poliméricos que se obtienen mediante un proceso químico en el cual pequeñas moléculas se enlazan entre si para formar una gran molécula, este proceso es conocido como “Reacción de Polimerización, las productoras de plástico juegan con esta reacción para desarrollar materiales con diferentes características.

Los materiales poliméricos pueden ser clasificados en dos familias; Materiales termofijos que son aquellos materiales que su proceso de polimerización las cadenas de moléculas se entrecruzan generando un material insoluble e infusible. (SÁNCHEZ, 2003, Pág. 23)

Los materiales termoplásticos pueden ser calentados, fundidos, moldeados y enfriados varias veces, esto permite que sean reconformados facilitando su reciclaje en nuevos artículos de consumo.

Los materiales plásticos a su vez pueden ser clasificados en plásticos comunes, plásticos de ingeniería y plásticos de especialidad, sin embargo para este proyecto solo interesa los plásticos comunes dentro de los cuales se encuentra el Polipropileno. A continuación se muestra una tabla con los parámetros mas importante de procesamientos de los plásticos más comunes.

Tabla 1. Parámetros para el procesamiento de los polímeros

Plástico	Temp. Fundido (°C)	Temp. Molde (°C)	Velocidad del tornillo (RPM)	Presión (kg/cm ²)	Encogimiento (mm/mm)	Secado
Polietileno de baja densidad	190-288	10-38	Máxima	3.5-7.03	0.015-0.025	No
Polietileno de alta densidad	204-315	10-38	Máxima	3.5-7.03	0.025-0.04	No
Polipropileno	218-288	10-65	Máxima	3.5-7.03	0.015-0.020	No
Poliestireno	190-288	38-65	50-200	3.5-7.03	0.004-0.010	No
PVC Flexible	154-288	38-65	150-200	3.5-7.03	0.004-0.01	No
PVC Rígido	165-182	38-65	50-75	10.5-14.07	0.004-0.006	No

1.1.1 Reciclaje de Materiales Plásticos. El reciclaje era visto anteriormente como materia prima de mala calidad, debido a que la tecnología no estaba muy avanzada, pero con el daño que se genera actualmente al entorno, el hombre se ve en la necesidad de estudiar el reciclaje como una ciencia, en la cual se tratan todos los materiales que se pueden reprocesar como el papel, cartón y materiales poliméricos, entre otros.

Durante el procesamiento de materiales plásticos reciclados se genera dificultades de las cuales se mencionan algunas a continuación:

- La fabricación de un mismo producto con varias resinas dificulta la separación visual de materiales.
- Algunos plásticos son coextruidos con varios materiales lo que aumenta mucho los costos en el proceso de separación.
- No hay cultura de separación por parte de los consumidores.
- Materiales contaminados con desechos orgánicos.
- Poca cultura, control y reglamentación en la marcación de los productos.
- Marcaciones incorrectas de los productos por parte de los fabricantes.
- Algunos materiales necesitan de tratamientos complejos para ser reprocesados sin degradar mucho sus propiedades.
- Se requiere de procesos eficientes para mejorar la eficiencia del proceso y que sea un proceso económicamente viable.

El plástico reciclado comienza a ganar credibilidad en las empresas, las cuales mezclan material virgen con material reciclado, sin embargo inicialmente las normas gubernamentales impiden que se pueda explotar en todas las áreas de producción donde hay contacto directo con alimentos y la cultura de separar es muy pobre, además los procesos requeridos para lograr su un buen reciclaje no se justifican económicamente. La tecnología sigue su camino y llega al punto en el cual se puede obtener resinas recicladas con características similares al original y se desarrollan nuevos métodos para automatizar la separación.

1.1.2 Reciclaje de plásticos en Colombia. Actualmente hay algunas empresas en la Industria Nacional Colombiana que fabrica productos de gran volumen en polipropileno reciclado, el proceso se hace por medio de maquinas de extrusión convencionales para pellets, las cuales descargan el material directamente sobre el molde, con este proceso hay un porcentaje

muy alto de productos rechazados aumentando los costos a los productos. Este proceso genera piezas con propiedades muy variables, apariencias irregulares, lo que genera un gran problema para sacar productos estándar, con características similares.

Las empresas del sector del plástico en Colombia han presentado un crecimiento significativo. Muchas de estas empresas han nacido y se han desarrollado empíricamente, de tal forma que han aprendido a emplear y a conocer el comportamiento de los materiales plásticos y hacer de su actividad industrial una fuente de riqueza. Sin embargo, y a pesar de esta situación se debe tomar conciencia de la importancia de investigaciones técnicamente dirigidas que no solo tomen el valioso conocimiento adquirido mediante la práctica empírica, sino que puedan integrar a estos conocimientos conceptos teóricos que enriquezcan tanto las bases científicas como las bases tecnológicas relacionadas con la producción de materiales y procesos afines a la Ingeniería de Plásticos. Esto permitirá a futuro, no solo el mejoramiento en la aplicación práctica de los conceptos sobre los diversos procesos de producción de materiales y productos terminados, sino el desarrollo de importantes fuentes de aprendizaje y formación de profesionales capaces de afrontar retos técnicos y científicos en este campo a nivel nacional y global. (ECCI@2006)

Los principales problemas a los que se enfrentan los dedicados a recuperar resinas plásticas en el país, es que la tecnología utilizada, no es exclusivamente para el tipo de material que procesan, teniendo productividades muy bajas con altos consumos energéticos y los que producen piezas de gran volumen, utilizan el método de vaciado, el cual no

es el mas adecuado, para algunas piezas que requieren cumplir con normas para poder ser vendidos, siendo este proceso de vaciado poco costoso.

Anteriormente las empresas que se dedicaban a realizar piezas en materiales 100% reciclados y entre otros los de polipropileno, como estibas, madera plástica y otros, no se preocupaban por las propiedades de estos, ni por seguir alguna norma de calidad. Con la entrada de estos materiales a sectores como el de la construcción y en grandes contratos, se han creado ciertos parámetros que deben cumplir para poder hacer uso de estos. Lo que tiene en apuros a estas empresas dedicadas a recuperar y procesar los polímeros, por que a pesar de que se aumento enormemente la demanda, se les han presentado muchas devoluciones por no cumplir con las especificaciones de la norma*.

* Experiencia de empresas como extruplas la cual esta ubicada en la ciudad de Medellín.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

El procesamiento de piezas plásticas de gran volumen recicladas, a nivel local, es realizado de una forma muy empírica y rudimentaria en algunas empresas, con tecnologías poco apropiadas para garantizar la producción y características de las piezas. Al reconocer esta debilidad en la industria, nuestro proyecto busca la forma de realizarlas de una manera más eficiente, con mayor producción y calidad.

Los problemas que se encuentran en la industria del plástico están muy relacionados con el diseño, operación y control del equipo para obtener productos satisfactorios a precios competitivos.

- Un precio competitivo quiere decir:

El proceso debe alcanzar rápidamente unas condiciones estables para generar la menor cantidad de desperdicio posible, maximizar la producción en los procesos de extrusión o menores tiempos de ciclo en inyección y soplado.

- Etapas del proceso.

El procesamiento de los termoplásticos envuelve diferentes etapas termomecánicas.

La etapa de la plastificación en donde el polímero pasa de estado sólido (pellets, escamas, granos...) a un estado líquido homogéneo.

La segunda etapa es aquella, en donde se le da la forma al polímero fundido, haciendo que este fluya bajo presión en los moldes o dados.

La tercera etapa, es aquella en donde el producto final es enfriado.

- Lógica para el diseño de procesamiento de polímeros.

La lógica utilizada para el diseño de los procesos de transformación de polímeros, provienen de la observación de las características físicas que son comunes a la mayoría de los polímeros. (AGASSANT, 1991, Pág. XX)

1.3 JUSTIFICACION

El proyecto hace parte de una propuesta de negocio para una empresa de materiales plásticos, en la cual la selección entraría como un aporte al estudio técnico por parte de los integrantes del grupo, un buen proyecto acercaría a los involucrados a la realización de sus metas; trabajar como personas independientes generando empleo para el país.

Para poder obtener los resultados deseados, hay que investigar y tener conocimientos en las áreas de extrusión, materiales poliméricos, transferencia de calor, hidráulica, neumática y mecánica de materiales, áreas que son vistas en la carrera de Ingeniería Mecánica que actualmente cursan los expositores. La ingeniería es una carrera para crear, usando el ingenio, la capacidad de análisis y la creatividad de los profesionales. Con este proyecto se busca mejorar un proceso en el cual hay mucho donde trabajar.

Los beneficios por parte de la comunidad directamente son los métodos utilizados y el conocimiento de la tecnología mas adecuada para realizar el trabajo de acuerdo a los requerimientos y deseos planteados, pero si el proyecto es parte de una idea de negocio este beneficio a la comunidad es muy importante, ya que los productos que se desean fabricar son hechos de polipropileno reciclado, el cual, tarda mucho tiempo en descomponerse generando altos niveles de contaminación del medio ambiente, a pesar de

conocerse como material reciclable, miles de toneladas se entierran en los vertederos públicos todos los días. El reemplazo de materiales como el concreto, los polímeros vírgenes y los metales entre otros, ayudaría a conservar nuestros recursos naturales, actualmente obtener estos materiales necesita de un alto consumo de energía y algunos como el cemento generan gran contaminación en su procesamiento.

La reutilización de los materiales en general se hace necesaria por la alta demanda de productos, los recursos naturales no son eternos y ya se ven muy afectados por el ser humano, la implementación de este proyecto generaría una reducción en la explotación de los recursos finitos

Este proyecto nace de la necesidad personal de crear un sistema que permita realizar piezas de gran volumen y poca producción, con pocos requerimientos tanto dimensionales como técnicos a un bajo costo con gran eficiencia de proceso.

Hoy en día cada vez se hace mas importante que las empresas ofrezcan productos de alta calidad y calidad reproducible a través del tiempo, con mínimos tiempos de entrega y a bajos costos. Trabajando con material recuperado se obtiene una gran ventaja en cuanto a los costos de la materia prima, pero se hace necesario utilizar un sistema adecuado que permita la reproducibilidad de las piezas de la manera más eficiente y eficaz posible. Por esto es que se justifica profundizar en un sistema para procesar y formar, polímeros reciclados como el polipropileno. Sin dejar a tras la importancia de contar con un buen control sobre la materia prima post-industrial y/o post-consumo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Configurar un sistema para formar piezas de polipropileno de gran volumen, que permita garantizar las características entre una pieza y otra, con una capacidad de producción de 100 kg./h, a partir de materia prima recuperada post industrial y post consumo aglutinada. Buscando la solución mas adecuada, que permita mejor rendimiento y eficiencia para la transformación de este material desde que esta aglutinado hasta el producto final.

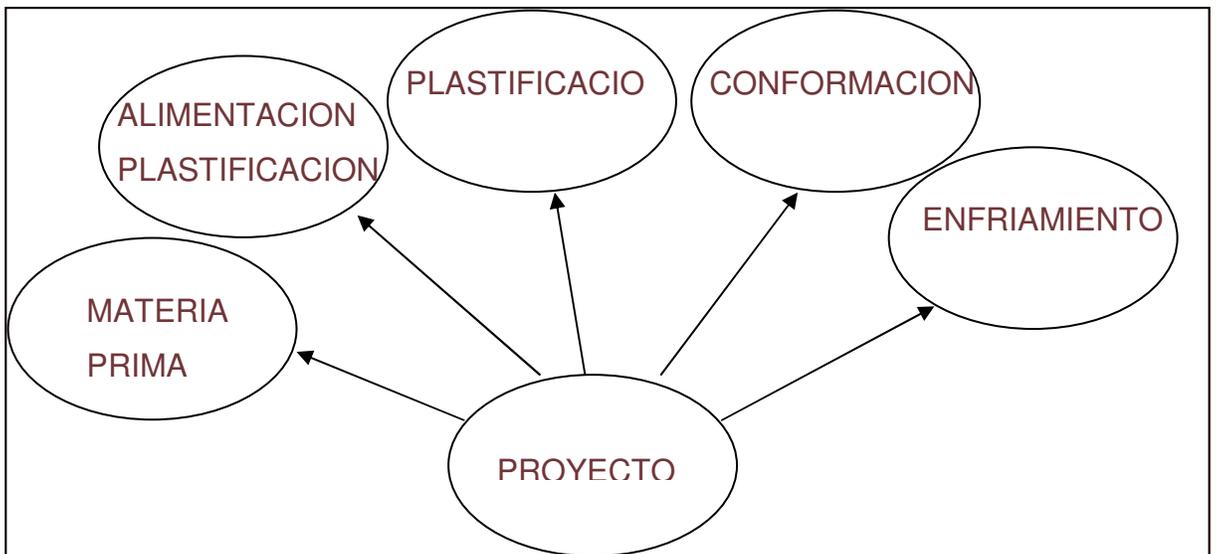
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir los parámetros y características del producto, materia prima y proceso para el diseño.
- Investigar sobre los procesos y los productores de piezas plásticas de gran volumen.
- Analizar los procesos y sistemas junto con los portadores de función implicados en la fabricación de las piezas plásticas de gran volumen, utilizando polímeros reciclados.
- Reunir los sistemas y subsistemas mas apropiados para la ejecución del trabajo.
- Estimar costo de fabricación y operación del sistema seleccionado.
- Conclusiones y recomendaciones.

3. ENFOQUE

El proyecto estará enfocado en los principales procesos, que sufre la materia prima, para pasar de granos sólidos hasta pieza final, los cuales se muestran en el diagrama a continuación:

Ilustración 1. Procesos para la transformación de la materia prima.



A partir de este diagrama se desarrollara el resto del proyecto para finalmente obtener la configuración mas adecuada.

4. LOS PLÁSTICOS

Los polímeros son materiales sintéticos que pueden ser conformados de diferentes formas y así obtener una gran combinación propiedades, a diferencia de materiales más comunes como la madera y los metales, la evolución de técnicas para su desarrollo se ha visto reducida prácticamente a los procesos de Inyección y Extrusión de termoplásticos. Al poder obtener esta combinación de propiedades, los materiales poliméricos están cada vez siendo más utilizados.

Debido a su composición química los polímeros son materiales de difícil degradación, generando un problema al medio ambiente por sus altos volúmenes de producción; este trabajo pretende generar una solución a una parte del problema mediante el diseño de un sistema que permita recuperar el polipropileno, tanto el postindustrial como el material postconsumo, para producir piezas de bajo costo favoreciendo el precio del producto final.

Los plásticos hacen parte del grupo de materiales poliméricos que están conformados por largas cadenas moleculares que contienen carbono e hidrogeno, estos abarcan una gran variedad de materiales como el hule y los adhesivos, su generación se hace mediante un proceso llamado polimerización en el cual las moléculas mas pequeñas se unen para generar las moléculas gigantes (ASKELAND, Donald. 2000).

Los plásticos datan del año 1869 sin embargo su gran revolución de da en el siglo XIX en el cual el crecimiento de utilización se dispara y cada día remplaza mas materiales como los metales y la madera. Este gran crecimiento se debe a los bajos costos de obtención y transformación que

tienen estos materiales, a la facilidad de moldearlos con formas complejas, la resistencia a ambientes corrosivos y a los ataques químicos, a su baja densidad que genera productos ligeros, etc. (Colombia. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2004)

En los últimos años se han desarrollado los plásticos de ingeniería los cuales han mejorado los defectos de sus sucesores haciendo que los plásticos replacen cada vez más los materiales comunes (metales y madera).

4.1 PROCESOS DE CONFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

El procesamiento de plásticos puede hacerse por medio de muchos de los procesos que se utilizan en la conformación de los metales, como se dijo anteriormente el costo es mucho menor aunque se trate del mismo proceso, debido a que las temperaturas de fusión son muy bajas comparada con la de los metales por lo tanto se requiere de menos cantidad de energía para su transformación.

A continuación se presenta una tabla con los diferentes tipos de procesamiento y las características de los mismos:

Tabla 2. Características de los procesos de formado y moldeo de plásticos y materiales compuestos.

Proceso	Características
Extrusión	Secciones complicadas, largas, sólidas o huecas; grandes tasas de producción; bajos costos de herramientas; tolerancias amplias
Moldeo por inyección	Formas complejas de diversos tamaños, para eliminar ensamble; altas tasas de producción;

		herramientas costosas; buena precisión dimensional.
Moldeo de espuma estructural		Piezas grandes con gran relación de rigidez a peso; herramientas menos costosas que en el moldeo por inyección; bajas tasas de producción
Moldeo por soplado		Piezas huecas y de paredes delgadas de varios tamaños; grandes tasas de producción y bajo costo; para fabricar botellas.
Moldeo rotativo		Formas huecas grandes de contornos relativamente sencillos; bajo costo de herramientas; bajas tasas de producción.
Termoformado		Cavidades superficiales o relativamente profundas; bajos costos de herramienta; tasas medias de producción.
Moldeo por compresión		Piezas parecidas a las de forjado con matriz de impresión; herramientas relativamente poco costosas; tasas medias de producción.
Colado		Formas sencillas o intrincadas hechas con moldes flexibles; bajas tasas de producción.
Proceso		Características
Moldeo por transferencia		Piezas mas complicadas y mayores tasas de producción que en el moldeo por compresión; algo

	de pérdida por recortes; costo intermedio de herramientas.
Procesamiento de materiales compuestos	Largos tiempos de ciclo; las tolerancias y el costo de herramientas dependen del proceso.

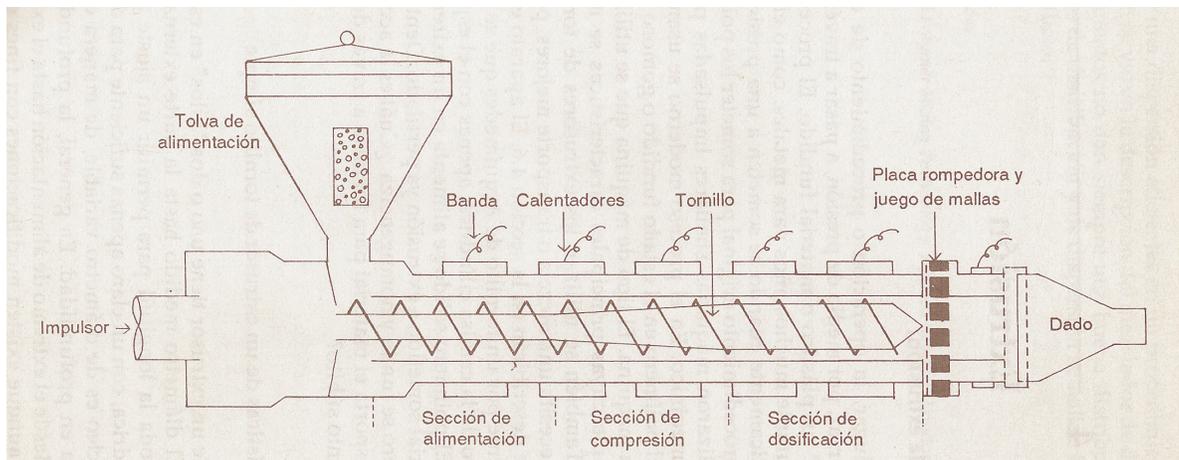
Para generar una mejor comprensión de los procesos, se explica brevemente los principales procesos nombrados en la tabla 2

4.1.1 Extrusión. El proceso de extrusión es el mas usado para la conformación de los materiales plásticos, debido a que es la base para fundir el material en muchos de los otros procesos y la forma por la cual se obtienen los pellets (pequeños cilindros de material) para materia prima, además es un proceso que como se menciona en la tabla 2 es de muy bajo costo.

La extrusora cuenta con una tolva para la carga del material, un barril o camisa, el sistema de calentamiento que usa un tornillo sin fin combinado con una fuente de calor y un dado a la salida que se encarga de dar la forma deseada. El tornillo tiene tres etapas; la etapa de alimentación en la cual es simplemente transportado el material de la tolva a la zona de calentamiento, en esta etapa el tornillo tiene una sección constante. La segunda etapa es de compresión o transición en la cual se comienza la fusión del material por medio de los esfuerzos cortantes ejercidos sobre sus moléculas y la ayuda del sistema energético, por ultimo sigue la etapa de dosificación en la que se homogeniza el flujo para que pase por el dado a una velocidad, presión y temperaturas constantes.

El diseño de los tornillos varía según el material que se desee trabajar, sin embargo la zona que realmente cambia es la de transición, y depende en gran medida de la velocidad de fusión del material, los diferentes tornillos por la exclusividad con que se diseñan según el material, se les conoce generalmente por el nombre del material con que trabajan.

Ilustración 2. Extrusora monohusillo



(MORTON, 1999)

Los sistemas de extrusión se pueden encontrar también con dos tornillos, los cuales mejoran algunos de los defectos que presentan los de un solo tornillo, estas falencias se deben prácticamente a las propiedades de fricción del material que se desea trabajar, estos sistemas presentan una mejor eficiencia que los de un solo tornillo, sin embargo los costos de fabricación de las componentes de la maquina son mas altos.(MORTON, 1999)

La extrusión generalmente se caracteriza por dos etapas, las cuales son la plastificación (extrusora) y la línea de extrusión esta siendo la que finalmente le da la forma al material plastificado.

Dentro de las líneas de extrusión encontramos:

- Perfiles
- Recubrimiento de cables.
- Película soplada.
- Lamina plana.
- Película plana.
- Fibras

En los últimos desarrollos de la extrusión encontramos, la co-extrusión, proceso en el cual se utilizan mas de 2 extrusoras, las cuales unen sin mezclar los polímeros creando laminas, películas, perfiles, con varias capas de polímeros, las que pueden ser de diferentes polímeros (empaques de barrera) o del mismo polímero con diferentes pigmentación para generar empaques o productos mas llamativos al consumidor.

4.1.2 Moldeo por Inyección. El sistema de inyección se fundamenta en empujar un material a un molde frío el cual tiene la forma del producto que se desea, este empuje requiere de altas presiones que dependen del volumen del objeto a desear fabricar, generalmente se realiza mediante sistemas hidráulicos los cuales generan una gran presión sobre el sistema aproximadamente de 70 a 200Mpa (KALPAKJIAN, 2002).

La inyección cuenta con dos etapas básicas:

La unidad de inyección: es donde se funde el material y luego es inyectado hacia el molde, esta inyección se hace mediante el desplazamiento del tornillo que funde el material o por medio del desplazamiento de un embolo.

La unidad de cierre o prensa contiene el molde con la forma a fabricar, las sujeciones del molde a este soporte se hace por medio de un sistema mecánico que pueden ser tornillos, esto le brinda la posibilidad a la maquina de intercambiar los moldes para la conformación de piezas distintas.

En este proceso se pueden fabricar piezas con geometrías complejas y de muy buenas tolerancias geométricas, sin embargo como los moldes y las piezas requieren de tolerancias también de mucha precisión, son bastante costosos, además los sistemas adicionales con que cuenta la inyectora la hacen una maquina mas compleja de fabricar, mantener y manipular.

La fabricación de los moldes para inyección pueden convertirse en un proceso muy complejo por las geometrías que se requiere fabricar, los moldes mas comunes son de dos partes las cuales se abren para liberar la pieza cuando esta fría, se puede encontrar también moldes con insertos, complicando la liberación de la pieza y los mecanismos necesarios para el funcionamiento. Los moldes suelen ser fabricados con aceros de herramientas, aleaciones de cobre al berilio o aluminio, los costos de estos pueden llegar a los US\$ 100.000 y tienen una vida útil de unos 2'000.000 de ciclos si son de acero y de aproximadamente 10.000 ciclos cuando se fabrican en aluminio.

Pero esto no es lo único que se debe tener en cuenta al momento de inyectar plásticos, es importante diseñar los moldes con sistemas adecuados de ventilación para evitar perjudicar el proceso cuando no se evacua el aire, también se ve la necesidad de refrigerar el molde con el paso de un fluido.

El gran atractivo de las maquinas de inyección es la velocidad de operación que tiene, los tiempos de ciclo van desde 5 a 60 segundos para los termoplásticos y de algunos minutos para materiales termofijos.

4.2 PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES DE LOS PLÁSTICOS.

Los problemas que se encuentran en la industria del plástico están muy relacionados con el diseño, operación y control del equipo para obtener productos satisfactorios a precios competitivos.

- Un precio competitivo quiere decir:

El proceso debe alcanzar rápidamente unas condiciones estables para generar la menor cantidad de desperdicio posible, maximizar la producción en los procesos de extrusión o menores tiempos de ciclo en inyección y soplado.

- Etapas del proceso.

El procesamiento de los termoplásticos envuelve diferentes etapas termomecánicas.

La etapa de la plastificación en donde el polímero pasa de estado sólido (pellets, escamas, granos...) a un estado líquido homogéneo.

La segunda etapa es aquella, en donde se le da la forma al polímero fundido, haciendo que este fluya bajo presión en los moldes o dados.

La tercera etapa, es aquella en donde el producto final es enfriado.

- Lógica para el diseño de procesamiento de polímeros.

La lógica utilizada para el diseño de los procesos de transformación de polímeros, provienen de la observación de las características físicas que son comunes a la mayoría de los polímeros.

- Baja difusividad térmica

La difusividad térmica de la mayoría de los polímeros es alrededor de $10E-7$ m²/s esto es mil veces menor a la del cobre. Por su baja difusividad térmica este requiere:

17 minutos para obtener un efecto significativo de calentamiento o enfriamiento por simple conducción.

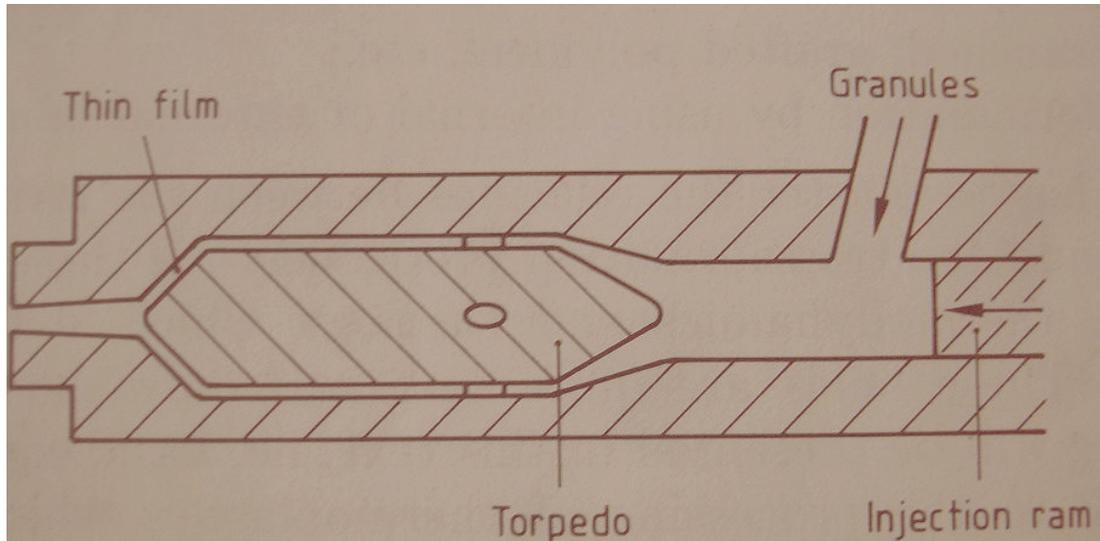
10 seg. para una profundidad de 1mm

0.1 seg. para la profundidad de 0.1mm

(AGASSANT, 1991, Pág. XX)

Esto demuestra por que la plastificación de los polímeros usando pura conducción de las paredes de los contenedores requeriría altos tiempos de residencia y una baja tasa de flujo. Por esto es que la mayoría de equipos de plastificación están diseñados basados en delgadas capas de polímero.

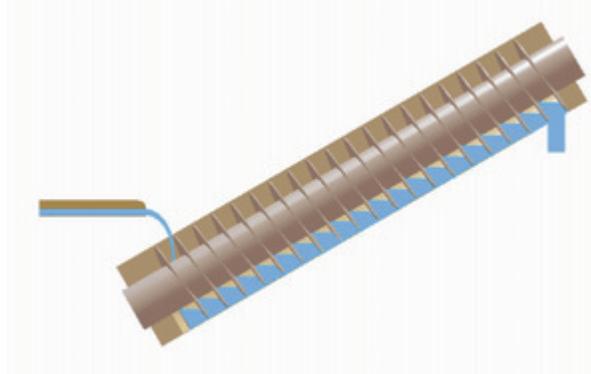
Ilustración 3 Extrusora Ram



1 http://www.hardwaresource.com/about_hinges/hinge_history_images/extrusion.gif

Como una simple idea, industrialmente se utiliza para bajas capacidades de inyección, las maquinas tipo torpedo o RAM, como se ve en la ilustración 3.. Una capa de polímero cercana a 1mm es empujada entre el cilindro y el torpedo, calentado por electricidad o por recirculación de líquidos calientes. Pero para obtener ratas de plastificación grandes y continuas, para los procesos de inyección y extrusión, el sistema tornillo – cilindro es utilizada universalmente. El principio básico proviene del tornillo de Arquímedes que se muestra a continuación;

Ilustración 4. Tornillo de Arquimides.



El polímero sólido, es alimentado por la tolva y progresivamente este se funde a lo largo del cilindro bajo la acción de arrastre creada por la rotación del tornillo. La gran eficiencia de la plastificación con extrusora proviene de la fuerza de convección entre la cama sólida y la cama líquida la cual permite la plastificación a través de una delgada capa de polímero fundido (0.1 mm). Esto es nuevamente una aplicación del principio de capa delgada.

- Alta viscosidad.

La viscosidad de los polímeros fundidos a temperaturas usuales de proceso se encuentra en el rango de 10^2 a 10^4 Pa.s esto es 10^5 a 10^7 mayor que la del agua. Esta alta viscosidad tiene dos implicaciones prácticas.

Calentar los polímeros por disipación viscosa es fácil de alcanzar y por lo tanto es utilizado en los sistemas de plastificación. En el trabajo estándar de plastificación, la energía para fundir el polímero proviene tanto de la disipación viscosa como de la transferencia de calor de las paredes del cilindro calentadas por resistencias. Por lo general el total de energía entregada al polímero es alrededor del 70 % por la disipación viscosa y 30% por la transferencia de las resistencias.

Por la alta viscosidad se generan altas presiones en los moldes por la acción del tornillo y la restricción que estos le generan al flujo. Los valores típicos se encuentran entre 100 MPa o más para inyección y entre 5 a 50 MPa para dados de extrusión.

La presión puede ser creada por:

En inyección luego de llenar la cámara de polímero fundido y tornillo detiene su rotación y se mueve hacia delante haciendo las veces de un pistón que es accionado por un sistema hidráulico.

En extrusión el tornillo hace el trabajo de una bomba, esta presión se genera por el equilibrio de presión y el flujo de arrastre en la espiral del tornillo y el flujo de presión en el dado.

- El efecto combinado de la baja conductividad y la alta viscosidad.

Por la baja conductividad se garantiza la existencia de grandes gradientes térmicos. El riesgo de la degradación térmica limita la cantidad de energía que proviene de la disipación viscosa. Por otra parte, la alta viscosidad y la baja conductividad permiten que sea posible moldear el polímero al aire libre antes de que este se solidifique. Como resultado de esto se han creado gran cantidad de técnicas post_extrusion, algunas de estas inspiradas en el procesamiento del vidrio.

(AGASSANT, 1991)

Los termoplásticos son materiales que se ablandan o funden como un fluido denso cuando se calientan por encima de cierta temperatura. En este estado normalmente se le conocen como plástico fundido (Rauwendaal, 1998. p. 45)

Bajo enfriamiento, los termoplásticos se endurecen y se comportan como sólidos. Después que un producto termoplástico es formado, puede ser recalentado y ablandado para ser formado otra vez. De ese modo, los termoplásticos pueden ser procesados varias veces y esto los hace adecuados para el reciclaje. Pero se debe anotar que las propiedades pueden cambiar después del reciclaje; como resultado, el plástico reciclado puede no ser muy útil para la misma aplicación para la que inicialmente fueron creados. (Rauwendaal, 1998. p. 46)

4.2.1 Propiedades en estado sólido.

- Densidad de empaquetamiento.

Es la densidad de las partículas, granos, crispetas u hojuelas del material, teniendo en cuenta el espacio que se genera entre estos. Esta se puede hallar llenando un recipiente de un volumen y peso conocido, con el material y sin aplicar presión, ni vibración se pesa y se obtiene el valor de empaquetamiento. Algunas de las normas que describen el método para medir esta densidad son las ASTM D 1895 T y la DIN 53468 (Noriega, 1994. p. 1)

Esta propiedad es muy importante para el transporte del sólido en las tolvas de almacenamiento y en las zonas de alimentación de los tornillos. Bajas densidades de empaque crean problemas de transporte y de capacidad de producción, ya que en el mismo espacio del tornillo va a caber menos material.

Esta propiedad es totalmente dependiente de la forma en la que se encuentre el polímero.

La densidad aparente también juega un papel importante en el transporte. A mayor densidad aparente, mayor facilidad para alimentar y mayor capacidad de extrusión.

Para el caso de la extrusión, si la densidad de empaque es baja, el fluido másico de la extrusora será bajo, ya que la zona de alimentación no puede suministrar material suficiente a las zonas posteriores, tales como la zona de plastificación y dosificación. (Noriega, 1994. p. 2)

Forma ideal de materia prima para la alimentación y transporte.

- Esferas
- Esferoides
- Cilindros
- Hojuelas

Por ejemplo: El PET con una densidad de fundido 1.38gr/cc, en cilindros puede tener una densidad aparente de 0.8 gr/cc y el mismo material en forma de hojuelas puede tener una densidad aparente 0.4 gr/cc.

La densidad aparente << densidad del sólido.

Esta propiedad tiene gran influencia en el diseño de tornillos, tanto en la zona de alimentación y en las relaciones de compresión.

- Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción del material sólido es otra propiedad de mucha importancia en el proceso de extrusión. Se pueden diferenciar dos

coeficientes: el coeficiente de fricción interno y el externo. El coeficiente de fricción interno es una medida de la resistencia que se presenta cuando una capa de partículas o gránulos poliméricos se desliza sobre otra capa de partículas del mismo material. El coeficiente de fricción externo es una medida de la resistencia que se presenta en la interfase entre las partículas o gránulos de polímero y la pared de un material de construcción diferente. En el caso de la extrusora, se refiere este coeficiente a la interfase entre el polímero y la pared metálica interna del cilindro de extrusión.

La fricción en sí es la resistencia tangencial ofrecida por deslizamiento de un sólido sobre otro.

La medida de los coeficientes de fricción externos, μ_a de los polímeros particulados es muy difícil debido a la gran cantidad de variables que influyen dichos coeficientes:

- Temperatura de la superficie de construcción
- Tipo de superficie de construcción: material, dureza, rugosidad
- Velocidad de deslizamiento del polímero sobre la superficie
- Presión de contacto
- Forma del polímero: gránulo, polvo, escamas, etc.
- Dureza del polímero

Las predicciones del flujo de transporte y el perfil de presión de la zona de alimentación de una extrusora son muy sensibles a los valores de los coeficientes de fricción. (Noriega, 1994. p. 2-3)

El coeficiente de fricción estático interno se define como:

Ecuación 1. Coeficiente de fricción estático interno.

$$\mu^* = \tan(\beta_i), \beta_i = \text{ángulo de fricción interno}$$

El coeficiente de fricción dinámico interno se define como:

Ecuación 2. Coeficiente de fricción dinámico interno.

$$\mu' = \tan(0.75\beta), \beta = \text{ángulo de reposo del material}$$

4.2.2 Propiedades de los polímeros fundidos. Las propiedades del flujo de los polímeros fundidos son muy importantes para optimizar los diseños en el procesamiento de los plásticos, ya que en la mayoría de procesos hay una transformación de sólido a fundido y de fundido a sólido.

La propiedad de flujo más importante es la viscosidad y ésta depende de la velocidad y esfuerzo de cizalladura, de la siguiente manera:

Ecuación 3. Viscosidad de cizalladura.

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

en donde η = viscosidad de cizalladura Pa.s

τ = esfuerzo de cizalladura, F/A, Pa

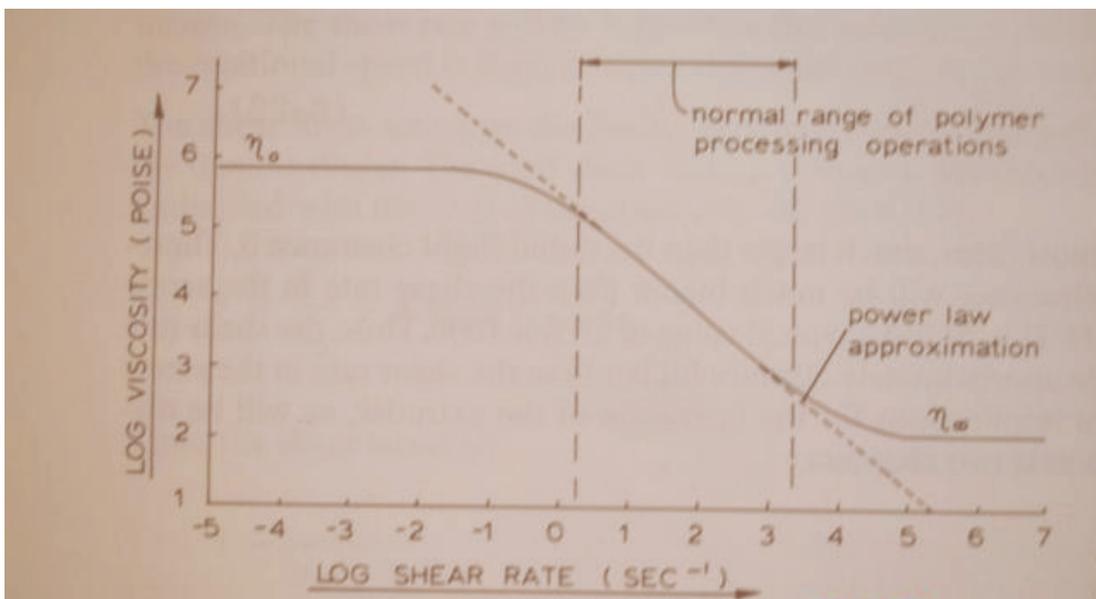
$\dot{\gamma}$ = velocidad de cizalladura, $V/\Delta Y$, s⁻¹

La viscosidad es la resistencia al flujo. Un fluido con baja viscosidad, como el agua, fluye fácilmente. Un fluido de alta viscosidad, como la miel, no fluye tan fácilmente. La viscosidad en un flujo cizallante es el esfuerzo de cizalladura dividido por la rata de cizalladura. (Rauwendaal, 1998. p. 50)

- Fluido según la ley de potencias.

En el procesamiento de polímeros es muy importante tener conocimiento de su comportamiento seudo plástico. La forma general de la curva de viscosidad contra velocidad de cizalladura para una masa fundida de polímero (curva de fluidez) de este tipo se muestra en la figura.

Ilustración 5. Curva de fluidez.



El rango de velocidades de corte en el que se encuentran la mayoría de los procesos con polímeros es aproximadamente de 1 a 10000 sec^{-1} . La línea recta de la grafica logarítmica de la figura indica que las variables pueden ser relacionadas por la ecuación de la ley de potencias, así:

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad \text{ó} \quad \tau = m \dot{\gamma}^{\eta}$$

En donde m es el factor de consistencia y n es el índice de la ley de potencias. El índice indica con que rapidez la viscosidad se reduce con la tasa de cizalladura. Para los pseudo plásticos el índice se encuentra entre 0 y 1. Cuando el índice oscila entre 0.8 y 1, se trata de fluidos casi newtonianos. Si es menor que 0.5, se trata de un fluido apreciablemente no newtoniano, entre los cuales se encuentran, el PE, PVC, PP, PE, etc. Los polímeros de alto índice son el PC, poliamida poliéster, entre otros. (Rauwendaal, 1994. p.182)

- Efectos de la temperatura y la presión.

Los efectos de la presión y la temperatura no son tan significativos como el de la velocidad de cizalladura, pero en algunos casos no se puede despreciar.

Cuando la viscosidad es graficada contra la velocidad de cizalladura a diferentes temperaturas, la curva generalmente se desplaza hacia abajo con el incremento de la temperatura. Esto se debe al incremento en la movilidad de las moléculas del polímero. Como regla general, los polímeros amorfos tienen una sensibilidad mas elevada a la temperatura que los polímeros semicristalinos. El PVC y el PMMA son dos polímeros con una muy alta sensibilidad a la temperatura, mientras que el PE y el PP poseen ambos muy baja sensibilidad a esta variable. (Rauwendaal, 1994. p.187)

- Índice de fluidez.

Se denomina índice de fluidez a la cantidad de gramos de polímero extruído en un período de tiempo de 10 minutos, a determinada temperatura y bajo un

peso definido. Las normas que definen la geometría y procedimientos de medición son la ASTM D1238, la DIN 53735 y la ISO 1133. (Monohusillo doble husillo). La habilidad de un fluido plástico para fluir es normalmente medida en un ensayo de índice de fluidez. La máquina usada es una simple extrusora ram. (Rauwendaal, 1998. p. 51)

La gran desventaja en la información sobre los valores del índice de fluidez es que ésta tiene un carácter puntual y no suministra ninguna idea acerca del comportamiento o tipo de fluido (newtoniano, pseudoplástico, elástico, etc.). Adicionalmente la reproducibilidad del equipo de medición es relativamente baja; más o menos 15 % en el mejor de los casos. (Noriega, 1994. p. 11)

4.2.3 Propiedades térmicas. Por la naturaleza del proceso de plastificación de polímeros, las propiedades térmicas juegan un papel muy importante. En la primera parte del proceso, las partículas de polímero en estado sólido, son calentadas hasta el punto de fusión. Luego por calentamiento y fricción alcanza una temperatura por encima de la temperatura de fusión y finalmente el polímero debe alcanzar un estado de homogeneidad térmica. Luego el polímero es formado y enfriado. Esto muestra que las propiedades térmicas son esenciales para describir y analizar el procesamiento de los plásticos en general.

- Conductividad térmica.

La conductividad térmica de un material es esencialmente una constante de proporcionalidad entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura que dirige el flujo. La conductividad de los polímeros es en general baja, alrededor de 2 o 3 órdenes de magnitud más baja que la de los metales. Desde el punto de vista del proceso, la baja conductividad genera problemas reales. Esto crea limitaciones en el calentamiento y plastificación de un

polímero. En el enfriamiento, la baja conductividad origina poca uniformidad, por lo tanto se pueden presentar esfuerzos congelados, deformación del extruido, problemas de laminación, etc.

La conductividad térmica de los polímeros semicristalinos es generalmente mayor que la de los polímeros amorfos. Por debajo del punto de fusión, la conductividad decrece con la temperatura y por encima de este, permanece relativamente constante. La conductividad se incrementa con la densidad y el grado de cristanilidad del polímero. (Rauwendaal, 1994. p. 204)

5. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

La materia prima para procesar es el Polipropileno PP proveniente de bolsas y de rafia, este se encuentra en forma aglutinada, la cual es comúnmente llamado en crispeta. Para el diseño se tomara el material que se encuentra en el mercado, pero para obtener mejores productos y propiedades es importante desarrollar proveedores en donde se pueda realizar una trazabilidad del mismo, como tipo de bolsa a producto de donde fue recuperado, características del material utilizado para su fabricación, aditivos, pigmentos. (PLASTIVIDA@2006)

Cabe anotar que dentro de la materia prima, también se pueden hacer mezclas con otros polímeros y recuperar materiales co-extruidos, siendo el mayor porcentaje de la mezcla el polipropileno.

Cuando se habla de co-extruidos, son aquellos empaques o productos que están formados por varias capas de polímeros. Los cuales fueron desarrollados especialmente para aprovechar las características de cada polímero, logrando una suma de propiedades, creando los hoy llamados empaques de barrera, los cuales son capaces de impedir que sustancias como la humedad, el nitrógeno, el oxígeno, el CO₂, pasen del medio ambiente hacia el producto empacado (por lo general alimentos) o que salgan del producto hacia el ambiente, manteniendo los productos empacados más frescos y con posibilidades de tener una mayor duración en los empaques antes de ser consumidos.

La separación de los polímeros co-extruidos es muy difícil, ya que en su procesamiento estos se funden uno con el otro.

El proceso de aglutinado se realiza, ya que el material en forma de película presenta graves problemas para ser alimentado de nuevo al extrusor. Este proceso corta las bolsas con cuchillas a gran velocidad aumentando la temperatura del material por la fricción generada durante el corte y luego es inyectada agua fría, lo que genera un encogimiento del material por el choque térmico presentado. De esta forma se obtiene granos que son más fáciles de manejar que la película, ya que se aumenta su densidad de empaque, quedando granos de un alto peso. Este material por su contacto directo con el agua adquiere gran cantidad de humedad, lo que requiere de un presecado o desgasificación para obtener un producto de buena calidad.

Ilustración 6. Aglutinador.



5.1 CARACTERÍSTICAS:

El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando Etileno durante el proceso. El PP es el termoplástico de más baja densidad. Es un plástico de elevada rigidez, alta cristalinidad, elevado punto de fusión y excelente resistencia química. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado, extrusión y termoformado.

5.2 PRINCIPALES USOS:

Película / Film (para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria) - Bolsas de rafia tejidas (para papas, cereales) - Envases industriales (Big Bag) - Hilos, cabos, cordelería - Caños para agua fría y caliente - Jeringas descartables - Tapas en general, envases - Bazar y menaje - Cajones para bebidas - Baldes para pintura, helados - Potes para margarina - Fibras para tapicería, cubrecamas, etc. - Telas no tejidas (pañales descartables) - Alfombras - Cajas de baterías paragolpes y autopartes.

Ventajas:

- Inerte (al contenido)
- Resistente a la temperatura (hasta 135°)
- Barrera a los aromas
- Impermeable
- Irrompible
- Brillo
- Liviano
- Transparente en películas
- No tóxico
- Alta resistencia química

5.3 FORMA:

Al material ser aglutinado o densificado su forma es similar a la de una crispeta con un diámetro aproximado de 6 mm, el cual varia desde granos sumamente pequeños hasta crispetas de mas de 1 cm. de diámetro. Por su

gran tamaño respecto a los pellets, su transporte y cantidad en la zona de alimentación es muy deficiente con densidad aparente entre 0.42gr/cm³ y 0.5 gr/cm³. La densidad aparente es el principal desafío que se presenta en los procesos de reciclaje, ya que por estas características, las maquinas plastificadoras presentan altas ineficiencias en el proceso.

A continuación se presenta el material que se consigue en el mercado para esta aplicación:

Ilustración 7. Tamaño de grano del material.



Extruplas S.A.

5.4 CUIDADOS CON EL RECUPERADO.

Cuando se piensa trabajar con materiales recuperados, es necesario tener mucho cuidado que asegure la limpieza, el tamaño y lo seco del material. Si el recuperado se encuentra sucio o contaminado, puede causar un daño en la maquina. La apariencia y propiedades del producto final también pueden variar, aumentando los porcentajes de rechazo. Si el material contiene gran

cantidad de humedad las propiedades de nuevo se pueden ver afectadas. En el caso que la forma de las partículas no sea pareja, el flujo de salida del extrusor crea fluctuaciones las cuales perjudican el producto final (especialmente cuando se realizan láminas, películas o perfiles).

(Goff, John y Whelan Tony, pag. 138)

6. PIEZAS DE GRAN VOLUMEN.

Cuando se habla de piezas de gran volumen se entiende por piezas con un espesor alto, las cuales al ser generadas pueden presentar un secado del material poco homogéneo, generando poros y discontinuidades en la pieza afectando la resistencia mecánica del producto. Realizar estas piezas por el método de inyección es sumamente costoso, por lo que se buscan nuevas tecnologías para su fabricación. La más utilizada a nivel local es el vaciado de material fundido al molde.

Estas piezas también pueden ser una solución al problema de los co-extruidos, ya que estas no requieren ser totalmente de un polímero en especial y actualmente en la industria, se realizan mezclas con polímeros co-extruidos, dándole una solución a la problemática ambiental que estaba generando este tipo de empaques. Adicionalmente en las pruebas se ha encontrado que algunas mezclas generan piezas más resistentes, que si se realizaran con polipropileno únicamente.

Estas piezas se pueden ver en establos, parques infantiles, bancas para urbanismo, tapas de alcantarillado, estibas, etc, demostrando las grandes aplicaciones que tienen este tipo de productos y la forma como esta remplazando la madera y el concreto.

Otra aplicación para este producto son los pupitres escolares, los cuales pueden ser ensamblados con tubería metálica y tablas plásticas para garantizar su duración, darle uso a todo el desperdicio de material plástico

que generan las grandes ciudades y mejorar la calidad de vida de los jóvenes colombianos.

El proceso genera mucho desperdicio de material y un alto porcentaje de productos defectuosos, los cuales no pueden ser reutilizados por su gran volumen, ya que es costoso y complejo moler una pieza de este tamaño. Algunos de las piezas fabricadas actualmente en Medellín fueron seleccionadas con el fin de destruirlas y observar como son internamente, al igual que su acabado superficial.

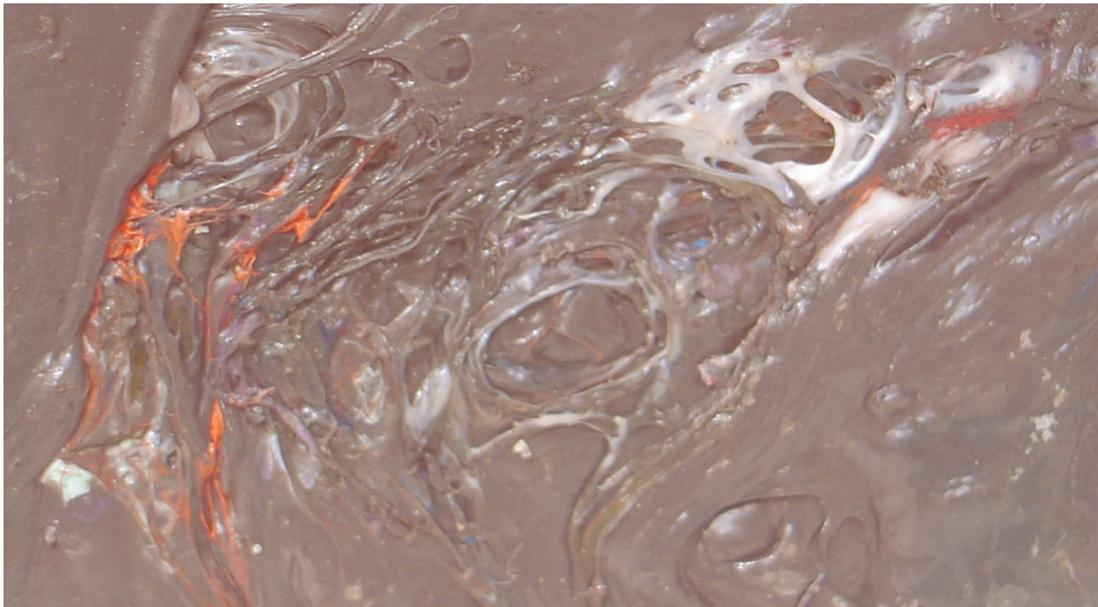
Ilustración 8. Prueba de corte realizada a la madera plástica, se puede apreciar las discontinuidades del material.



Ilustración 9. Prueba realizada a la madera plástica.



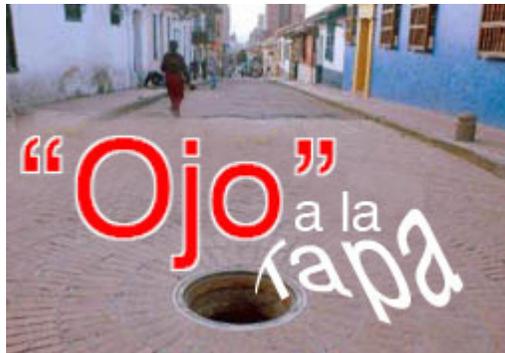
Ilustración 10. Acabado superficial de la pieza.



La calidad de estas piezas puede ser mejorada seleccionando el sistema adecuado para la producción de este tipo de producto.

Debido a la problemática que se tiene en el país con el robo de tapas de alcantarillado se ve un alto potencial para desarrollar el proyecto enfocando la solución final a la fabricación de este tipo de pieza.

Ilustración 11. Campaña educativa alcaldía de Bogota.



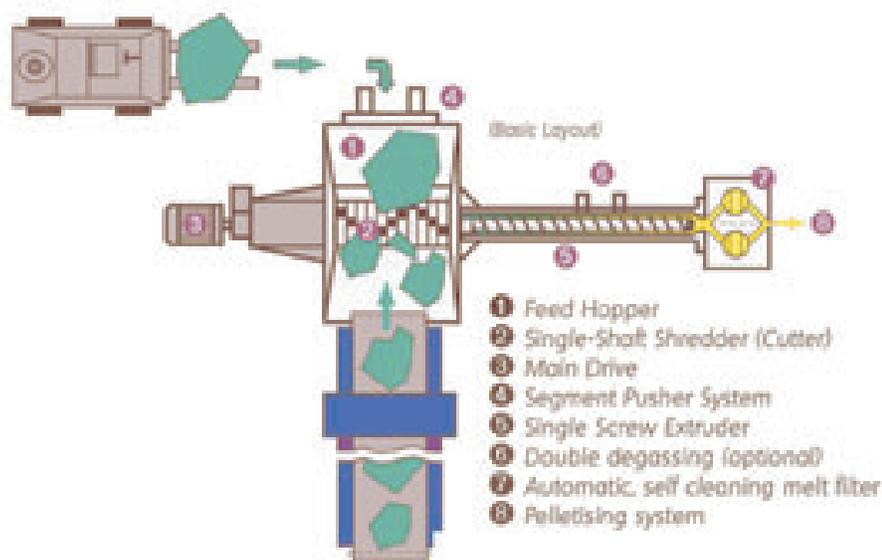
Nuestro proyecto no se centra en un producto específico, sino que pretende hallar un proceso adecuado para su producción, ya sean tablas, estacones o tapas de alcantarillado, con la posibilidad de producir cualquiera de estas y desarrollar nuevos productos.

7. TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO PARA RECICLAJE.

7.1 TECNOLOGÍA DE PUNTA DEL PROCESO.

A nivel mundial una de las empresas mas reconocidas en el procesamiento de plásticos reciclados es EREMA y especialmente para polipropileno ofrecen el sistema COAX el cual utiliza como materia prima, bolsas, películas y fibras, para luego ser peletizadas.

Ilustración 12. Esquema de la máquina COAX de EREMA.



Esta nueva tecnología permite cambiar el ángulo de alimentación en el triturador monorotor por medio del menú de selección. Esto a su vez significa que el proceso del sistema puede ser adaptado automáticamente a un amplio campo de aplicaciones. Utilizando el sistema alimentador/empujador comprendiendo varios segmentos en el área del triturador monorotor servirle

a los clientes utilizar la instalación para varios tipos de formas, densidades y propiedades. Por esta razón pueden ser igualmente procesados en la misma instalación tanto materiales pesados, como de fácil fluencia y autoalimentables y también materiales ligeros, voluminosos y altamente resistentes al desgarro (como fibras y rafias).

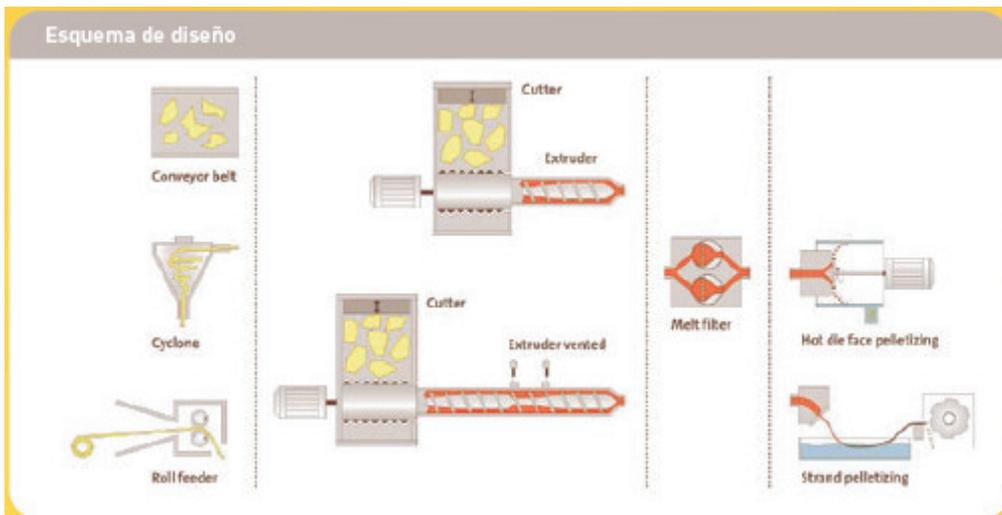
La máquina puede ser alimentada con porciones completas de gran volumen (limitadas únicamente por las medidas de la tolva de alimentación) y también por cinta transportadora, por dispositivo de elevación y volteo o por sistema de pulpo. También se puede integrar un alimentador de bobinas para la alimentación adicional directa de bobinas de film. El triturador monorotor controlado por la carga a través de empujador segmentado patentado, reduce el tamaño del material y lo conduce directamente sin desviaciones a la extrusora subsiguiente. Allí el material previamente triturado y precalentado es fundido. Después de pasar por una sección de doble desgasificación de alta eficiencia la masa pasa por un cambiador de filtro automático.

En el filtro la masa es liberada de partículas sólidas, impurezas infundidas, pasando después al subsiguiente apropiado sistema de granceado.(EREME@2006)

El proceso realizado por Erema se le suman otras empresas que utilizan principios parecidos como la A;GRAN de NGR NEXT GENERATION RECYCLING MASCHINEN “La A:GRAN es una máquina de reciclaje de refilos en línea, con una alta flexibilidad y con un tiempo de supervisión mínimo por parte del operario. El sistema de control de la máquina ajusta de manera automática las velocidades de granulado y extrusión según la

cantidad de refilos suministrados. Esto garantiza un granulado homogéneo y de alta calidad. La A:GRAN también puede funcionar como una máquina de reciclaje independiente, y por lo tanto presenta una buena alternativa a su uso en línea. Como ventaja este equipo ofrece diversas posibilidades para introducir el material en la máquina, como p. ej. la alimentación discontinua mediante una cinta transportadora, la alimentación manual, o la alimentación continua mediante un rodillo de alimentación o ciclón.” (NGR@2006)

Ilustración 13. Máquina para polipropileno de la empresa NGR Recycling Machines.



En la feria internacional de bogota de año 2006, se presencio en funcionamiento la máquina de YEI MACHINERY FACTORY CO., LTD. Encargada de procesas bolsas y convertirlas en pellets, Con este sistema se

evitan el proceso intermedio del aglutinado. En esencial es una extrusora monohusillo con venteo, la cual tiene en la tolva de alimentación unas cuchillas que se encargan de rasgar las bolsas e introducirlas a la zona de alimentación del tornillo.

Ilustración 14. Maquina para peletizar PP reciclado de YEI Machinery Factory.



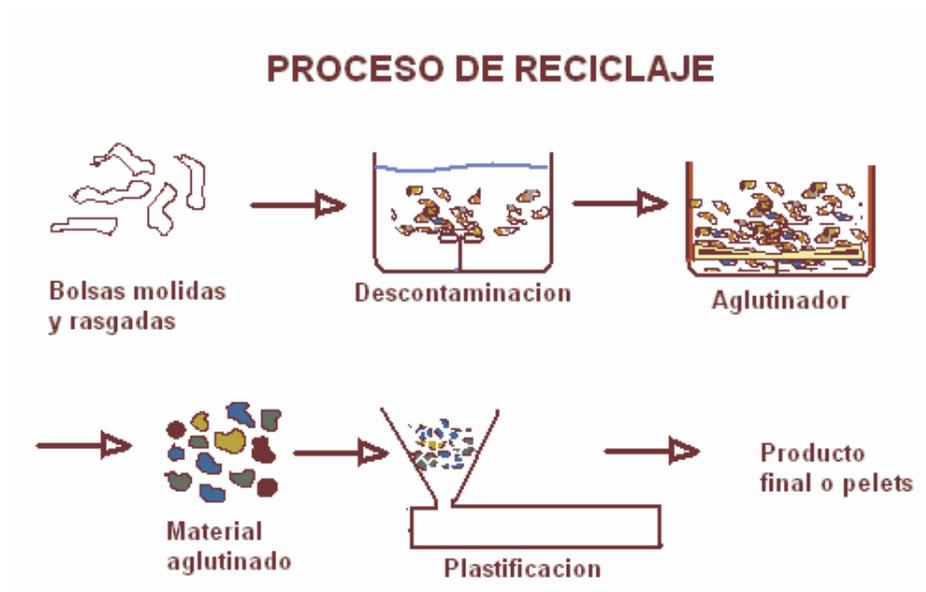
7.2 PROCESO UTILIZADO A NIVEL LOCAL.

En el proceso de reciclaje a nivel local se utilizan sistemas convencionales de plastificación, son muy pocas empresas las que se han esforzado en adaptar su proceso para utilizar material reciclado, por esta razón sus equipos son muy ineficientes en cuanto a capacidad y calidad. En general cuentan con maquinas multipropósito en donde se puede trabajar varios tipos

de polímeros, pero con eficiencias medias. Lo ideal es identificar las características del material se va a utilizar, las características principales que debe tener el sistema y luego mandar a construir la maquina de acuerdo al tipo de polímero y a sus características, entre ellas la forma del material (crispeta, escama, pellets, esferas, etc). Muchas partes de la máquina se pueden diseñar y manufacturarlas, pero en casos especiales como el tornillo, cuando requiere de modificaciones importantes, lo recomendado es que se diseñe y pruebe en software antes de realizar su manufactura, en esto se ahorra mucho tiempo y deja en manos de personas especializadas el corazón (tornillo) del proceso de plastificación.

A nivel nacional el proceso de reciclaje para bolsas y películas es el siguiente.

Ilustración 15. Proceso de reciclaje



Muy pocas empresas utilizan elementos que ayuden a aumentar la producción, entre los más importantes esta la alimentación forzada por medio de tornillos,

agitación de la tolva entre otros, pero es realmente extraño encontrar cambios en los sistemas de plastificación. La tecnología a nivel mundial esta muy enfocada a la disminuir de procesos necesarios para el reciclaje, como es el caso de las empresas mencionadas anteriormente, en donde han creado la tecnología para evitar el aglutinado de las bolsas. Esto es muy beneficioso si y solo si las bolsas están correctamente lavadas, lo cual es muy difícil de hacer sin rasgarlas y aglutinarlas. Luego de analizar el proceso de estas empresas se cree que están más enfocadas a reciclar esos residuos post-industriales y no residuos post consumo, en donde todavía es muy importante el corte, lavado y la densificación. Otra de la utilización del aglutinado es que permite un mejor almacenamiento y transporte desde donde es recuperada la bolsa luego de tener su uso hasta donde es procesado. Por lo general estos residuos cuando son en gran cantidad se aglutinan en el lugar donde se producen o cerca de el. Por ejemplo, en uraba se recupera gran cantidad de bolsas proveniente de las bananeras y estas son aglutinadas en el lugar y luego enviadas a todo el país para ser reprocesadas.

8. SOLUCIONES ESPECÍFICAS A LOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL RECICLAJE

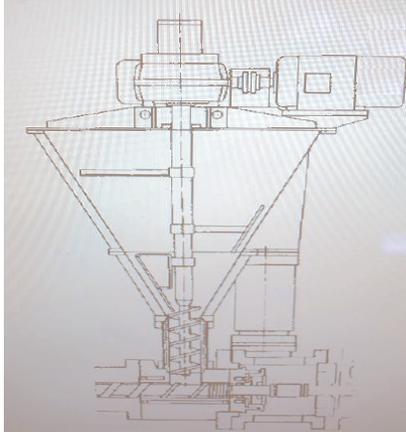
8.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN TOLVA.

En los procesos de reciclaje se presentan materiales con muy malas propiedades de alimentación por su densidad aparente y su forma. Estos comúnmente generan obstáculos para la libre alimentación del sistema plastificador.

8.2 ALIMENTACIÓN FORZADA.

Los sistemas de alimentación forzada, operan usando el principio de transporte similar al del tornillo de una extrusora. Cuenta con un tornillo giratorio y un cilindro estático. La diferencia con el de una extrusora es que este no funde el material. El recuperado es comprimido en los filetes y transportado hacia el tornillo plastificador. El flujo de alimentación puede aumentar o disminuir con cambios en la velocidad del tornillo. De esta manera estos dispositivos pueden alimentar mas de lo que requiere el extrusor creando una compresión del material solidó, favoreciendo la creación del lecho solidó en la zona de alimentación de la extrusora.

Ilustración 16. Sistema de alimentación forzada por tornillo.



El sistema de alimentación forzada convencional normalmente posee los siguientes elementos.

Tolva cónica con tapa fija en donde se monta un motor de corriente directa. La conexión del eje esta hecho por discos de rotación sensibles incorporados a un clutch con transferencia de torque torsional y absorción de vibraciones. Rodamientos perpendiculares dispuestos en una construcción cerrada y estable con sus sellos pertinentes.

Conexión con la garganta de la extrusora.

Tornillo de alimentación con acero nitratado en forma cónica.

Sistema de control dependiente del torque con variador de velocidad.

Alarmas.(Kaczmarek,Dirk)

8.2.1 Vibradores o agitadores. A nivel de las tolvas de alimentación también se encuentran aplicación con vibradores, eléctricos, neumáticos, magnéticos. Los cuales realizan la función de evitar que las resinas formen puentes al interior de la tolva y disminuyan la alimentación.

Ilustración 17. Alimentación con vibración.



Esta es una solución que puede ser económica y muy eficiente sobre todo cuando se trabaja con escamas las se entrelazan y producen puentes afectando la alimentación continua.

8.3 SISTEMAS DE PLASTIFICACIÓN.

Hay gran variedad de sistemas de plastificación de plásticos entre los mas conocidos y utilizados están: Extrusora mono husillo, extrusoras multi-tornillo, extrusoras RAM, entre otras.

8.3.1 Extrusoras RAM o de torpedo. Las extrusoras RAM poseen un diseño bastante simple y su modo de operación es discontinuo, estas son capaces de generar muy altas presiones.

Estas características hacen que este tipo de extrusora sea bastante buena para procesos cíclicos como la inyección y el soplado, de hecho las primeras maquinas de conformación fueron casi todas exclusivamente equipadas con extrusoras RAM para alimentar los moldes. Algunas limitaciones que presento este tipo de extrusora hizo que se comenzara a remplazar este sistema por extrusoras de tornillo o la combinación de las dos. Las limitaciones más importantes fueron: 1) Limitación en la capacidad de fundición, 2) Baja uniformidad en la temperatura de la colada.

Actualmente las extrusoras RAM son utilizadas en aplicaciones de pequeños volúmenes y en algunas aplicaciones especiales, en donde se aprovecha el desplazamiento del material y las altas presiones que esta genera. Hay básicamente dos tipos de extrusoras RAM: Extrusora de un solo RAM y de RAM Múltiples.

- Extrusoras de un solo RAM:

Se utiliza para la conformación de piezas de bajos volúmenes, además de otras aplicaciones especiales que requieren las altas presiones generadas por esta máquina, un ejemplo de esta aplicación es el conformado de piezas de Polytetrafluoroethylene (PTFE).

Una variación de la extrusora RAM simple es la extrusión en estado solidó, en la cual el polímero es forzado a pasar por un dado mientras esta por debajo de su punto de fusión, generando una deformación significativa del

polímero dentro del dado, dando a una orientación molecular muy efectiva lo que aumenta las propiedades mecánicas del polímero.

La extrusión en estado sólido requiere presiones demasiado altas lo que hace que sea un proceso muy costoso y en la gran mayoría de los casos es más rentable hacer extrusión simple con tornillos y luego realizar un tratamiento a las piezas para obtener las excelentes propiedades mecánicas que genera la extrusión en estado sólido.

- Extrusoras multiRAM

Fueron diseñadas para dar solución al problema de la discontinuidad del proceso generado por este tipo de máquina, mediante la combinación de varias extrusoras RAM se logra un proceso de flujo de material continuo.

Westover diseño una extrusora RAM de flujo continuo mediante la combinación de cuatro Cilindros de los cuales dos eran para el proceso de plastificación y dos para el bombeo, este sistema a pesar de ser continuo, la salida de material no es homogénea, imposibilitándolo para procesos de laminado entre otros, para solucionar este problema se hubiera podido usar el eje de la sección de plastificado con una hélice pero se convertiría el sistema en una combinación entre extrusión RAM y extrusión de tornillo. (RAUWENDAAL ,1994,Pág.41)

8.3.2 Extrusoras de tornillo monohusillo. Este tipo de extrusora es la más usada en la industria de los polímeros, son de muy bajo costo, tiene un diseño directo con una alta confiabilidad y la tasa de costo/desempeño es bastante favorable.

El tornillo de una extrusora convencional de este tipo cuenta con tres etapas básicas (alimentación, transición y dosificación) que se determinan por la geometría del mismo.

Los tornillos con esta geometría son también conocidos como de simple etapa, esto hace referencia a que el tornillo solo cuenta con una etapa de compresión, aunque tenga tres geometrías diferentes. La primera sección que es la más cerca a la zona de alimentación tiene grandes valles en el tornillo y el material que arrastra está en estado sólido. La última sección, más cercana al dado de salida, posee valles poco profundos en donde el material se encuentra bajo presión y en estado líquido. La sección de transición, es la etapa en la que el tornillo va reduciendo sus valles desde la etapa de alimentación hasta la etapa de dosificación, en esta etapa ocurre casi todo el proceso de fundición y compresión. En este tornillo de simple etapa, la variación es lineal.

Las extrusoras son designadas por el diámetro del husillo, aunque para precisar un poco se usa la relación L/D (Longitud/Diámetro), donde las más comunes presentan una relación entre 20 y 30, siendo 24 la más común. (RAUWENDAAL, 1994, Pág.24)

- Funcionamiento básico.

El material entra a la zona de alimentación ubicándose entre el tornillo y el cilindro, usando los valles generados por hilos del tornillo. El cilindro está estático mientras que el tornillo gira, como resultado de este movimiento relativo, se generan fuerzas de fricción en el material produciendo su desplazamiento.

Mientras el material se mueve hacia adelante se va calentando por la fricción entre sus partículas y el calor generado por las resistencias que posee el cilindro. Cuando el material alcanza la temperatura de fusión, se genera una película de material fundido en las paredes del cilindro. Es aquí donde comienza la zona de plastificación. Es importante notar que no necesariamente este punto coincide con el inicio de la zona de compresión. Las fronteras de las zonas de funcionamiento dependen de diversos factores; las propiedades del polímero, la geometría del tornillo de extrusión y las condiciones de operación. Mientras el material continua su movimiento, la cantidad de material sólido se reduce en las diferentes secciones y cuando se funde todo el material sólido se dice que se termino la zona de plastificación y es cuando comienza la zona de homogenización, en esta zona simplemente se empuja el material a través del dado y se mezcla en material fundido.

- Extrusoras con Venteo

Las extrusoras con venteo son significativamente diferentes en diseño y aplicación a las que no tienen venteo, estas están dotadas de compuertas de ventilación en el cilindro de extrusión con el fin de eliminar los volátiles o los vapores de agua, estas compuertas pueden ser útiles también para adicionar otras componentes al polímero.

El diseño del tornillo es bastante difícil para poder obtener un buen desempeño de la extrusora con venteo, se presenta un fenómeno y es que no solo los volátiles se escapan sino que también sale algo del polímetro. Esto se evita cambiando la geometría del tonillo con el fin de eliminar todo tipo de presión positiva en la zona de venteo. Esto lleva al diseño de tornillos de dos etapas, los cuales están dotados de dos unidades de compresión,

antes y después de la etapa de extracción o venteo. Esto es equivalente a tener dos extrusoras de etapa simple en serie.

La capacidad de devolatización de la extrusora de tornillo simple, es mucho menor que la de doble tornillo, por eso para materiales que necesiten mucha extracción de volátiles, se deben poner varias compuertas de venteo, sin embargo esto hace la geometría del tornillo mas compleja y genera una probabilidad de falla mas alta, por eso se recomienda extrusoras de doble tornillo que tienen una mayor capacidad. (RAUWENDAAL ,1994,Pág.26)

8.3.3 Extrusoras doble tornillo. Las extrusoras de doble tornillo son aquellas que como su nombre lo dice están provistas dos tornillos, los cuales pueden ser corrotantes o contrarrotantes, dependiendo del sentido de giro entre ellos.

Este tipo de extrusora ha tomado fuerza en la industria de procesamiento de los polímeros, las principales áreas de aplicación es la extrusión de perfiles, la composición y procesos en los que se necesite la eliminación de volátiles.

Estas maquinas ofrecen algunas ventajas por encima de las extrusoras de un solo tornillo; mejor alimentación y un transporte positivo de mejores características permite a este tipo de maquinas procesar materiales de difícil alimentación como polvos y materiales deslizantes entre otros. También ofrecen bajos tiempos de residencia, una mejor homogeneidad del material y una mayor área de transferencia de calor que ofrece un mejor control de la temperatura.

Un mejor control en el tiempo de residencia y en la temperatura son claves para el tratamiento de polímeros.

La mayor ventaja que presenta la extrusora de doble husillo sobre la monohusillo es la mejoría en el transporte de material, ya que este no depende ni del coeficiente de fricción del material ni de la viscosidad en estado líquido, permitiendo que materiales con propiedades de fricción desfavorables puedan ser plastificados fácilmente. (RAUWENDAAL ,1994,Pág.459)

Las mas utilizadas son las de doble tornillo (Twin screws extruder), estas pueden tener los siguiente comportamientos:

- Co-Rotantes Entrelazados
- Contra Rotantes Entrelazados.
- Contra-Rotantes no-Entrelazados

Las ventajas de los sistemas entrelazados es la capacidad de auto limpiarse, homogenizan muy bien el material, alimentación positiva y no por fricción como lo hacen las extrusoras monohusillo, tiempo de residencia bajos y aumento rápido de presión.

Las desventajas están en el costo de adquisición, Presión de cabeza baja por mayor área entre los dos tornillos y limitación para ubicar los rodamientos de empuje.

Las Co-Rotantes entrelazadas tienen una mayor capacidad de producción, con velocidades grandes de rotación entre 200-250RPM

Las Contra-Rotantes entrelazadas tienen una mayor capacidad de transporte positivo, pero se crea un aumento grande de presión lo que limita, la velocidad de rotación del tornillo y por ende disminución del flujote salida.

Las Contra-Rotantes no-Entrelazadas se consideran como un intermedio entre las mono-husillo y las doble husillo entrelazadas, Tienen mejor capacidad de transporte y mezcla que las mono-husillos, pero no tienen la posibilidad de auto limpiarse. Son buenas para la desgasificación de volátiles. (CHUNG, 2000, pág.9)

8.4 ZONA DE ALIMENTACIÓN

Los polímeros sólidos, que pueden estar en forma de polvo o de granos, inicialmente tienen alguna cohesión y pueden desarrollar fricción interna. Luego los polímeros son rápidamente compactados o partidos, cuando es aplicada temperatura y presión. Este se comporta como sólido no deformable, de forma helicoidal, deslizándose en el espacio entre el tornillo y el cilindro.

En la alimentación pueden suceder dos casos extremos:

Que el polímero se adhiera perfectamente al tornillo y gire con el sin lograr ningún avance, luego de algunos minutos el material de salida sería nulo.

El polímero se desliza perfectamente en el tornillo y se adhiere al cilindro. De esta manera la producción sería muy grande, pero el torque requerido para rotar el tornillo debería ser grande y en algunas ocasiones el sistema se puede bloquear.

Debido a la densidad de empaque del polímero, la cual es inferior a la densidad del polímero plastificado, el volumen del canal del tornillo debe ser mayor en la entrada que en la salida. Esta reducción de volumen ocurre por disminución gradual de la profundidad del filete en extrusoras de paso constante.

El paso se elige usualmente como $s/D = 1$, lo cual corresponde a un ángulo de paso de 17.40' grados, sin embargo un rango de variación usual es de 0.8 D a 1.2 D (Noriega Maria, 1994, pág.15)

La sección de alimentación es el primer elemento del tornillo al que se le introduce polímero. Típicamente, en extrusores de agujero liso, ésta es la parte más profunda del tornillo.

En los diámetros más pequeños (2,5" y menos) se debe prestar atención especial a esta sección para reducir el riesgo de falla por torsión debido a la sobrecarga de torque en el tornillo. Algunas veces es recomendable fabricar los tornillos pequeños en acero inoxidable 17-4 PH, o en otro material de alta resistencia a la cedencia, para reducir el riesgo de este tipo de falla.

Como regla de dedo, la sección de alimentación de un tornillo no debería ser superior a:

$$F_{dmax} = 0,2(\text{Diámetro del Tornillo})$$

La principal función de la sección de alimentación de un tornillo es transportar sólidos. La teoría básica de transporte de sólidos determina que "el plástico debe adherirse al barril y deslizarse sobre el tornillo, de tal forma que el polímero se desplace hacia adelante". Para que esto ocurra el coeficiente de fricción (COF) del polímero debe ser superior en la pared del barril que en la raíz del tornillo. De esta forma, algunos polímeros tienen inherentemente mejores COFs que otros, y para ellos no se requieren secciones de alimentación largas. Típicamente, para la mayor parte de resinas una sección de alimentación con una longitud de cuatro o cinco

diámetros medidos desde la garganta de alimentación, hará posible alcanzar suficiente presión para transportar el material hacia delante.

- La relación de compresión es probablemente el término más usado en la terminología de diseño de tornillos, aunque no por eso es el mejor aplicado ni el mejor comprendido.

-

Entonces: Relación de compresión = h_f / h_m .

Si se considera que un tornillo de 2,5" tiene una profundidad de alimentación (h_f) de 0,300", y una profundidad de dosificación (h_m) de 0,100". La relación de compresión se determinaría como:

$$CR = .300" / .100" = 3:1$$

Pero, adicionalmente, podría tenerse un tornillo de 2,5" con una profundidad de alimentación (h_f) de 0,450", y una profundidad de dosificación (h_m) de 0,150". Entonces la relación de compresión sería equivalente a:

$$CR = .450" / .150" = 3:1 \quad \text{Ecuación 6}$$

Ambos tornillos tienen una relación de compresión de 3:1, pero son totalmente diferentes. El primero tiene una tasa de corte mucho mayor, y entregará apenas 2/3 del flujo másico del segundo. El segundo tornillo, además de tener mayor capacidad de procesamiento, operará con menores tasas de corte y por tanto podrá procesar materiales sensibles a esfuerzos cortantes.

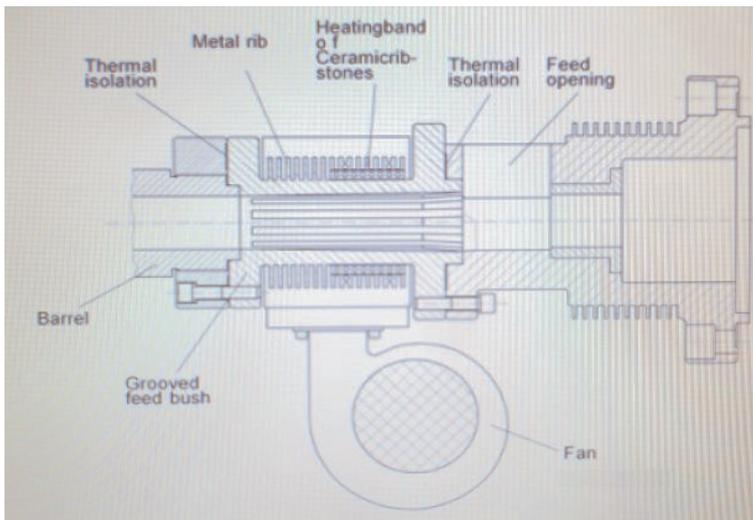
Adicionalmente, la pendiente de transición ni siquiera se ha considerado en este caso. Los dos tornillos podrían tener diferentes relaciones de compresión. Pero si la longitud de la sección de transición fuera diferente, aún así podrían tener las mismas tasas de fusión.(XALOY@2006).

8.4.1 Zona de alimentación ranurada (Grooved feed zone). Las extrusoras con alimentación Grooved (ranurada) se diferencia de las

extrusoras convencionales por la construcción en la zona de alimentación, en la cual es instalado un cilindro de alimentación especial que contiene ranuras axiales con un curso cónico, las cuales mejoran el transporte del material (mayor flujo masico) y el grado de llenado del canal del husillo.

Este sistema de transporte es similar a un sistema “rosca-Tornillo”. El sólido se mueve como una rosca fija sobre un tornillo en rotación en el sentido axial de las ranuras. Este tipo de transporte es valido para casi todos los HDPE, LDPE, así como todos los gránulos poliméricos con alta resistencia a la cizalladura y coeficiente de fricción externo no muy alto (por ejemplo PP, PA y PVC duro). (Noriega Maria, 1994, pág.40)

Ilustración 18. Esquema de alimentación ranurada.



La sección de alimentación de un extrusor de 3.5 pulgadas de diámetro puede contener desde ocho hasta 18 canales distribuidos uniformemente alrededor del barril en la zona de alimentación. En general, las resinas de mayor viscosidad, como el HMW-HDPE o polipropileno se benefician cuando el número de canales es mayor. Cuando la resina tiene una viscosidad baja, es preferible contar con un número reducido de canales. Si se emplean

demasiados canales, la resina puede ser alimentada a una velocidad tan alta hacia la zona de compresión que se pueden presentar ineficiencias en el proceso de fundición de la resina y problemas de mezclado de la misma.

Ilustración 19. Sección de alimentación ranurada.



Típicamente, los canales tienen un ancho de 0,15 a 0,3 pulgadas y su profundidad aumenta hacia la parte de atrás de la zona de alimentación. En un comienzo la profundidad de los canales es de 0,12 a 0,37 pulgadas y se inclinan hasta llegar a una profundidad de cero en una distancia de tres a cuatro diámetros después de haber pasado aguas abajo por la boca de alimentación de la extrusora. Los canales se fabrican paralelamente al eje de los tornillos.

Los extrusores con venteo no son compatibles con las zonas de alimentación acanaladas en el barril debido a que la productividad en este caso depende usualmente de la capacidad de bombeo de la segunda etapa. Una primera etapa muy eficiente puede llevar a inundar el venteo o causar una fundición pobre de la resina, a la altura del venteo. La resina que llega a la altura del venteo debe estar completamente fundida para permitir la evacuación

(usualmente por vacío) de aire, humedad y resinas volátiles. (RINCON@2006)

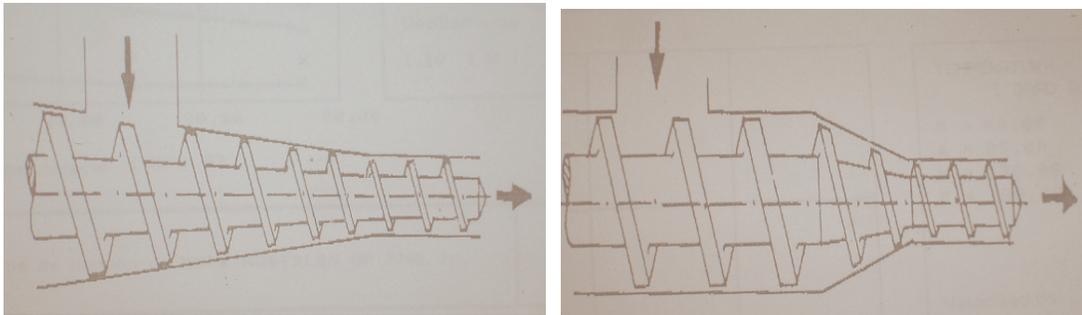
Zona de alimentación lisa. Es la mas utilizada, en donde el cilindro o barril es completamente liso, y la función de transporte se realiza a través de la fricción que se produce entre este y los polímeros. La zona de alimentación en este tipo de sistema suele ser mas profunda que en la alimentación ranurada. Esto crea una mayor capacidad por volumen, lo que no quiere decir que tenga mayor producción. Su fabricación es mucho más sencilla que la zona ranurada y solo en pocos casos es necesario un enfriamiento. (Wortberg, Johannes)

8.4.2 SCREW AND BARREL DESIGN, ANTEC PAPER)

	Pros	Contras
Sistema de Cilindro liso	<ul style="list-style-type: none"> *Poco desgaste *Amplio rango de polímeros *Buenos con material remolido *buenos para extrusoras con venteo *Alta rata de flujo de salida 	<ul style="list-style-type: none"> *Flujo de salida dependiente de la contrapresión *Altas temperaturas de fundido *Enfriamiento de la zona de alimentación
Sistema de cilindro Grooved o ranurado	<ul style="list-style-type: none"> *Flujo de salida independiente de la contrapresión *Menor temperatura de fundido *Menor consumo de energía específico. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dependiente de la densidad de empaque y la fricción *Requerimientos mayores de torque *Mayores costos de fabricación *Restringido para las poliolefinas

8.4.3 Otros diseños especiales. Estos tornillos fueron especialmente diseñados para materiales de baja densidad aparente y gran tamaño de partícula, los cuales aumentan el volumen o capacidad de alimentación de este tipo de resinas (Características principales del aglutinado). No se encontró mas información sobre estos pero se cree que es una muy buena solución, ya que el limitante para aumentar el volumen de alimentación en los tornillos convencionales es por que la zona de alimentación tiene la sección transversal mas pequeña, en donde se puede presentar mas fácilmente una falla del material, tanto por ser la sección, mas pequeña como por ser también la zona que mas torque tiene que soportar. Estas 2 propuestas eliminan esta limitante. Los cuales podrían ser desarrollados por grupos de investigación para analizar los resultados de una manera experimental en máquinas de laboratorio. (RAUWENDAAL,1994,Pág.169)

Ilustración 20. Tornillos especiales de sección cónica.



9. PROCESO CONCEPTUAL DE DISEÑO.

9.1 METODOLOGÍA

Dentro del proceso de diseño es importante establecer una metodología para el desarrollo de un proyecto, la cual servirá de guía para definir del objeto a diseñar. Partiendo de una necesidad creada, el equipo de trabajo debe establecer una estrategia bajo la cual va a enfrentar el problema, estableciendo los objetivos y la secuencia de actividades más relevantes, que le permitan alcanzar las metas propuestas en el tiempo establecido.

La selección de una estrategia de trabajo en el diseño se conoce como método y esta definido como el modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado o fin determinado, las actividades definidas en los diferentes métodos de diseño ayudan a la generación de alternativas de solución y a definir como lograr los objetivos de un proyecto de diseño.

Una buena elección del método de diseño permite obtener resultados óptimos, a bajos costos y en tiempos reducidos, mediante la determinación de actividades de trabajo claras y precisas, además evita los errores, reproceso y retrasos en tareas ineficaces que retrasan el logro de los objetivos. El estudio de los diferentes métodos, le permitió seleccionar al equipo el mas eficaz para el logro de sus objetivos.

Para el desarrollo de este proyecto, se estableció como metodología de trabajo el modelo de French del proceso de diseño, dentro del cual se encuentra la etapa del diseño conceptual, fase en la cual, basándose en el planteamiento del problema se generan diferentes alternativas que por medio

de esquemas son evaluadas con el fin de seleccionar la mejor solución al problema. En el diseño conceptual convergen la creatividad, la ingeniería, los aspectos de producción y comerciales, además es en esta etapa donde se toman las decisiones más importantes en cuanto al diseño escogido.

9.2 ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES

En esta etapa del proceso de diseño se establecen las diferentes funciones del sistema para dar inicio al diseño conceptual. Esta fase toma el planteamiento del problema con el objetivo de generar soluciones amplias en forma de esquemas, formulación de la caja negra, la caja transparente y seguido a este paso la realización del PDS, generado a partir de las alternativas preliminares de diseño.

En esta etapa se deben considerar las funciones esenciales y el nivel en que el problema debe abordarse.

Esta fase se inicia con el planteamiento de lo que debe lograr o lo que se busca con este nuevo diseño, independiente de cómo se va a lograr.

9.2.1 Función principal. La función principal es aquella que define el proceso de transformación que sufre el flujo primario, este flujo puede ser de materia, energía o información, en este caso es un flujo de polipropileno o sea de materia. La transformación que ocurre en este proceso es simplemente un cambio de geometría de la materia prima, dentro del sistema ocurren muchos cambios, sin embargo para este punto no son importantes,

por eso la función principal para este proceso se podría definir como “Transformar”.

Los diferentes flujos son representados mediante tres tipos de flechas que los diferencian:

Ilustración 21. Tipos de flechas para los diferentes flujos.

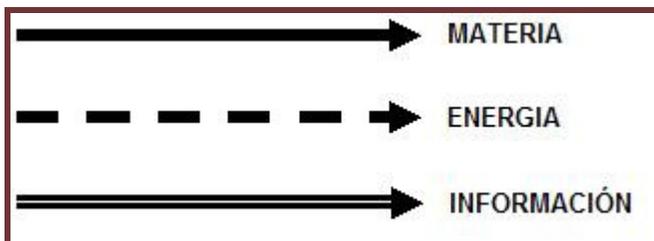


Ilustración 22. Caja negra.

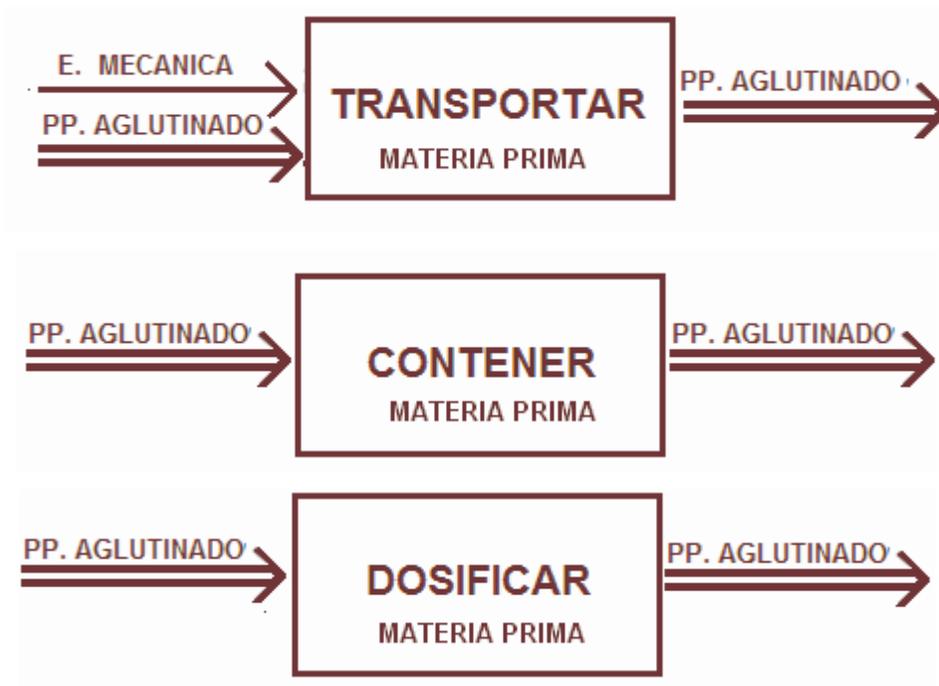


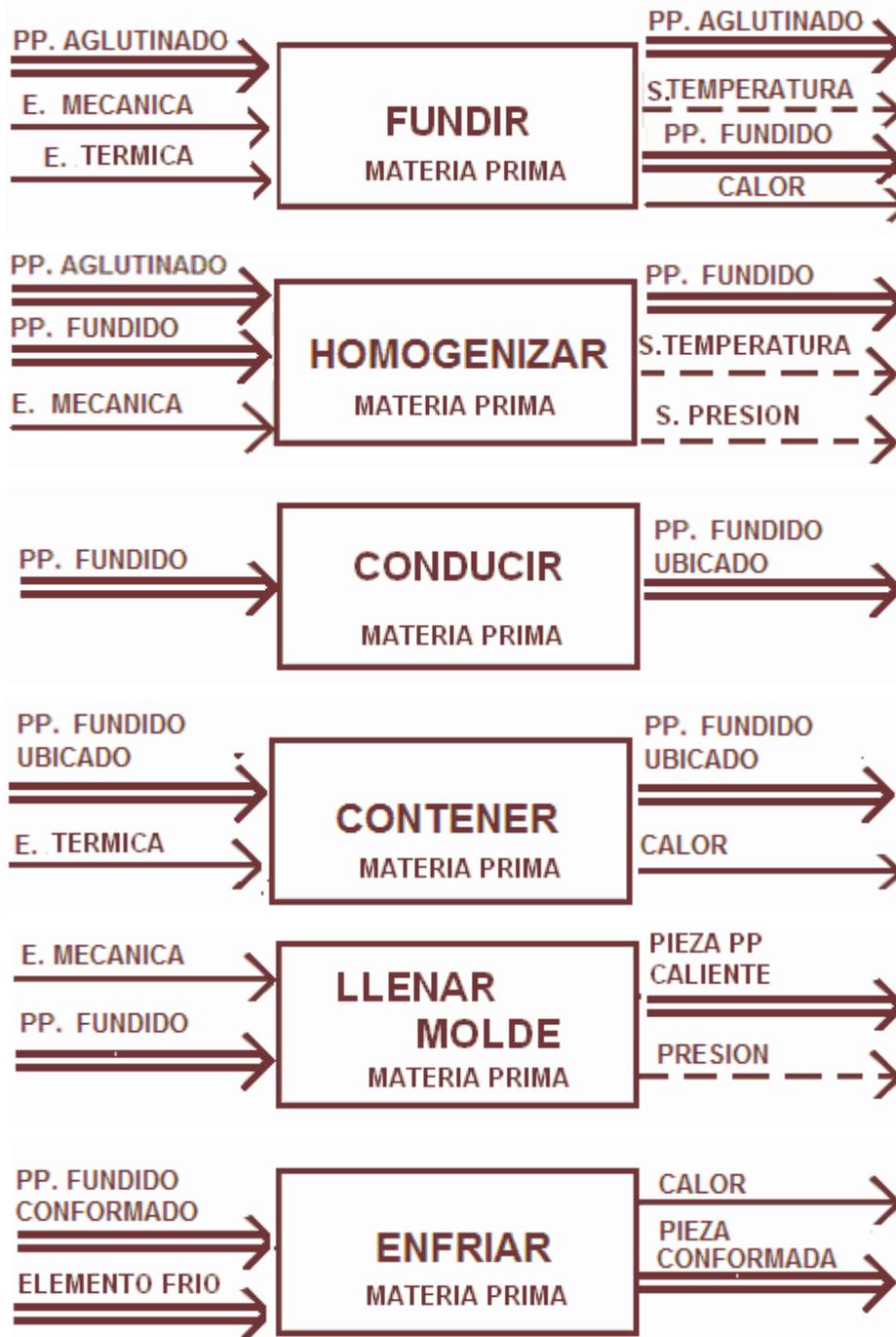
Como se dijo anteriormente la función principal es transformar; el polipropileno entra a la maquina aglutinado y pasa por algunos procesos o sub-funciones como la plastificación y el conformado del material fundido en un molde, sin embargo esto solo son etapas del proceso completo que es la transformación del material aglutinado en un objeto final. La caja negra representa la función con sus respectivos flujos de entrada y salida

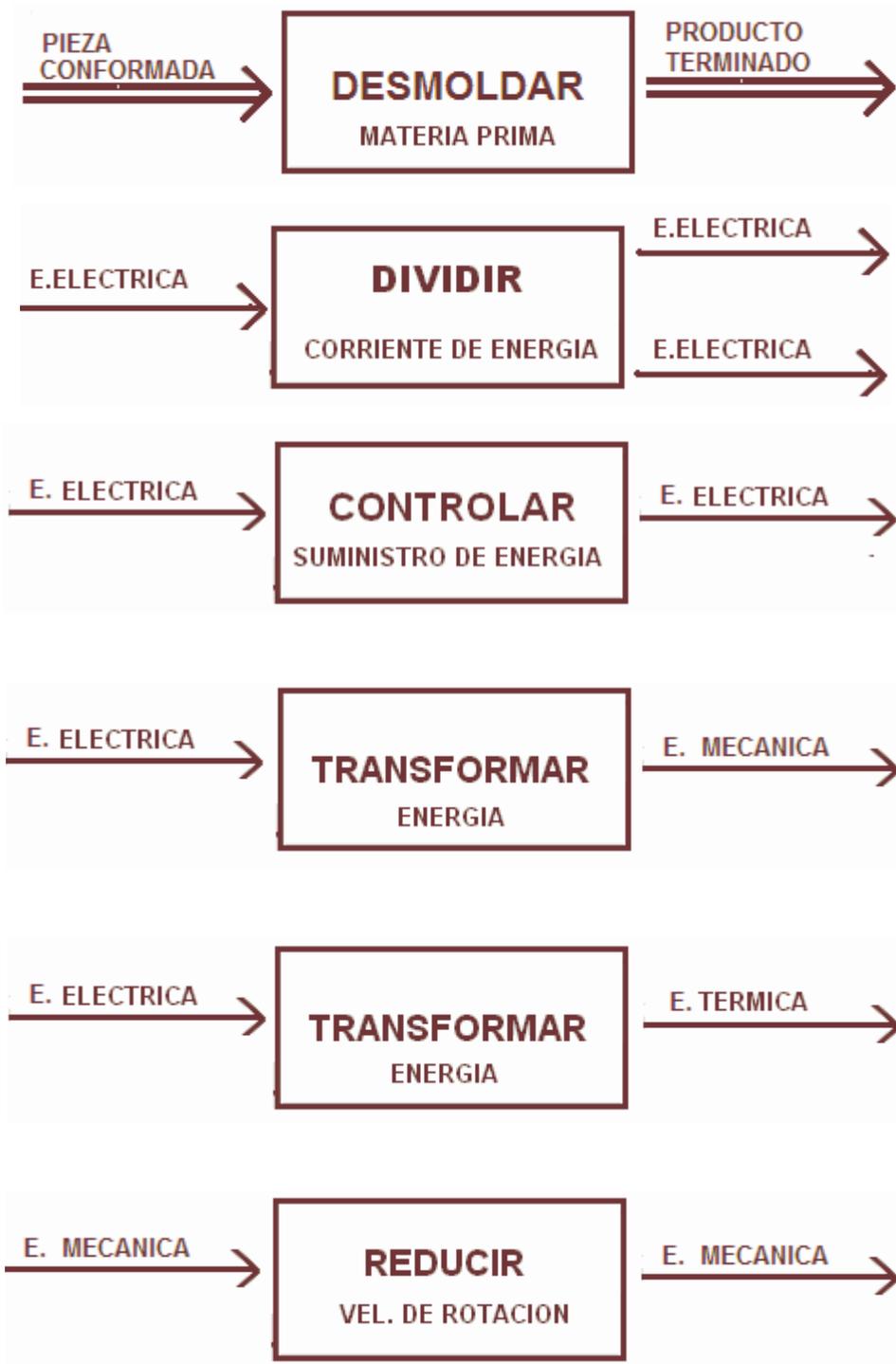
9.2.2 Funciones secundarias. Como se puede ver la caja negra no especifica mucho el funcionamiento del sistema por eso se hace necesario detallar un poco el sistema mediante las funciones secundarias, que pueden depender de los componentes disponibles para las tareas específicas y su relación con las máquinas o los seres humanos.

Las funciones secundarias serán unidas mediante los diferentes flujos para generar una secuencia lógica de cada uno de ellos y así definir todo el sistema, por medio de la caja transparente, en donde se visualiza todo lo que sucede al interior de la caja negra.

Ilustración 23. Funciones secundarias.







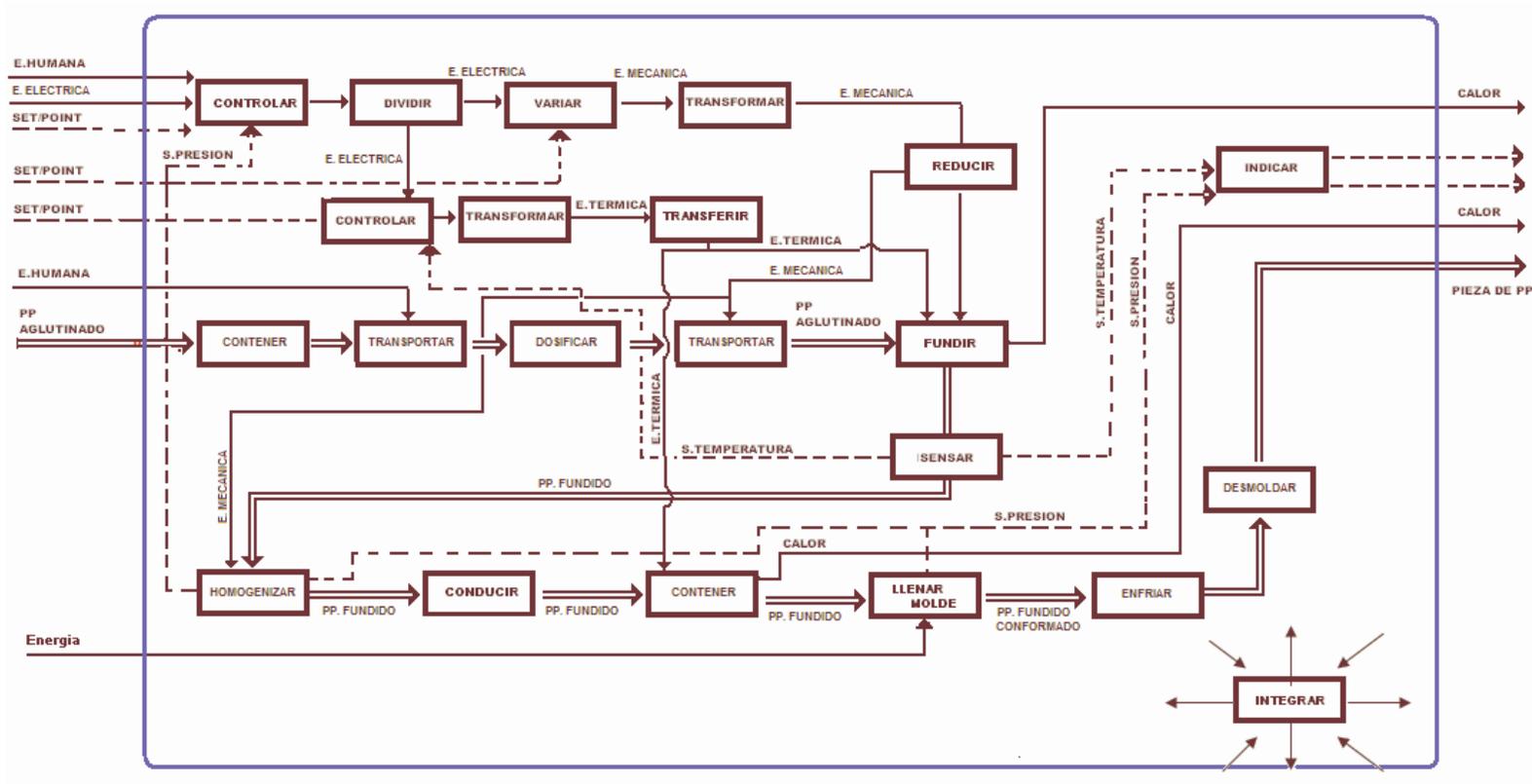


9.2.3 Matriz funcional. La matriz funcional de la máquina integra todas las funciones secundarias del sistema, las cuales son relacionadas entre si

mediante los flujos de energía, materia e información, satisfaciendo la función principal de la máquina y permitiendo visualizar las transformaciones que ocurren dentro del sistema.

Vale la pena aclarar que la función de integrar es aquella que une todas las componentes de un sistema, aquí se encuentra el chasis, y todas las piezas que sirven de soporte como la tornillería.

Tabla 3. Estructura funcional.



9.2.4 PDS “product design specification”. Este pretende delimitar el diseño por medio de los requerimientos del objeto a diseñar, en lo posible se deben presentar parámetros cuantificables o medibles para poder tener un punto de partida, cuando se presentan requerimientos o deseos en forma cualitativa se debe dejar muy claro que se pretende con esto mediante una breve explicación.

El PDS convierte las necesidades y deseos en un lenguaje técnico, el lenguaje del ingeniero, convirtiéndose en especificaciones del producto que afectan el diseño, la fabricación, el uso y el mantenimiento del sistema. Además son el punto de partida del diseño.

El proyecto se encuentra enfocado al diseño de un sistema para la fabricación de piezas en polipropileno recuperado, el cual permita que estas presenten una buena apariencia y contengan propiedades mecánicas lo mas uniforme posible a lo largo de todo su cuerpo, debe ser muy repetitivo y que varias piezas realizadas con la misma mezcla y las mismas condiciones sean lo mas similares posibles garantizando una homogeneidad entre las piezas, con la tecnología mas adecuada para el proceso.

Este proyecto nace luego de ver como algunas de las empresas transformadoras de polipropileno post consumo, realizan un proceso muy empírico, donde se hace muy difícil garantizar productos homogéneos entre si, con producciones muy ineficientes en cuanto a consumo energético y eficiencia, con mucho desperdicio de material y poco rendimiento. Con los conocimientos y una buena investigación queremos buscar un sistema de formación de estas piezas de gran volumen, con fin de que estas sean, a

más bajos costos, de muy buena calidad, con el menor desperdicio posible aprovechando mejor los recursos, brindando la posibilidad de competir tanto a nivel local como nacional.

Para el diseño del sistema es necesario definir algunos requerimientos y deseos del diseño y poder tenerlos como base para realizar las elecciones mas adecuadas en cuanto a componentes y portadores de funciones del sistema. Estos requerimientos y deseos preliminares se encuentran enfocados a niveles de producción, características de la materia prima, características de las piezas que se desean crear, operabilidad, seguridad y control.

En general el sistema que se desea obtener, es para la fabricación de piezas de grandes volúmenes como la madera plástica, estructura para bancas y sillas, las cuales requieren de poco acabado superficial y de gran volumen. No es económicamente factible producirlas con sistemas como el de la inyección, por el alto costo de los moldes y por las dimensiones de la máquina en general y además son piezas que no requieren de la precisión que se puede obtener por el proceso de inyección.

Tabla 4. Lista de requerimientos y deseos.

		Características	
		Requeridas	Deseadas
1	GENERALES		
	Procesar polipropileno post consumo	x	
	Produccion minima 50 kg/h		x
	Produccion maxima 150 kg/h		x
	Plastificacion continua	x	
2	GEOMETRIA		
	Capacidad de almacenamiento para 1 hora		x
	Diseño modular		x
3	ESTRUCTURA		
	Los elementos del sistema de facil construccion local	x	
	Sistema de facil mantenimiento		x
	Estructura resistente	x	
	Máquina de eficiencia para trabajo pesado	x	
	Materiales de facil adquisicion local	x	
4	CONDICIONES DE TRABAJO		
	Maquina de trabajo continuo durante las 24 horas del dia	x	
	Ambiente limpio y no agresivo		x
5	DIMENSIONES APROXIMADAS		
	Suelo utilizado no mayor a 25 m2		x
	Largo de todo el sistema no mayor a 9 metros		x
	Ancho del sistema no mayor a 3 metros		x
	Altura del sistema menor a 3 metros		x
6	MANTENIMIENTO		
	Minimo y de facil ejecucion		x
	Repuestos reproducibles o de facil adquisición	x	
	Piezas de facil fabricacion y repetibilidad		x
7	MANEJO		
	Facil manejo		x
	Amigable con los operarios	x	
	Maximo 2 operarios	x	
	Confiability Alta		x
	Uso continuo	x	

		Características	
		Requeridas	Deseadas
8	SEGURIDAD		
	Alta seguridad (activa y pasiva)	x	
	Sistemas de proteccion adecuados al proceso	x	
	Evitar aristas vivas		x
	Los materiales utilizados debes ser confiables	x	
	Valvulas de alivio en caso de sobre presiones		x
	Alarma de sobrepresion		x
	Durante la operación y el MTTO los riesgos de accidente deben ser minimos		x
	El factor de seguridad debe ser mayor 1.5, partes diseñadas	x	
	Los partes que se encuentren a altas temperaturas deben encontrarse aisladas para evitar quemaduras	x	
	Paros de emergencia	x	
	Los cables y tuberias deben estar aislados y marcados	x	
	Cables resistentes a altas temperatura	x	
12	CINEMATICAS, ESTATICAS Y DINAMICAS		
	Sistema estable		x
	Diseño que soporte las cargas establecidas	x	
	Alimentacion del sistema por medio de cargadores		x
	Motor para generar movimiento circular		x
	Rigidez de la máquina suficiente para evitar deformaciones	x	
13	ENERGIA		
	Fuente principal de energia electrica 220V monofasica o trifasica	x	
	Fuentes secundarias gas, aire y fluidos a presion		x
	Transmision de calor eficiente		x
	Perdidas de calor minimas		x
	Las perdidas de calor no deben afectar el proceso	x	
	Minimo consumo energetico		x
	Energia electrica para generar movimiento circular		x
	Energia hidraulica o neumatica para movimiento axiales		x
	Baja friccion entre componentes		x
	Temperaturas de trabajo alrededor de 170-240C	x	
14	CONTROL Y SEÑALES		
	Señal de amperajes para control visual		x
	Señales de temperatura	x	
	Control de temperatura automatico	x	
	Indicadores de presion	x	
	Alarma de sobrepresion		x
	Alarma de recalentamiento		x
	Alimentacion automatica de materia prima		x
	Indicador de estado del proceso		x

		Características	
		Requeridas	Deseadas
15	MATERIA PRIMA		
	Materia prima aglutinada	x	
	Materia prima polipropileno postconsumo limpio	x	
16	MATERIALES DEL SISTEMA		
	Alta vida de servicio	x	
	De fácil obtención a nivel nacional	x	
	Resistencia al desgaste aquellas piezas expuestas al rozamiento		x
	Tratamientos térmicos a las piezas que lo requieran	x	
	Tratamientos de fácil y realización a nivel local	x	
17	MOLDES		
	Bajos requerimientos de presiones	x	
	Maquinado en sistemas convencionales	x	
	Acabado superficiales no muy exigentes		x
	Baja precisión dimensional		x
		Características	
		Requeridas	Deseadas
18	PIEZAS		
	Volumen máximo 40000cm ³	x	
	Relación volumen/área superficial menor a 6	x	
	Tolerancias dimensionales mayores a 1.5 milímetros	x	
	Resistentes al impacto	x	
	Bajo costo de fabricación		x
	Acabados superficiales no muy exigentes		x
19	COSTOS		
	Mínimo costo de fabricación		x
	Mínimos costos de producción		x

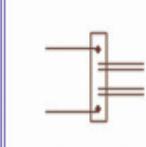
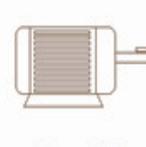
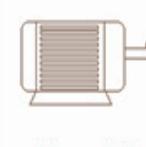
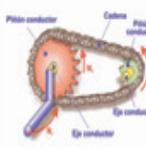
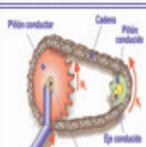
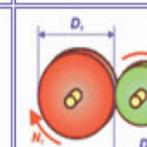
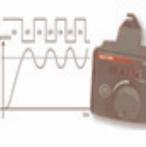
Fuente Propia

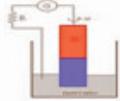
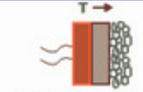
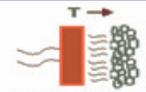
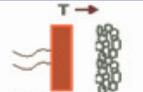
9.2.5 Matriz MORFOLÓGICA. En la matriz morfológica se establecen cada uno de los posibles portadores de función y se presentan algunas de las

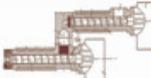
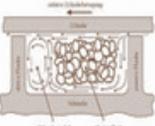
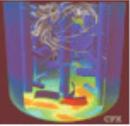
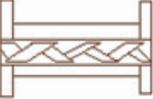
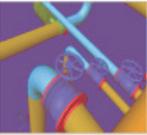
propuestas que pueden satisfacer el diseño mediante la combinación de los portadores, las diferentes combinaciones deben ser seleccionadas bajo los parámetros de calidad, factibilidad técnica, requerimientos del cliente, mantenimiento, ergonomía, costo y vida útil del producto.

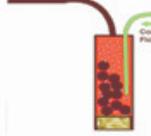
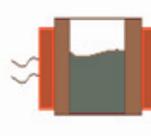
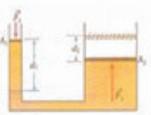
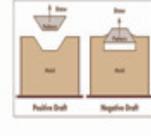
Esta herramienta busca las soluciones del diseño buscando el como hacer cada una de las funciones para que cumplan con los requisitos planteados en el PDS. Por medio de un buen análisis se puede llegar a obtener un excelente diseño y unas alternativas bastante variadas lo que mejora el cumplimiento de los objetivos.

Tabla 5. Matriz morfológica.

SOLUCION FUNCION	1	2	3	4	5
CONTROLAR Suministro de energia	 Suiche de seguridad	 Guillotina	 Breaker	 Contactor y termico	
DIVIDIR Flujo de energia	 Cables	 Terminales	 Barraje		
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Mecanica	 Motor DC	 Motor AC	 Sistema Hidraulico		
REDUCION Velocidad	 Moto reductor	 Piñon-Cadenas	 Poleas		
TRANSMISION E.M	 Engranajes	 Piñon-Cadenas	 Poleas	 friccion	
VARIAR Velocidad	 Variador de corriente	 Variador de frecuencia	 Poleas desplazables	 Poleas intercambiables	 Caja de velocidades
CONTROLAR Temperatura	 Control On/off	 Control proporcional+Integral+derivativo	 Temporizador	 SRC's	

SOLUCION FUNCION	1	2	3	4	5
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Termica	 Resistencias	 Por inducción de corriente			
CONTENER Material Solido	 silo	 Canecas	 Big bag		
TRANSPORTAR Material solido a sistema dosificacion	 Sistema de vacio	 transportadora	 Tornillo sin fin	 Manual	 Polipasto
DOSIFICAR Material solido	 flujo	 Dosificadores volumetricos	 Dosificadores gravimetricos		
TRANSPORTAR Material solido	 Tornillo sin fin	 Gravedad	 Rotor de aspas	 Banda transportadora	 Vibracion
TRASFERENCIA Calor	 Conducción Resistencias-metal-material	 Convección Resistencia-Gas-Material	 Radiación Resistencia-ondas-material		
FUNDIR Material	 OP.1 EXTRUSORA monohusillo-convencional	 OP.2 EXTRUSORA monohusillo-venteo	 OP.3 EXTRUSORA monohusillo-ranurada	 OP.4 EXTRUSORA Ram	 OP.5 TWIN EXTRUDER Co- Rotante intermeshing

SOLUCION FUNCION	1	2	3	4	5
FUNDIR Material	 OP.6 TWIN EXTRUDER Cotra- Rotante intermeshing	 OP.7 EXTRUSORA de cascada	 OP.8 TWIN EXTRUDER Cotra- Rotante non- intermeshing	 OP.9 MARMITA Caliente	 OP.10 Diseños especiales
INDICAR Temperatura	 temperatura digital	 agujas			
SENSAR Temperatura	 Termocupla	 Termistor	 Sensor resistivo RTD		
SENSAR Presion	 Medidor mecanico de presion de masa	 transductor e indicador electronico de presion de masa	 Transductor e indicador de presion y temperatura de masa.		
INDICAR Presion					
HOMOGENIZAR	 Tornillo sin fin	 Agitador	 Mezclador estatico		
CONDUCCIR Material fundido	 Boquilla	 Canal	 Tuberia		

SOLUCION FUNCION	1	2	3	4	5
CONTENER Material fundido	 Molde	 Camara caliente	 Tubo atemperado		
LLENAR MOLDE	 Piston hidraulico	 Piston Neumatico	 Vaciado	 Prensa electromecanica	 Presion y vacio
ENFRIAR Pieza	 Contacto directo liquido frio	 traves de molde refrigerado	 Aire forzado	 Gas frio	 Al medio ambiente
DESMOLDAR Pieza	 Pines	 Actuador hidraulico	 angulos de salida		

9.2.6 Evaluación de las funciones. Los diferentes portadores de función serán evaluados por medio de una herramienta del diseño conceptual que permite visualizar si la solución a esa función es valida y así depurar un poco la matriz morfológica, ayudando al diseñador a acercarse cada vez a la solución mas acertada.

Luego de realizar esta evaluación se presentara una nueva matriz con las funciones que realmente cumplen con todos los requisitos del diseño y bajo estas condiciones se seleccionara la mejor solución.

Tabla 6. Controlar suministro de energía, dividir flujo de energía, transformar energía eléctrica en energía mecánica, reducir velocidad.

		Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION		
		Compatible con la tarea principal							Marcar variantes solución (Vs)		
		Cumple requisitos de la especificaciones							(+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución (?) Colectar información (re-evaluar solución)		
		Factibilidad técnica en principio							(!) Revisar especificaciones para posible cambio		
		Dentro de los costos permisibles									
		Tiene seguridad intrínseca									
		Preferida por la empresa									
		información adecuada									
		A	B	C	D	E	F	G	OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)	Decisión	
CONTROLAR SUMINISTRO DE ENERGIA											
Swiche de seguridad	1	+	+	+	+	+	+	+			+
Guillotina	2	+	-							Muy empirico y se desea proteger el sistema	-
Breaker	3	+	+	+	+	+	+	+			+
Contactor térmico	4	+	+	+	+	+	+	+			+
DIVIDIR FLUJO DE ENERGIA											
Cables	1	+	+	+	+	+	-			Para realizar cambios en intervenciones es poco útil	-
Terminales	2	+	+	+	+	+	+	+			+
Barraje	3	+	+	+	+	+	+	+			+
TRANSFORMAR ENERGIA ELECTRICA A ENERGIA MECANICA											
Motor DC	1	+	+	+	+	+	-			El motor DC es mas costoso que el AC.	-
Motor AC	2	+	+	+	+	+	+	+		El motor AC representa la mejor alternativa en control de torque y velocidad, este debe ser utilizado con un variador de frecuencia lo que lo hace un poco mas costoso.	+
Sistema Hidráulico	3	+	+	+	-					A pesar de ser una excelente alternativa por su facilidad de variación y control, su costo es mas elevado, el conocimiento del sistema es menor y para esta aplicación no se necesita un flujo continuo como el necesario para laminar. Es comúnmente utilizado	-
REDUCIR VELOCIDAD											
Moto reductor	1	+	+	+	+	+	+	+		Las eficiencias de estos sistemas se encuentran entre el 98 y 96 por ciento siendo muy bajas sus perdidas.	+
Piñón cadena	2	+	-	+	+	-	-	+		Las mejores eficiencias de los sistemas de potencia se dan a velocidades altas, y para generar una reducción con esta relación se hace necesario varios sistemas de este tipo, además son elementos de mayor mantenimiento que el moto reductor	-
Poleas	3	+	-	+	+	-	-	+			-

Tabla 7. Transmitir energía mecánica, variar velocidad.

	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION		
								Marcar variantes solución (Vs) (+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución (?) Colectar información (re-evaluar solución) (!) Revisar especificaciones para posible cambio		
Compatible con la tarea principal										
Cumple requisitos de la especificaciones										
Factibilidad técnica en principio										
Dentro de los costos permisibles										
Tiene seguridad intrínseca										
Preferida por la empresa										
información adecuada										
A	B	C	D	E	F	G				
TRANSMITIR ENERGIA MECANICA										
Engranajes	1	+	+	+	+	+	-		Se desea un portador de la transmisión de movimiento que pueda absorber un sobre torque en el sistema	-
Piñón cadena	2	+	+	+	+	-			Cumple con el principio pero se desea tener la posibilidad de que en caso de un sobretorque, el sistema de transmisión pueda absorberlo, sin que los costos de reparación sean altos	-
Poleas	3	+	+	+	+	+	+	+	Es una buena opción para transmitir ya que sirven de sistema de seguridad en el momento de un sobretorque.	+
Ruedas de fricción	4	+	+	-					Este sistema solo puede ser usado en aplicaciones donde no se requiere transmitir torque ya que su principio se basa en la fricción que se produce en las dos ruedas. Para la aplicación no es adecuado.	-
VARIAR VELOCIDAD										
Variador de corriente	1	+	+	+	+	+	+	+	Se puede realizar una variación sin parar el sistema, en un rango grande de velocidades. Fácil manejo. Especial para motor DC	+
Variador de frecuencia	2	+	+	+	+	+	+	+	Se puede realizar una variación sin parar el sistema, en un rango grande de velocidades. Fácil manejo. Especial para motor AC	+
Poleas desplazables	3	+	+	+	+	+	-		Cumplen con la función pero es muy limitada la capacidad de variación y se prefiere tener la menor cantidad posible de elementos mecánicos susceptibles al desgaste, que tienen que ser ajustados manualmente	-
Poleas intercambiables	4	+	+	+	+	+	-		Cumplen con la función pero, se prefiere tener la menor cantidad posible de elementos mecánicos susceptibles al desgaste y que se pueda generar una variación continua sin tener que para el sistema.	-
Caja de velocidades	5	+	+	+	+	+	-		La caja de velocidades es una buena opción para la variación, pero es limitada al numero de cambios.	-

Tabla 8. Controlar temperatura, transformar energía eléctrica en térmica.

	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION		
	A	B	C	D	E	F	G	OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)	Decisión	
Compatible con la tarea principal Cumple requisitos de la especificaciones Factibilidad técnica en principio Dentro de los costos permisibles Tiene seguridad intrínseca Preferida por la empresa información adecuada										
(+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución (?) Colectar información (re-evaluar solución) (!) Revisar especificaciones para posible cambio										
CONTROLAR TEMPERATURA										
Control On/Off	1	+	-						Este tipo de control corta el flujo de energía completamente cuando la temperatura esta por encima del set point y encendió cuando esta por debajo, esto genera un problema ya que la temperatura es fluctuante dificultando su control.	-
Temporizador	2	+	-						Se basa en la experiencia sobre el sistema y su control es muy flexible. Para obtener un control aceptable al menos se requiere medición de la temperatura	-
Control PID Pirómetro digital	4	+	+	+	+	+	+	+	Este sistema se anticipa a las necesidades de temperatura y posee una gran respuesta a los cambios de temperatura. Comparado con los otros tipos de control su beneficio/costo es muy favorable. Requieren de RSS para su control.	+
SCR's	5	+	+	+	-				Son sistemas mas costosos que el de pirómetro con reles de estado sólido y para la aplicación, es posible la oscilación de la temperatura.	-
TRANSFORMAR ENERGIA ELECTRICA EN TERMICA										
Resistencias	1	+	+	+	+	+	+	+	Las resistencias son una gran elección, brindan una facilidad de control y poco mantenimiento.	+
Por inducción de corriente	2	+	+	+	+	+	-	-	Este sistema no es comúnmente utilizado, hace mas complejo el funcionamiento de la extrusora, y no se tiene el mismo conocimiento que se tiene de las resistencias	-
Elementos desplazables	3	+	+	+	+	+	-		cantidad posible de elementos mecánicos susceptibles al desgaste, que tienen que ser ajustados manualmente	-
Poleas intercambiables	4	+	+	+	+	+	-		Cumplen con la función pero, se prefiere tener la menor cantidad posible de elementos mecánicos susceptibles al desgaste y que se pueda generar una variación continua sin tener que para el sistema.	-
Caja de velocidades	5	+	+	+	+	+	-		La caja de velocidades es una buena opción para la variación, pero es limitada al numero de cambios.	-

Tabla 9. Contener el material de alimentación, transportar el material a alimentar y Dosificar el material sólido al sistema de plastificación.

	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION	
	A	B	C	D	E	F	G	OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)	Decisión
CONTENER EL MATERIAL DE ALIMENTACIÓN									
silo	1	+	+	+	-			el silo crearía un costo adicional y además esta también tendría que ser alimentado.	-
Canecas	2	+	+	+	+	+	+	Por los bajos consumos de la extrusora no es necesario contener una gran cantidad de material, por lo tanto se puede guardar en canecas y ser manipulado por el operario.	+
Big Bag	3	+	+	+	+	+	+	Los big bags son un ahorro de espacio cuando se tienen vacíos, su manipulación es simple.	+
TRANSPORTAR EL MATERIAL A ALIMENTAR									
Sistema de vacío	1	+	+	+	+	+	+	Es una opción buena que no requiere de mucha inversión	+
Banda transportadora	2	+	+	+	+	+	+	La banda transportadora es una muy buena opción.	+
Tomillo sin fin	3	+	+	+	-			Es de alto costo de fabricación.	-
Manual	4	+	+	+	+	+	+	Los requerimientos de flujo de la materia prima no son muy altos por lo tanto pueden ser satisfechos por un operario.	+
Polipasto	5	+	+	+	+	+	-	El polipasto es una buena opción si las big bag tiene válvula de salida en el inferior.	-
DOSIFICAR MATERIAL SOLIDO A SISTEMA DE PLASTIFICACION									
Restricción de flujo	1	+	+	+	+	+	+	La restricción de flujo es suficiente dosificar el material, en esta aplicación no es necesario mantener un flujo muy continuo y homogéneo.	+
Dosificadores volumétricos	2	+	-	-	+			Estos dos sistemas son utilizados para realizar mezclas en general, en las cuales se hace necesario precisar las cantidades de cada componente, como en el caso del uso de pigmentos como masterbacht, representando un mayor costo.	-
Dosificadores gravimétricos	3	+	-	-	+				-

Tabla 10. Transportar material a la zona de fundido, transferencia de calor y sensar temperatura.

	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION	
	Compatible con la tarea principal							Marcar variantes solución (Vs)	
	Cumple requisitos de la especificaciones							(+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución	
	Factibilidad técnica en principio							(?) Colectar información (re-evaluar solución)	
	Dentro de los costos permisibles							(!) Revisar especificaciones para posible cambio	
	Tiene seguridad intrínseca							Decisión	
	Preferida por la empresa información adecuada								
A	B	C	D	E	F	G	OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)		
TRANSPORTAR MATERIAL A LA ZONA DE FUNDIDO									
Tornillo sin fin	1	+	+	+	-			Con un sistema de alimentación forzada con tornillo sin fin, se puede obtener una muy buena alimentación de material, sobretodo cuando estos son de baja densidad aparente, pero en el caso del aglutinado este fluye fácilmente a pesar de el tamaño de los granos.	-
Gravedad	2	+	+	+	+	+	+	Por el peso de los granos, fluye fácilmente con la gravedad.	+
Rotor de aspas	3	+	+	+	-			Es un costo extra que no genera lo suficientes beneficios, respecto a las otras posibles soluciones	-
Banda transportadora	4	+	+	+	-			Sus beneficios, no son apreciables, por la buena fluidez del material.	-
Vibración	5	+	+	+	+	-		El sistema de vibración es muy utilizado en alimentación de laminilla o escamas que producen puentes fácilmente entre ellas.	-
TRANSFERENCIA DE CALOR									
Conducción Resistencias-metal-material	1	+	+	+	+	+	+	Es el mas apropiado ya que hace su control mucho mas sencillo.	+
Convección resistencia-gas-material	2	+	-					Es mas dificil de controlar ya que se ve afectada por el flujo y los cambios en el ambiente.	-
Radiación Resistencia-ondas-material	3	+	+	+	-			Es un sistema costoso del cual no se tiene mucha información para esta aplicación.	-
SENSAR TEMPERATURA									
Termocupla	1	+	+	+	+	+	+	Es un sistema muy económico, y posee un rango de temperaturas muy amplio pero por la aplicación no es tan importante ya que se manejan temperaturas de fusión cercanas a los 250°C	+
RTD (Sensor de temperatura resistivo)	2	+	+	+	-			Este sistema es bastante preciso ya que es muy bueno midiendo temperatura de un área y no de un solo punto, además es bastante estable lo que lo hace una excelente elección a pesar del alto costo.	-
Termistor	3	+	+	+	+	+	-	Es muy sensible a los cambios de temperatura, disminuyendo el tiempo de respuesta, sin embargo no es muy bueno sensando áreas, se enfoca mas en el punto mas cercano.	-

Tabla 11. Sensor temperatura, homogenizar el material y conducirle material fundido.

	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION		
								Marcar variantes solución (Vs) (+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución (?) Colectar información (re-evaluar solución) (!) Revisar especificaciones para posible cambio		
Compatible con la tarea principal										Decisión
Cumple requisitos de la especificaciones										
Factibilidad técnica en principio										
Dentro de los costos permisibles										
Tiene seguridad intrínseca										
Preferida por la empresa										
información adecuada										
A	B	C	D	E	F	G				
SENSOR TEMPERATURA										
Medidor mecánico de presión de masa	1	+	+	+	+	+	-	+	Es un sistema muy económico y indica la presión, pero se está buscando un sistema electrónico que pueda generar una alarma en caso de sobrepresión	-
Transductor e indicador de presión y temperatura de masa.	2	+	+	+	-				Este sistema a pesar de ser muy costoso, se tiene la posibilidad de medir la temperatura del fundido mientras se mide la presión de la masa.	+
Transductor e indicador electrónico de presión de masa	3	+	+	+	+	+	-		Sistema adecuado para lo que busca la empresa	+
HOMOGENIZAR EL MATERIAL										
Tornillo sin fin	1	+	+	+	+				El tornillo de extrusión homogeniza lo suficiente el polímero fundido, ya que la aplicación no requiere exceso de homogenización	+
Agitador	2	+	+	-					El polímero fundido tiene una viscosidad alta y su mezcla por paletas requiere de un nuevo motor para realizarla. Lo que genera extra costos de producción	-
Mezclador estático	3	+	+	+	+				El mezclador estático podría ser una solución, sobre todo si el proceso que se utiliza para fundir, no mezcla el material.	+
CONducir EL MATERIAL FUNDIDO										
Boquilla	1	+	+	+	+				La boquilla tendría las características de un dado la cual puede aumentar la presión en el fluido, esta implica que el molde o la cámara se encuentren muy cerca de la salida de material fundido	+
Canal	2	+	-						El canal cumple con la función conducir, pero al estar expuesto al ambiente hay pérdida de calor y a posible contaminación con partículas suspendidas.	-
Tubería	3	+	+	+	+				Por medio de la tubería se puede conducir el material fundido hasta el molde o hasta una cámara, esta puede estar recubierta por aislante que evite pérdidas de calor. Si es necesario también se puede atemperar con resistencias de abrazadera. Existe la posibilidad de dividir el flujo.	+

Tabla 12. Llenar molde y estabilizar la pieza dimensionalmente.

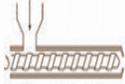
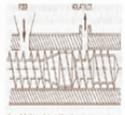
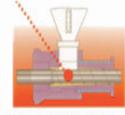
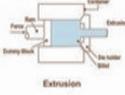
	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION		
	A	B	C	D	E	F	G	Marcar variantes solución (Vs) (+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución (?) Colectar información (re-evaluar solución) (!) Revisar especificaciones para posible cambio		
Compatible con la tarea principal							OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)	Decisión		
Cumple requisitos de la especificaciones										
Factibilidad técnica en principio										
Dentro de los costos permisibles										
Tiene seguridad intrínseca										
Preferida por la empresa										
información adecuada										
OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)										
LLENAR EL MOLDE										
Pistón hidráulico	1	+	+	+	-				El sistema hidráulico es adecuado para realizar la función pero este se utiliza principalmente en procesos de altas presiones, para la aplicación se requiere de una presión mínima que garantice el llenado completo del molde. Su costo es mas alto tanto en inversión como en mantenimiento, comparado con procesos similares como el neumático.	-
Pistón neumático	2	+	+	+	+	+	+	+	Las presiones generadas con sistemas neumáticos son suficientes para el empujar el material fundido hasta el molde, además puede ser un proceso rápido que garantiza un buen llenado del mismo, evitando el enfriamiento por capaz que se crea en el vaciado lento.	+
Vaciado	3	+	-						Al tener piezas con peso aproximados de 25 kilos y un sistema de fundido de 100kg/h vaciar un molde puede tomar entre 12 y 20 minutos, en este tiempo el polímero puede enfriarse por capaz y las piezas tener problemas de resistencia por este enfriamiento disparejo, además pueden quedar partes del molde con cavidades vacías.	-
Presión y vacío	5	+	+	+	+	+	+	+	Sistema con una buena posibilidad de uso mezcla el material.	+
ESTABILIZAR LA PIEZA DIMENSIONALMENTE										
Contacto directo molde con liquido frío.	1	+	+	+	+	+	+	+	Menos eficiente que molde refrigerado pero, menos costo y se pueden obtener resultados similares.	+
Conducción a través de molde refrigerado	2	+	+	+	+	+	+	+	Esta solución podría ser la mas adecuada, por que es necesario que la pieza tenga una estabilidad antes de ser retirada del molde, para que no sufra cambios dimensionales, luego de garantizar un enfriamiento exterior que le de estabilidad se puede retirar del molde y dejar la pieza expuesta al medio	+
Aire forzado	3	+	+	-					Se requiere una disminución rápida de la temperatura del material para realizar el desmolde de la pieza.	-
Gas frío	4	+	+	+	-				Costos muy altos	-
Al medio ambiente	5	+	-						El tiempo para desmoldar es muy grande.	-

Tabla 13. Desmoldar la pieza.

DESMOLDAR LA PIEZA	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones							DECISION	
	Compatible con la tarea principal							Marcar variantes solución (Vs)	
	Cumple requisitos de la especificaciones							(+) Continuar la solución (-) Eliminar la solución	
	Factibilidad técnica en principio							(?) Colectar información (re-evaluar solución)	
	Dentro de los costos permisibles							(!) Revisar especificaciones para posible cambio	
	Tiene seguridad intrínseca							Decisión	
	Preferida por la empresa								
	información adecuada								
	OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)								
	A	B	C	D	E	F	G		
DESMOLDAR LA PIEZA									
Pines	1	+	+	+	+	+	+	Ayudadores para realizar el desmolde utilizando elementos como martillo para empujar hacia fuera la pieza.	+
Ángulos positivos	2	+	+	+	+	+	+	Darle un poco de caída al molde puede facilitar un desmolde por gravedad o manual.	+
Actuador neumático	3	+	+	+	+	+	-	No es necesario para la aplicación, se puede realizar con métodos manuales sin requerir grandes esfuerzos.	-

Para los sistemas de Plastificación (Función Fundir material), se realizo un resumen en la tabla a continuación en donde se reconocen las ventajas y desventajas de cada sistema de acuerdo a los requerimientos del proyecto. En esta tabla se resume gran parte de la investigación realizada sobre esta función en especial.

Tabla 14. Tabla de ventajas y desventajas de los sistemas de fundición.

SOLUCION	FUNDIR MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	 <p>OP.1 EXTRUSORA monohusillo-conventional</p>	<p>Bajo Costo. Buen Conocimiento del sistema. Fácil mantenimiento. Control adecuado sobre las variables. Buena relación Costo/Desempeño. Pocas piezas complejas.</p>	<p>Alimentación por fricción entre el cilindro y el polímero. No es tan eficiente en la eliminación de volátiles, como las de doble tornillo. Volumen zona de alimentación restringido por la torsión generada.</p>
2	 <p>OP.2 EXTRUSORA monohusillo-venteo</p>	<p>Las mismas de la convencional. eliminación de humedad del polímero y volátiles.</p>	<p>Las mismas de la convencional. Costos de diseño y construcción.</p>
3	 <p>OP.3 EXTRUSORA monohusillo-ranurada</p>	<p>Alta rata de flujo de salida. Menor temperatura de fundido. Flujo no depende de la contrapresión.</p>	<p>Mucho desgaste zona ranurada. No compatible con sistema de desgasificación. La altura de alimentación debe ser pequeña para que tenga una buena aplicación el sistema ranurado. Requiere de sistema de enfriamiento.</p>
4	 <p>OP.4 EXTRUSORA Ram</p>	<p>No hay problemas con la alimentación de partículas de gran tamaño. Generación de grandes presiones. Simple construcción. Pocos parámetros para controlar. Fácil mantenimiento.</p>	<p>Plastificación discontinua. Muy mala homogenización. Limitación en volúmenes de plastificación. Generalmente utilizada para pequeñas piezas. requiere de presiones cercanas a los 300MPa, lo que implica un sistema de potencia y una estructura muy robusta.</p>
5	 <p>OP.5 TWIN EXTRUDER Co- Rotante intermeshing</p>	<p>Excelentes en eliminación de volátiles. Alimentación por avance positivo. Bajos tiempos de residencia. Muy buena homogenización. Menor consumo energético. Alimentación de polvos. La rata de producción es mas alta que contra-rotantes.</p>	<p>Poco conocimiento del sistema. Costo de inversión. Complejidad de partes. Costos de mantenimiento altos. Baja presión de cabeza, por limite para cojinetes de empuje</p>

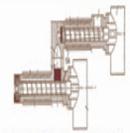
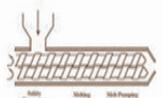
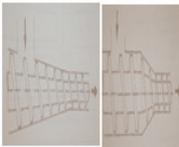
SOLUCION	FUNDIR MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
6	 <p>OP.6 TWIN EXTRUDER Contra Rotante intermeshing</p>	<p>Excelentes en eliminación de volátiles. Alimentación por avance positivo. Bajos tiempos de residencia. Muy buena homogenización. Menor consumo energético. Alimentación de polvos Mejor transporte positivo que Co-rotante</p>	<p>Poco conocimiento del sistema. Costo de inversión. Complejidad de partes. Costos de mantenimiento altos. Baja presión de cabeza, por limite para cojinetes de empuje. Se genera altas presiones lo que limita la velocidad de los tornillos.</p>
7	 <p>OP.7 EXTRUSORA de cascada</p>	<p>Excelentes en eliminación de volátiles. Buena estabilidad del proceso.</p>	<p>Alto costo de fabricación. Mantenimiento complejo. Doble numero de componentes respecto a la de monohusillo. Manejo complejo.</p>
8	 <p>OP.8 TWIN EXTRUDER Contra Rotante non-intermeshing</p>	<p>Mejores Capacidad de transporte y mezcla que las monohusillo. Buenos para desvolatilizacion de solventes.</p>	<p>No tienen la capacidad de auto limpiarse como la intermeshing. Costo de fabricación o compra.</p>
9	 <p>OP.9 MARMITA Caliente</p>	<p>Bajo Costo. Fácil mantenimiento. Pocas partes móviles.</p>	<p>Alto consumo de energía. Mala homogenización. Altos tiempos de residencia. Método empírico. Por las propiedades de los polímeros es un método muy ineficiente.</p>
10	 <p>OP.10 Diseños especiales</p>	<p>Volumen de alimentación adecuado para partículas de gran tamaño como el aglutinado. No hay restricción por cargas en la zona de alimentación. Innovador.</p>	<p>Su fabricación requiere de equipo especializado. Falta de información sobre rendimiento y capacidades, tanto para alimentar, fundir y homogenizar. No se conocen aplicación.</p>

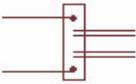
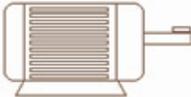
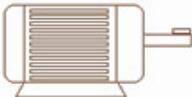
Tabla 15. Fundir material.

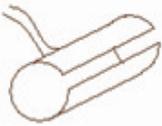
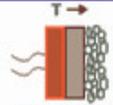
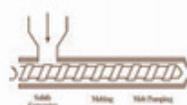
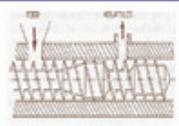
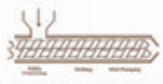
FUNDIR MATERIAL	Variante solución (vs) evaluada por: CRITERIO DE SELECCIÓN (+) Si (-) No (?) Falta información (!) Revisar especificaciones								DECISION	
									Marcar variantes solución (Vs)	
	Compatible con la tarea principal								(+) Continuar la solución	
	Cumple requisitos de la especificaciones								(-) Eliminar la solución	
	Factibilidad técnica en principio								(?) Colectar información (re-evaluar solución)	
	Dentro de los costos permisibles								(!) Revisar especificaciones para posible cambio	
	Tiene seguridad intrínseca									
	Preferida por la empresa									
	información adecuada									
	OBSERVACIONES (INDICADORES, RAZONES)								Decisión	
Extrusora estándar	1	+	+	+	+	+	+	+	Es una opción aceptable pero con un buen diseño de tornillo, que maximice su producción.	+
Extrusora monohusillo con venteo	2	+	+	+	+	+	+	+	Muy buena opción pensando en que el material aglutinado, ha tenido mucho contacto con agua.	+
Extrusora monohusillo ranurada	3	+	-						Esta aplicación es muy buena para obtener muy buena capacidad de procesamiento, pero por el tamaño de las partículas del PP aglutinado, requiere de una zona de alimentación profunda, lo cual no es compatible con el sistema ranurado (grooved)	-
Extrusora RAM	4	+	-						Están limitadas para grandes volúmenes y se desea una plastificación continua del material para ahorro de energía.	-
Extrusora twin screw corrotante intermeshing	5	+	+	+	-				Este tipo de extrusoras de doble tornillo es un intermedio entre las extrusoras monohusillo y las de doble entremezclados, son costosas y superan los	-
Extrusora Twin screw contrarotante intermeshing	6	+	+	+	+	+	+	+	Este tipo de extrusoras de doble tornillo, son costosas y superan los presupuestos. Su fabricación requiere de mayor tecnología que las monohusillo.	-
Extrusora de cascada	7	+	+	+	+	+	-		Los requerimientos de desvolatilización no son muy exigentes ya que el polipropileno no es un material higroscópico, se generaría un costo extra sin un beneficio realmente apreciable para los requerimientos finales de la pieza.	-
Extrusora Twin screw contrarotante non intermeshing	8	+	+	+	+	+	+	+	Este tipo de extrusoras de doble tornillo es un intermedio entre las extrusoras monohusillo y las de doble entremezclados, tiene un buen transporte de material sólido y un buen volumen en la zona de alimentación. Sus costos son altos.	+
Marmita Caliente	9	+	+	-					En principio se podría fundir el polímero en una olla, como se realiza en fundición de metales, pero por su baja conductividad térmica, se requeriría de grandes tiempos de residencia y gran cantidad de energía. No tienen una viabilidad técnica.	-
Diseños especiales	10	+	(?)	(?)	(?)	+	(?)	-	Estos diseños realmente en principio son muy interesantes, podrían ser una solución muy adecuada para el material aglutinado, por su baja densidad aparente y gran tamaño de grano. Por la escasez en información estas se eliminan. Pero sería bueno que una institución como el ICIPC o alguna universidad estudiara este tipo de tornillos tanto de una forma teórica, como experimental.	-

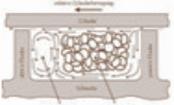
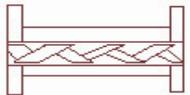
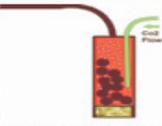
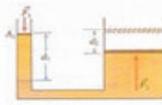
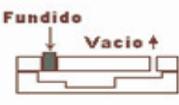
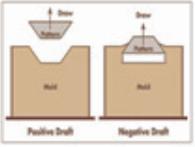
Luego de realizar la evaluación previa de los portadores de función, se eliminaron gran cantidad de portadores que no satisfacían los requerimientos del proyecto, sea tanto por principios físicos, compatibilidad con la tarea principal, costos, niveles de seguridad, información del sistema y finalmente por preferencias del proyecto.

9.2.7 Matriz morfológica reducida. A continuación se presenta la matriz reducida la cual sale de la escogencia de las diferentes funciones que continúan en la solución.

Tabla 16. Matriz morfológica reducida.

SOLUCION FUNCION	1	2	3
CONTROLAR Suministro de energia	Suiche de seguridad	 Contactor y termico	
DIVIDIR Flujo de energia	 Terminales	 Barraje	
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Mecanica	 Motor DC	 Motor AC	
REDUCION Velocidad	 Moto reductor		
TRANSMISION E. M	 Poleas		
VARIAR Velocidad	 Variador de corriente	 Variador de frecuencia	
CONTROLAR E INDICAR Temperatura	 Control proporcional+Integral+derivativo		

SOLUCION FUNCION	1	2	3
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Termica	 Resistencias		
CONTENER Material Solido	 Canecas	 Big bag	
TRANSPORTAR Material solido a sistema dosificacion	 Sistema de vacio	 Manual	
DOSIFICAR Material solido	 Restriccion de flujo		
TRANSPORTAR Material solido	 Gravedad		
TRANSFERENCIA Calor	 Conducción Resistencias-metal- material		
FUNDIR Material	 OP.1 EXTRUSORA monohusillo-standart	 OP.2 EXTRUSORA monohusillo-venteo	 OP.8 TWIN EXTRUDER Cotra-Rotante non- intermeshing

SOLUCION FUNCION	1	2	3
SENSAR Temperatura	 Termocupla		
SENSAR Presion			
INDICAR Presion	transductor e indicador electronico de presion de masa	Transductor e indicador de presion y temperatura de masa.	
HOMOGENIZAR	 Tornillo sin fin	 Mezclador estatico	
CONDUCCIR Material fundido	 Boquilla	 Tuberia	
CONTENER Material fundido	 Camara caliente		
LLENAR MOLDE	 Piston hidraulico	 Fundido Vacio ↑ Presion y vacio	
ESTABILIZAR forma de la pieza (Enfriamiento)	 Contacto directo liquido frio	 Conduccion a traves de molde refrigerado	
DESMOLDAR Pieza	 Pines	 angulos de salida	

9.3 POSIBLES SOLUCIONES.

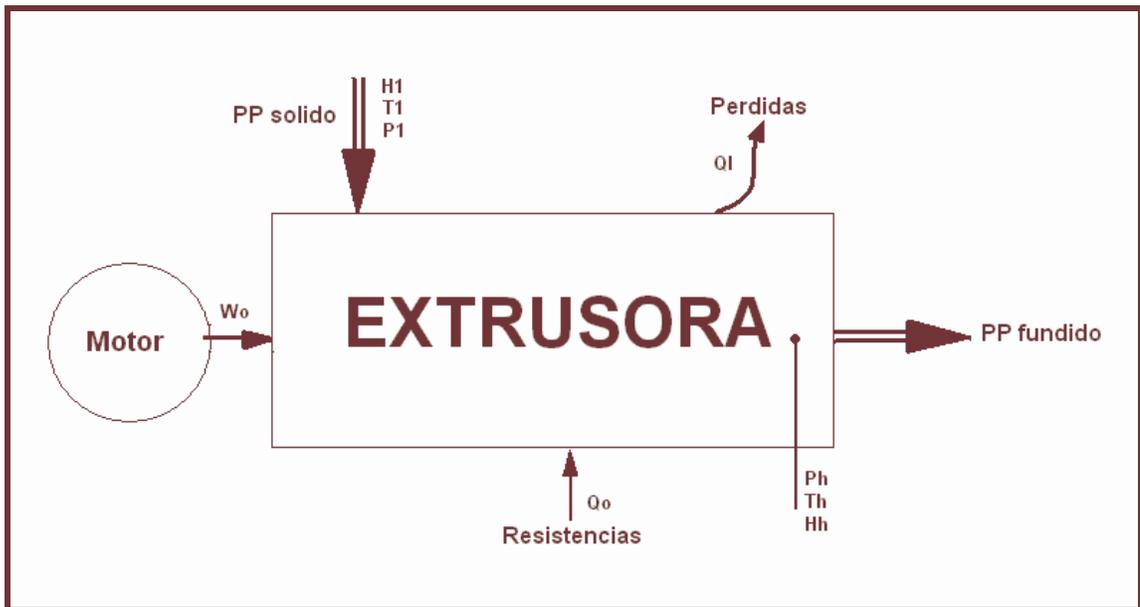
A continuación se presentan las diferentes combinaciones de funciones que dan configuración a un sistema completo que cumple con el objetivo.

Para establecer algunos criterios que se desea cuantificar es necesario realizar algunos cálculos, los cuales son presentados a continuación.

9.3.1 Estimación de la potencia requerida para fundir.

Análisis termodinámico del sistema

Ilustración 24. Balance de energía en el proceso de extrusión del polímero.



Las pérdidas de transmisión y fricción se desprecian, con lo cual toda la potencia del motor se utiliza para aumentar la temperatura del polímero.

El balance de energía por unidad de masa en el sistema esta dado por:

Ecuación 4. Balance de energía por unidad de masa del polímero.

$$\Delta H + \Delta PE + \Delta KE = \Delta Q + \Delta W$$

Donde;

$\Delta H = H_2 - H_1$ Incremento de entalpía por unidad de masa.

ΔPE = Incremento de energía potencial por unidad de masa.

ΔKE = Incremento energía cinética por unidad de masa.

ΔQ = Energía térmica neta transmitida por unidad de polímero.

ΔW = Energía mecánica netas transmitida por unidad de masa.

En extrusión El cambio de Energía potencial y cinética es despreciable respecto al aumento de la entalpía.

$$\Delta H = \Delta Q + \Delta W$$

ΔQ y ΔH pueden ser expresados por:

$$\Delta Q = \frac{(Q_o - Q_l)}{G}$$

$$\Delta W = \frac{W_o}{G}$$

Donde;

G es el flujo másico

Qo; Energía Térmica por unidad de tiempo (resistencias)

Ql; Energía Térmica por unidad de tiempo (perdidas al ambiente)

Ecuación 5. Potencia teórica en operación adiabática.

$$W_o = G * \Delta H$$

$$W_o^x = G * \Delta H$$

Donde; W_o^x = Potencia teórica en una operación adiabática.

La potencia requerida es;

$$W_o = W_o^x \left[\frac{100}{\%EficienciaMotor} \right]$$

Para llevar 100 Kg/h polipropileno de temperatura ambiente a temperatura de fundido es necesario:

$$G = 100\text{kg/h}$$

$$C_p = 2930\text{j/Kg k} \quad (2.777 \text{ Btu/Kg k})$$

Ecuación 6. Incremento de la entalpía del polímero.

$$\Delta h = \int_{Rt}^{Tf} C_p(T) dT$$

$$\Delta h = \int_{20}^{240} 2.777 \text{ Btu / Kg.K}(T) dT$$

$$\Delta h = 610.94 \text{ Btu / kg}$$

Ecuación 7. Potencia del motor requerida en operación adiabática.

$$W_o^x = G * \Delta H$$

$$W_o^x = 100\text{kg / h} * 610.94 \text{ Btu / kg}$$

$$W_o^x = 61094 \text{ Btu / h}$$

Ecuación 8. Potencia en HP.

$$W_o^x = \frac{61094 \text{ Btu / h}}{2544 \text{ Btu / (HP.h)}}$$

$$W_o^x = 24.01 \text{ HP}$$

$$W_o = 24.01 \text{ HP} \left[\frac{100}{80\%} \right] = 30 \text{ HP}$$

Este valor es sin tomar pérdidas por fricción ni por transferencia de calor al ambiente. Tampoco se está considerando el calor entregado por las resistencias, que generalmente la proporción de energía entregada al polímero para elevar su temperatura está repartida entre 70% a 80% dada por el motor y el resto entregada por las resistencias.

Consumo energético por Kg.

Ecuación 9. Consumo energético (Kw-H/Kg)

$$30HP \times \frac{0,746kW}{HP} = 22.38kW$$

$$\frac{22,38kW}{100 \frac{kg}{h}} = 0,2238 \frac{kW \times h}{kg}$$

9.3.2 Parametrización

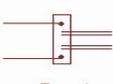
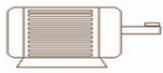
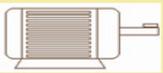
Los precios y algunos criterios tomados para definir las características de cada solución, son basados no solo en características técnicas medibles sino también en experiencias y comparaciones con equipos similares.

Ilustración 25 Parametrización

Dimensionamiento de parametros y cotizaciones		
Equipo o característica	Establecimiento de característica	Cotizacion
Motores	Calculo, datos de teoria, supociones y comparacion.	Electricas Medellín
Resistencia	Comparacion Máquinas similares Lamiempques S.A.	PROCAL S.A
Motor reductor	Tablas	Varimotor S.A
Pirometros y Reles	Experiencia Lamiempaques S.A	OPTEC y EIC S.A.
Caracteristicas tornillo	Recomendaciones DYNISCO HANDBOOK	Aproximacion ICIPC
Sensores de presion y Temperatua fluido	Requerimientos del sistema	Paulo de Zubiria DZM
Molde	Aproximacion Asesor	
Evacuacion humedad	Teoria	
Homogenizacion	Teoria	
Calificacion mano de obra	Costo del equipo y complijidad	
Cantidad Operarios	Trabajos manuales necesarios (nivel de automatizacion)	
Produccion	Datos teoricos DYNISCO HANDBOOK, equipos similares castigando produccion por material reciclado	
Piezas criticas	Piezas costosas con demora en su remplazo	
Otros	Supuesto costo de equipos auxiliares como: Estructura, conexiones electrica, tableros, montaje, etc	

9.3.3 Solución 1.

Tabla 17. Configuración de funciones para la solución 1.

SOLUCION FUNCION	1	2	3
CONTROLAR Suministro de energia	 Suiche de seguridad	 Contactor y termico	
DIVIDIR Flujo de energia	 Terminales	 Barraje	
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Mecanica	 Motor DC	 Motor AC	
REDUCION Velocidad	 Moto reductor		
TRANSMISION E.M	 Poleas		
VARIAR Velocidad	 Variador de corriente	 Variador de frecuencia	
CONTROLAR E INDICAR Temperatura	 Control proporcional+Integral+derivativo		
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Termica	 Resistencias		
CONTENER Material Solido	 Canecas	 Big bag	
TRANSPORTAR Material solido a sistema dosificacion	 Sistema de vacio	 Manual	
DOSIFICAR Material solido	 Restriccion de flujo		
TRANSPORTAR Material solido	 Gravedad		

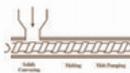
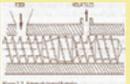
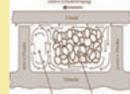
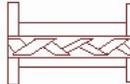
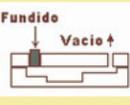
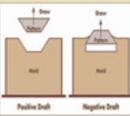
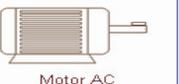
TRASFERENCIA Calor	 Conducción Resistencias-metal- material		
FUNDIR Material	 OP.1 EXTRUSORA monohusillo-standart	 OP.2 EXTRUSORA monohusillo-venteo	 OP.8 TWIN EXTRUDER Cotra-Rotante non- intermeshing
SENSAR Temperatura	 Termocupla		
SENSAR Presion			
INDICAR Presion	transductor e indicador electronico de presion de masa	Transductor e indicador de presion y temperatura de masa.	
HOMOGENIZAR	 Tornillo sin fin	 Mezclador estatico	
CONDUCIR Material fundido	 Boquilla	 Tuberia	
CONTENER Material fundido	 Camara caliente		
LLENAR MOLDE	 Piston Neumatico	 Fundido Vacio ↑ Presion y vacio	
ESTABILIZAR forma de la pieza (Enfriamiento)	 Contacto directo liquido frio	 Conducción a traves de molde refrigerado	
DESMOLDAR Pieza	 Pines	 angulos de salida	

Tabla 18. Especificaciones de la solución 1.

SOLUCION 1	
CARACTERISTICAS SISTEMA	
Potencia Motor	30 HP
Tornillo	2 Etapas
D	3"
L/D	30
Cilindro	Liso
Evacuacion de humedad	Media
Homogenizacion	Alta
Operarios	1
Calificacion mano de obra	Tecnico
Indicadores	Tc,Tf,Pm, Ph,Am,RPM
Control	Temp PID
Alarmas	Tf,Ph,Am
Esfuerzo mano de obra	Bajos, frecuencia Baja
Produccion aprox.	130Kg/h
Consumo energetico	0,2238(Kw*H)/Kg
Piezas criticas	Barril, Tornillo
COSTOS DE INVERSION	
Motor	\$ 2,442,000
Variador	\$ 6,900,000
Reductor	\$ 7,500,000
Diseño tornillo y cilindro	\$ 6,000,000
Fabricacion tornillo y cilindro	\$ 10,000,000
Control de temperatura	\$ 2,100,000
Sensores de presion + Tf	\$ 3,600,000
Resistencias P 1000W	\$ 420,000
Cargador de vacio	\$ 1,200,000
Molde refrigerado	\$ 8,000,000
Otros	\$ 20,000,000
TOTAL	\$ 68,162,000

9.3.4 Solución 2

Tabla 19. Configuración de funciones para la solución 2.

SOLUCION FUNCION	1	2	3
CONTROLAR Suministro de energia	 Suiche de seguridad	 Contactor y termico	
DIVIDIR Flujo de energia	 Terminales	 Barraje	
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Mecanica	 Motor DC	 Motor AC	
REDUCCION Velocidad	 Moto reductor		
TRANSMISION E.M	 Poleas		
VARIAR Velocidad	 Variador de corriente	 Variador de frecuencia	
CONTROLAR E INDICAR Temperatura	 Control proporcional-Integral+derivativo		
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Termica	 Resistencias		
CONTENER Material Solido	 Canecas	 Big bag	
TRANSPORTAR Material solido a sistema dosificacion	 Sistema de vacio	 Manual	
DOSIFICAR Material solido	 Restriccion de flujo		
TRANSPORTAR Material solido	 Gravedad		

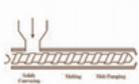
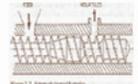
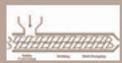
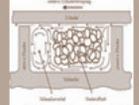
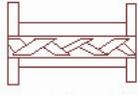
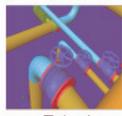
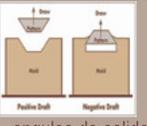
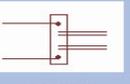
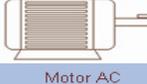
TRASFERENCIA Calor	 Conducción Resistencias-metal- material		
FUNDIR Material	 OP.1 EXTRUSORA monohusillo-standart	 OP.2 EXTRUSORA monohusillo-venteo	 OP.8 TWIN EXTRUDER Cotra-Rotante non- intermeshing
SENSAR Temperatura	 Termocupla		
SENSAR Presion			
INDICAR Presion	transductor e indicador electronico de presion de masa	Transductor e indicador de presion y temperatura de masa.	
HOMOGENIZAR	 Tornillo sin fin	 Mezclador estatico	
CONDUCIR Material fundido	 Boquilla	 Tuberia	
CONTENER Material fundido	 Camara caliente		
LLENAR MOLDE	 Piston Neumatico	 Fundido Vacio ↑ Presion y vacio	
ESTABILIZAR forma de la pieza (Enfriamiento)	 Contacto directo liquido frio	 Conducción a traves de molde refrigerado	
DESMOLDAR Pieza	 Pines	 angulos de salida	

Tabla 20. Especificaciones de la solución 2.

SOLUCION 2	
CARACTERISTICAS SISTEMA	
Potencia Motor	12 HP
Tornillo	1 Etapas
D	35mm
L/D	30
Cilindro	Liso
Evacuacion de humedad	Alta
Homogenizacion	Alta
Operarios	2
Calificacion mano de obra	Tecnico en extrusión
Indicadores	Tc, Pm,Ph,Am,RPM
Control	Temp PID
Alarmas	Tf,Ph,Am
Esfuerzo mano de obra	Medio, frecuencia alta
Produccion aprox.	140Kg/h
Consumo energetico	0,0892(Kw*H)/Kg
Piezas criticas	Barril, dos Tornillos
COSTOS DE INVERSION	
Motor DC	\$ 4,000,000
Variador	\$ 1,200,000
Reductor	\$ 4,200,000
Diseño tornillo y cilindro	\$ 10,000,000
Fabricacion tornillo y cilindro	\$ 25,000,000
Control de temperatura	\$ 2,100,000
Sensores de presion	\$ 2,400,000
Resistencias P 1000W	\$ 420,000
Molde refrigerado	\$ 8,000,000
Otros	\$ 20,000,000
TOTAL	\$ 77,320,000

9.3.5 Solución 3

Tabla 21. Configuración de funciones para la solución 3.

SOLUCION FUNCION	1	2	3
CONTROLAR Suministro de energia	 Suiche de seguridad	 Contactor y termico	
DIVIDIR Flujo de energia	 Terminales	 Barraje	
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Mecanica	 Motor DC	 Motor AC	
REDUCION Velocidad	 Moto reductor		
TRANSMISION E.M	 Poleas		
VARIAR Velocidad	 Variador de corriente	 Variador de frecuencia	
CONTROLAR E INDICAR Temperatura	 Control proporcional+Integral+derivativo		
TRANSFORMAR Energia Electrica a Energia Termica	 Resistencias		
CONTENER Material Solido	 Canecas	 Big bag	
TRANSPORTAR Material solido a sistema dosificacion	 Sistema de vacio	 Manual	
DOSIFICAR Material solido	 Restriccion de flujo		
TRANSPORTAR Material solido	 Gravedad		

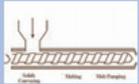
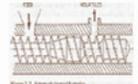
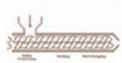
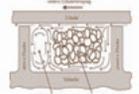
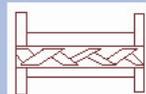
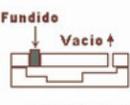
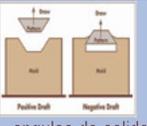
TRASFERENCIA Calor	 Conducción Resistencias-metal- material		
FUNDIR Material	 OP.1 EXTRUSORA monohusillo-standart	 OP.2 EXTRUSORA monohusillo-venteo	 OP.8 TWIN EXTRUDER Cotra-Rotante non- intermeshing
SENSAR Temperatura	 Termocupla		
SENSAR Presion			
INDICAR Presion	transductor e indicador electronico de presion de masa	Transductor e indicador de presion y temperatura de masa.	
HOMOGENIZAR	 Tornillo sin fin	 Mezclador estatico	
CONDUCIR Material fundido	 Boquilla	 Tuberia	
CONTENER Material fundido	 Camara caliente		
LLENAR MOLDE	 Piston Neumatico	 Fundido Vacio ↑ Presion y vacio	
ESTABILIZAR forma de la pieza (Enfriamiento)	 Contacto directo liquido frio	 Conducción a traves de molde refrigerado	
DESMOLDAR Pieza	 Pines	 angulos de salida	

Tabla 22. Especificaciones de la solución 3.

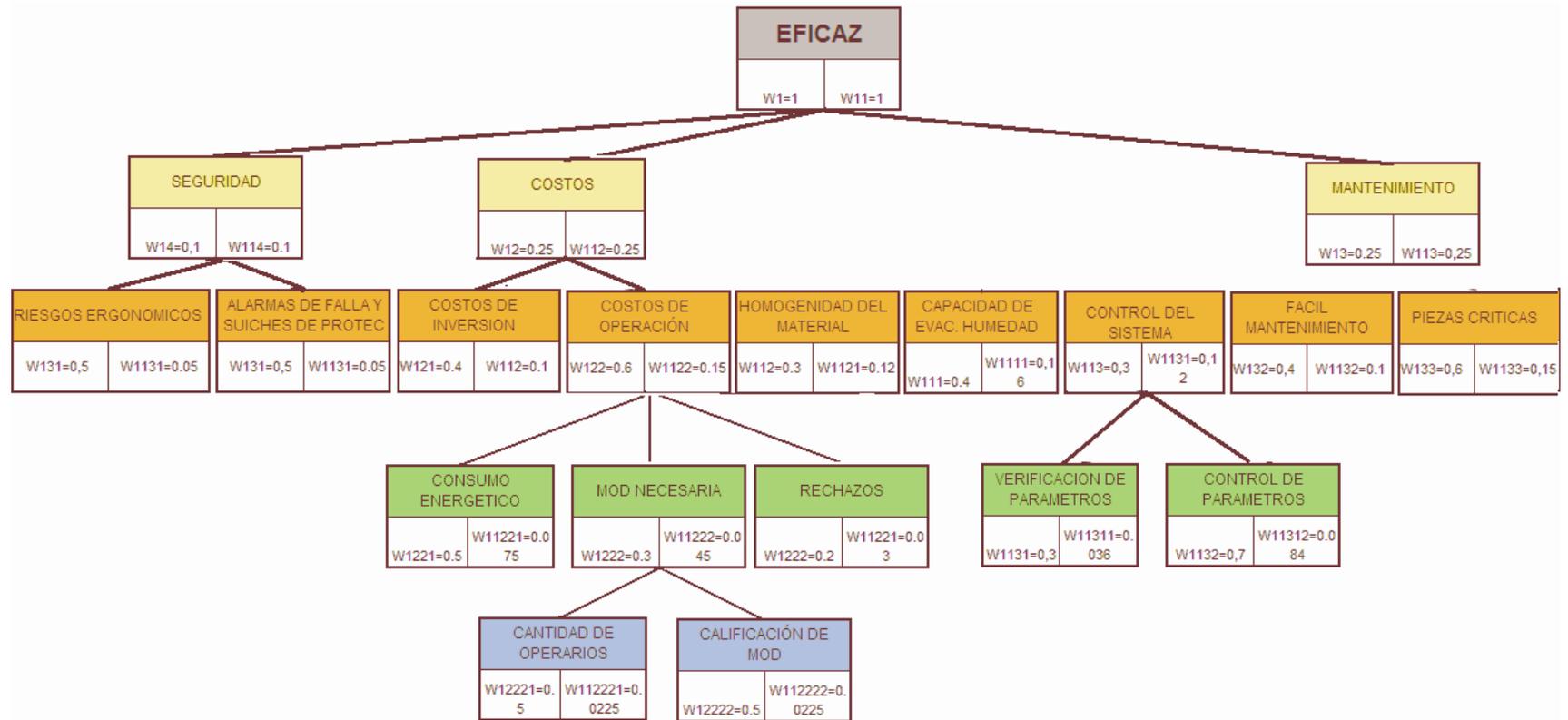
SOLUCION 3	
CARACTERISTICAS SISTEMA	
Potencia Motor	20HP
Tornillo	1 Etapas
D	3"
L/D	30
Cilindro	Liso
Evacuacion de humedad	baja
Homogenizacion	media
Operarios	1
Calificacion mano de obra	Tecnico
Indicadores	Tc,Tf,Pm, Ph,Am,RPM
Control	Temp PID
Alarmas	Tf,Ph,Am
Esfuerzo mano de obra	Medio, frecuencia alta
Produccion aprox.	135Kg/h
Consumo energetico	0,1492(Kw*H)/Kg
Piezas criticas	Barril, Tornillo
COSTOS DE INVERSION	
Motor	\$ 1,518,000
Variador	\$ 6,000,000
Reductor	\$ 5,500,000
Diseño tornillo y cilindro	\$ 4,500,000
Fabricacion tornillo y cilindro	\$ 8,000,000
Control de temperatura	\$ 2,100,000
Sensores de presion + Tf	\$ 3,600,000
Resistencias P 1000W	\$ 420,000
Molde refrigerado	\$ 8,000,000
Otros	\$ 20,000,000
TOTAL	\$ 59,638,000

9.4 EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS.

La evaluación de las diferentes soluciones se realizara de acuerdo a los criterios presentados en el siguiente árbol de objetivos, el cual se plantea con el fin de cuantificar los parámetros de evaluación, estos objetivos están enfocados a la seguridad, el costo, la calidad y el mantenimiento que requiere la maquina.

9.4.1 Árbol de objetivos. Esta herramienta es muy útil para definir las prioridades del diseño, al plantear el árbol, se relacionan las diferentes variables dándoles un porcentaje a cada una de ellas, estos son los valores que luego en la evaluación se tendrán en cuenta.

Ilustración 26. Arbol de objetivos.



9.4.2 Valoración de criterios a evaluar. En esta valoración se parametriza cada uno de los criterios a evaluar usando la herramienta del VDI 2222 la cual tiene una escala de cero a cuatro, en donde el cero es el menor y el cuatro el mayor.

Tabla 23. Valoración de criterios.

VERIFICACION DE PARAMETROS

Magnitud	Valor
Ninguna	0
Indicador Temp zonas y Presion de salida	1
Indicador Temp zonas, P salida, Amperaje motor	2
indicador Temp zonas, P salida, Amperaje motor y Presion de llenado	3
indicador Temp zonas, P salida, A motor, P de llenado, RPM , Temp de fundido	4

INVERSION

Magnitud	Valor
75 millones a 100 millones	0
70 millones a 75 millones	1
60millones a 70 millones	2
45 millones a 60 millones	3
Menos de 45 millones	4

FACIL MANTENIMIENTO

REQUERIMIENTOS TECNICOS Y TIEMPO DE MANTENIMIENTO

Magnitud	Valor
Muy altos	0
Altos	1
Medios	2
Bajos	3
Muy bajos	4

PIEZAS CRITICAS

Magnitud	Valor
4 Piezas	0
3 Piezas	1
2 Piezas	2
1 Piezas	3
0 Piezas	4

CALIFICACION DE MANO DE OBRA

Magnitud	Valor
Ingeniero en extrusion	0
Ingeniero	1
Tecnologo extrusion o con experiencia	2
Tecnologo	3
Bachiller tecnico	4

PORCENTAJE DE RECHAZO

Magnitud	Valor
Mas de 25%	0
19% a 25%	1
11% a 18%	2
6% a 10%	3
menos del 5%	4

RIESGOS ERGONOMICOS

Esfuerzos físicos a los que se somete el operario

Magnitud	Valor
Muy frecuente y gran esfuerzo	0
Esfuerzo medio, alta frecuencia	1
esfuerzo medio, baja frecuencia	2
Poco esfuerzo, poca frecuencia	3
Muy bajos	4

CONSUMO ENERGETICO

Cantidad de energia consumida por kg

Magnitud	Valor
Muy alto	0
Alto	1
medio	2
Bajo	3
Muy Bajo	4

CAPACIDAD DE EVACUACION DE HUMEDAD

Magnitud	Valor
Muy baja	0
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy alta	4

HOMOGENIZACION

Magnitud	Valor
Muy baja	0
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy alta	4

CONTROL DE PARAMETROS

Magnitud	Valor
Ningun control	0
Control temperatura on/off	1
Controles de temperatura PID	2
Controles de temp PID, alarma de sobrepresion, alarma de amperaje motor	3
Controles de temp PID, alarma de sobreP, alarma de A motor, Alarma temp fun	4

CANTIDAD DE OPERARIOS

Magnitud	Valor
5 Operarios	0
4 Operarios	1
3 Operarios	2
2 Operarios	3
1 Operarios	4

ALARMAS DE FALLAS Y SUICHES DE PROTECCION

Magnitud	Valor
Ningun control	0
Control temperatura on/off	1
Controles de temperatura PID	2
Controles de temp PID, alarma de sobrepresion, alarma de amperaje motor	3
Controles de temp PID, alarma de sobreP, alarma de A motor, Alarma temp fun	4

9.4.3 Tabla de evaluación. De acuerdo a los criterios presentados en el árbol de objetivos se evaluarán las tres alternativas de solución, seleccionando la que tenga una mayor valoración, es importante tener en cuenta para esta evaluación el PDS, el cual lista las necesidades del sistema.

Tabla 24. Tabla de valoración de las alternativas de solución.

CRITERIO	PESO	SOLUCIÓN 1			SOLUCIÓN 2			SOLUCIÓN 3		
		Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor	Peso
Verificación de parametros	0,036	Indicador Temp zonas, P salida, A motor, P de llenado, RPM, Temp de fundido	4	0,144	Indicador Temp zonas, P salida, Amperaje motor	2	0,072	indicador Temp zonas, P salida, A motor, P de llenado, RPM, Temp de fundido	4	0,144
Consumo energético	0,075	Alto	1	0,075	muy bajo	4	0,3	Medio	2	0,15
Inversión	0,1	60millones a 70 millones	2	0,2	75 millones a 100 millones	0	0	45 millones a 60 millones	3	0,3
Capacidad de evacuación de humedad	0,16	Media	2	0,32	Alta	3	0,48	Muy Baja	0	0
Facil mantenimiento	0,1	Medios	2	0,2	Muy altos	0	0	Medios	2	0,2
Homogenización	0,12	Alta	3	0,36	Muy Alta	4	0,48	Medio	2	0,24
Piezas criticas	0,15	2 piezas	2	0,3	3 piezas	1	0,15	2 piezas	2	0,3
Control de parametros	0,084	Controles de temp PID, alarma de sobreP, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,336	Controles de temp PID, alarma de sobrepresion, alarma de amperaje motor	3	0,252	Controles de temp PID, alarma de sobreP, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,336
Calificación de mano de obra	0,0225	Tecnologo	3	0,068	Tecnologo extrusion o con experiencia	2	0,045	Tecnologo	3	0,068
Cantidad de operarios	0,0225	1 Operarios	4	0,09	2 Operarios	3	0,068	2 Operarios	3	0,068
Porcentaje de rechazo	0,03	11% a 18%	2	0,06	11% a 18%	2	0,06	11% a 18%	2	0,06
Alarmas de falla y suiches de protección	0,05	Controles de temp PID, alarma de sobreP, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,2	Controles de temp PID, alarma de sobrepresion, alarma de amperaje motor	3	0,15	Controles de temp PID, alarma de sobreP, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,2
Riesgos ergonomicos	0,05	Poco esfuerzo, poca frecuencia	3	0,15	Esfuerzo medio, alta frecuencia	1	0,05	Esfuerzo medio, alta frecuencia	1	0,05
TOTAL	1			2,503			2,107			2,115

La solución seleccionada que mejor cumple con los requisitos y deseos del diseño es la solución 1 la cual en la tabla de valoración tuvo una calificación de 2,503 mientras que las otras dos tuvieron 2,107 y 2,115.

9.5 DEFINICION DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

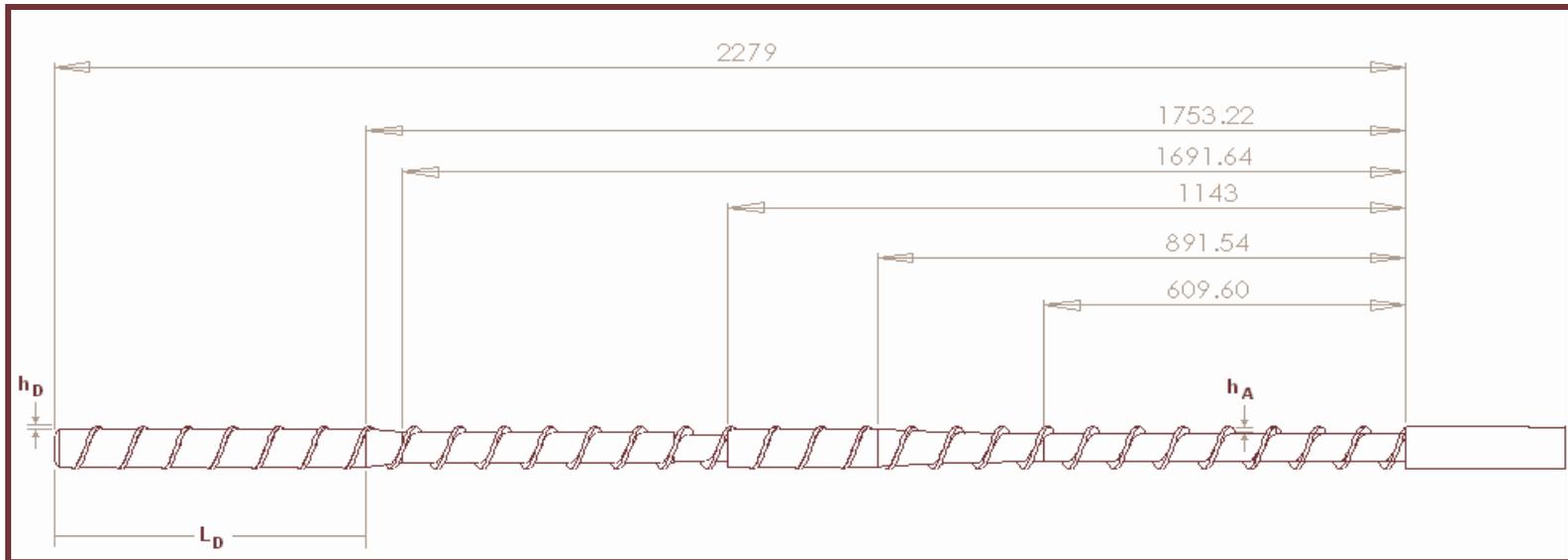
En general la alternativa seleccionada, cuenta con un muy buen control de parámetros lo que facilita reconocer problemas con facilidad y la capacidad de reproducir condiciones de procesos sin depender de las condiciones externas. La extrusora con venteo son de fácil manejo y su mantenimiento no se hace mas complicado que las de una sola etapa convencional.

Para recuperado, se recomienda presecar o retirarle la humedad al polímero por medio de este medio. Con el polipropileno, los problemas de absorción de humedad son pocos, pero al utilizar materia prima totalmente post consumo es importante retirar la humedad que adquieren en los procesos de lavado y aglutinado.

El sistema de presión para llenar los moldes disminuye la posibilidad de obtener piezas mal llenadas y aumenta sus capacidades de resistir mayores cargas, con acabados más parejos.

9.5.1 Cálculos de flujo con tornillo aproximado.

Ilustración 27. Dimensiones del tornillo



$$L/D = 30$$

$$D = 76.2 \text{ mm}$$

$$L_D = 525.78 \text{ mm}$$

$$h_D = 3.2 \text{ mm}$$

$$h_A = 13.3 \text{ mm}$$

$$\text{Radio de compresión primera etapa} = 3.7$$

Radio compresión segunda etapa= 3.1

Para los cálculos se utiliza un programa desarrollado en labview el cual calcula los flujos de arrastre y contrapresión.

Modelo para la zona de bombeo.

Ilustración 28. definición de parametros de los tornillos.

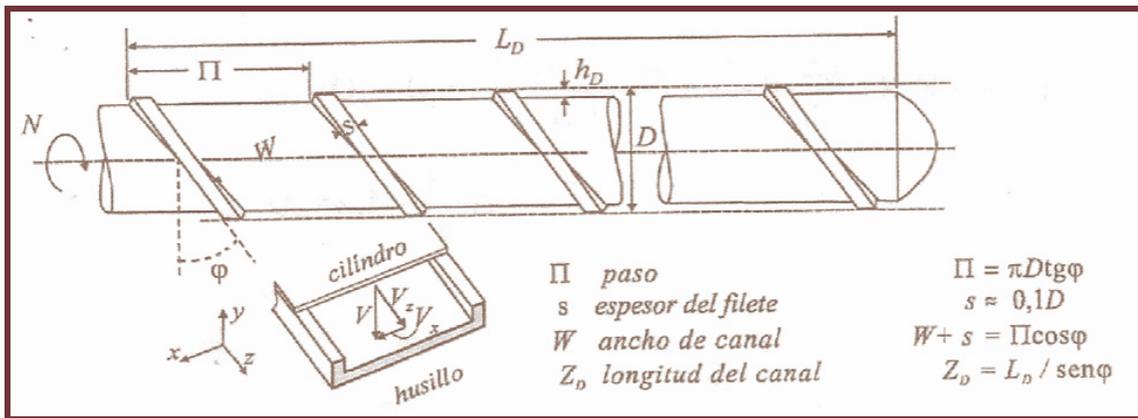
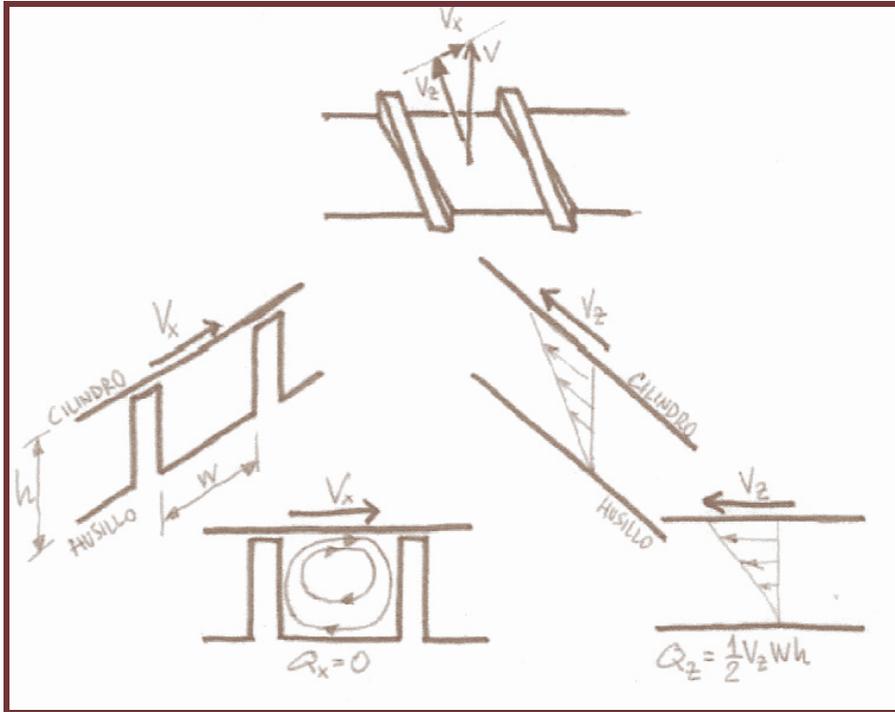


Ilustración 29. Flujo en el tornillo.



Donde el flujo de arrastre es:

$$V_z = V \cos \varphi$$

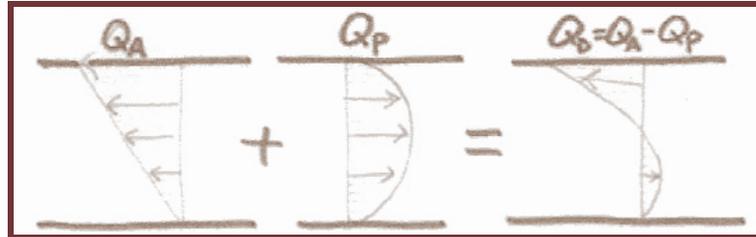
$$Q_A = \frac{V_z W h_D}{2} = \frac{\pi D N W h_D \cos \varphi}{120}$$

El flujo de contrapresión:

$$Q_P = \frac{W h_D^3}{12 \eta} * \frac{\Delta P}{Z d}$$

El flujo resultante:

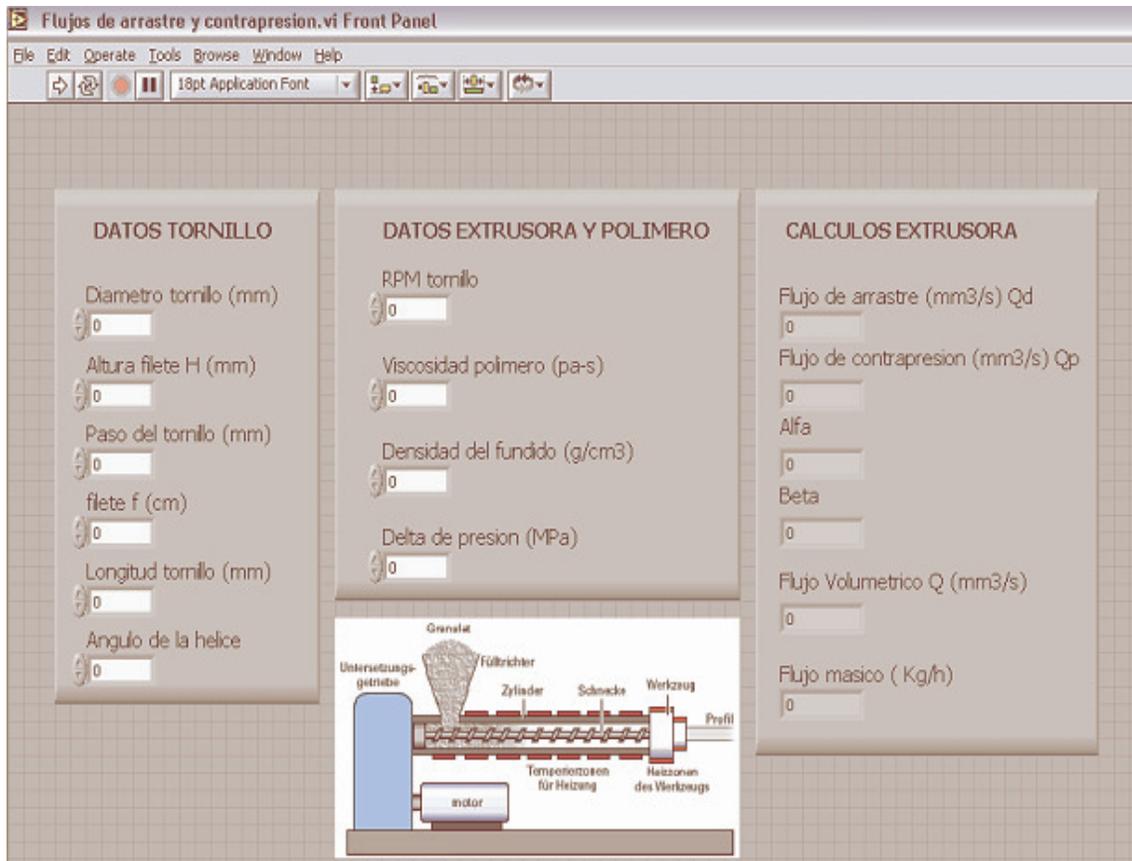
Ilustración 30. Caudal.



$$Q_D = Q_A - Q_P = \frac{\pi DNWh_D \cos \varphi}{120} - \frac{Wh_D^3}{12\eta} * \frac{\Delta P}{Zd}$$

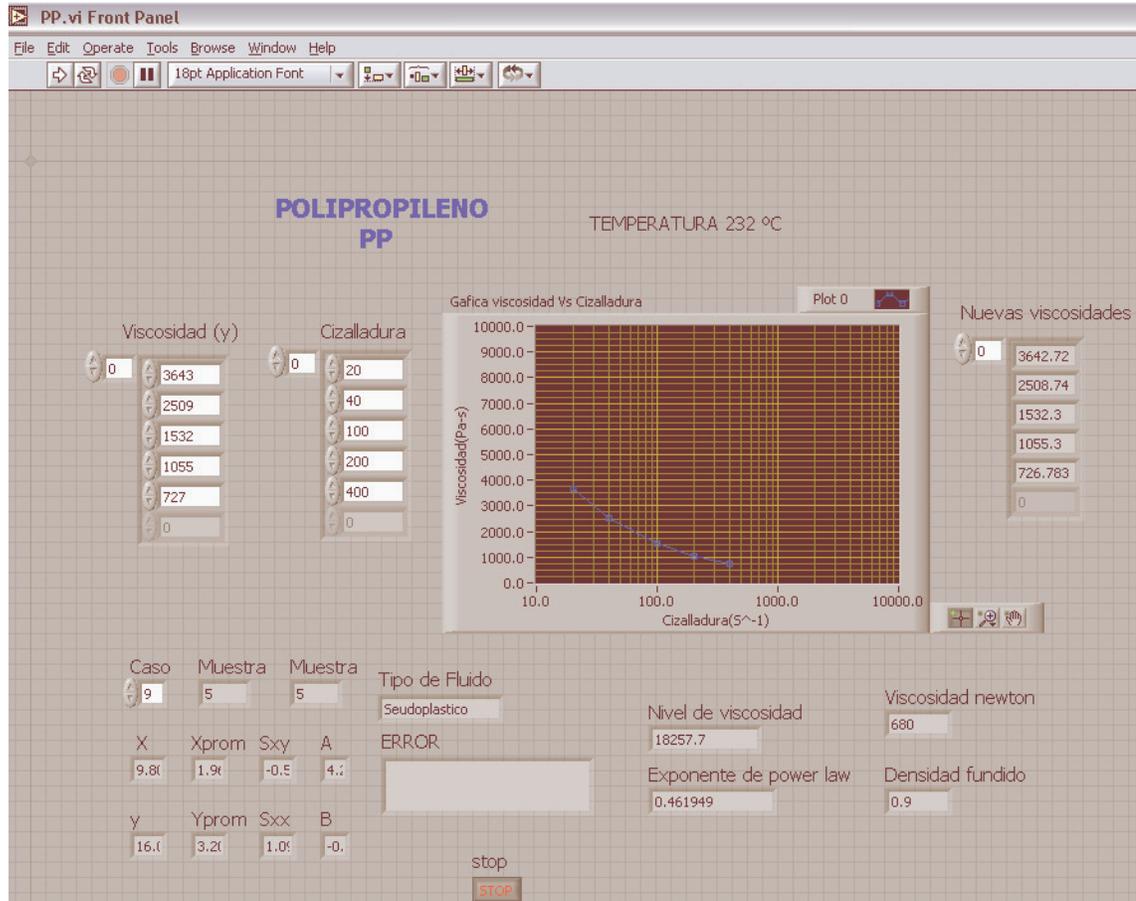
Estos modelos se introducen al programa y cual tiene la siguiente interfase con el usuario.

Ilustración 31. Modelo para calculo del flujo de la extrusora



Inicialmente para hallar la viscosidad del polímero se utiliza este otro programa con el modelo de power-law.

Ilustración 32. Propiedades del fundido.



Estos datos de cizalladura y viscosidad se obtuvieron en el libro *DYNISCO HANDBOOK* Pág. 210.

El ingreso de datos al programa.

Se ingresan los datos necesarios para realizar los cálculos de flujo masico de la extrusora los cuales son:

Datos Geométricos tornillo.

- Diámetro del tornillo.
- Profundidad del canal zona de bombeo.

- Paso del tornillo.
- Angulo de la hélice.
- Longitud del tornillo zona de bombeo.
- Espesor del filete f.

Datos de operación y polímero.

- Revoluciones por minuto del tornillo.
- Viscosidad del polímero.
- Densidad del fundido.
- Delta de presión. (inicio zona de bombeo y final)

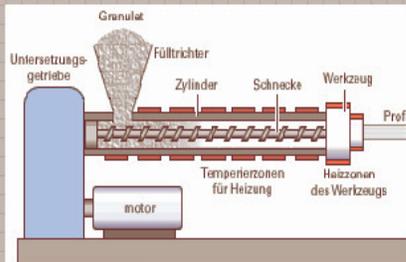
Ilustración 33. Cálculos de flujo.

Flujos de arrastre y contrapresión.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

18pt Application Font

DATOS TORNILLO	DATOS EXTRUSORA Y POLIMERO	CALCULOS EXTRUSORA
Diametro tornillo (mm) 76.2	RPM tornillo 100	Flujo de arrastre (mm ³ /s) Qd 0
Altura filete H (mm) 3.2	Viscosidad polimero (pa-s) 18257.7	Flujo de contrapresion (mm ³ /s) Qp 0
Paso del tornillo (mm) 76.2	Densidad del fundido (g/cm ³) 0.9	Alfa 0
filete f (mm) 7.62	Delta de presion (MPa) 20	Beta 0
Longitud tornillo (mm) 525		Flujo Volumetrico Q (mm ³ /s) 0
Angulo de la helice 17.7		Flujo masico (Kg/h) 0



Luego se corre el programa y arroja el siguiente resultado.

Ilustración 34. Calculo de la extrusora.

Flujos de arrastre y contrapresion.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

18pt Application Font

DATOS TORNILLO	DATOS EXTRUSORA Y POLIMERO	CALCULOS EXTRUSORA
Diametro tornillo (mm) 76.2	RPM tornillo 100	Flujo de arrastre (mm ³ /s) Qd 39732.7
Altura filete H (mm) 3.2	Viscosidad polimero (pa-s) 18257.7	Flujo de contrapresion (mm ³ /s) Qp 113.175
Paso del tornillo (mm) 76.2	Densidad del fundido (g/cm ³) 0.9	Alfa 23839.6
filete f (cm) 7.62	Delta de presion (MPa) 20	Beta 54.2407
Longitud tornillo (mm) 525		Flujo Volumetrico Q (mm ³ /s) 39619.5
Angulo de la helice 17.7		Flujo masico (Kg/h) 128.367

The diagram illustrates the extrusion process. It shows a hopper (Fülltrichter) containing granules (Granulat) feeding into a cylinder (Zylinder) with a screw (Schnecke). The screw is driven by a motor (motor) through a gearbox (Untersetzungsgetriebe). The extruder is equipped with heating zones (Heizzonen für Heizung) and tool heating zones (Heizzonen des Werkzeugs). The final product is a profile (Prefil).

Ilustración 35. Resultados obtenidos para la extrusora.

The image shows a software interface with a light blue background and a white border. The title 'CALCULOS EXTRUSORA' is centered at the top in bold black text. Below the title, there are several input fields with corresponding labels. The labels are: 'Flujo de arrastre (mm³/s) Qd', 'Flujo de contrapresion (mm³/s) Qp', 'Alfa', 'Beta', 'Flujo Volumetrico Q (mm³/s)', and 'Flujo masico (Kg/h)'. The values entered in the fields are: 39732.7, 113.175, 23839.6, 54.2407, 39619.5, and 128.367. The 'Flujo masico (Kg/h)' field is highlighted with a red rectangular border.

Variable	Valor
Flujo de arrastre (mm ³ /s) Qd	39732.7
Flujo de contrapresion (mm ³ /s) Qp	113.175
Alfa	23839.6
Beta	54.2407
Flujo Volumetrico Q (mm ³ /s)	39619.5
Flujo masico (Kg/h)	128.367

9.5.2 Análisis de resultados calculo de flujo.

Con el tornillo aproximado que tenemos a 100 RPM, podemos obtener aproximadamente un flujo a la salida de 128.36 Kg/h de polipropileno fundido. Si variamos la velocidad se pueden obtener mayores flujos, pero se debe garantizar que el material no se degrade y no se generen presiones por encima de lo aceptado por la maquina.

Esto es una simple aproximación ya que el tornillo finalmente utilizado, se diseñara en el instituto del plástico y caucho donde se obtendrá el diseño final, curvas de operación y limites de operación.

9.5.3 Dimensiones de la tolva.

En los requerimientos tenemos que es necesaria una tolva para contener material necesario para una (1) hora de operación.

Capacidad de la tolva 1 hora de operación = 130 Kg.

El material en la tolva se encuentra aglutinado con una densidad aparente de 0.45 gr/cm³.

$$V_{Tolva} = \frac{m}{D_{Aparente}} = \frac{130kg}{4.5E-4 \frac{Kg}{cm^3}} = 288888.88cm^3 = 288litros.$$

Es necesaria una tolva de 300 litros para contener 130kg de PP aglutinado.

9.5.4 Dimensiones depósito.

En los requerimiento se tiene que el volumen máximo de las piezas es de 40000cm³, con lo cual es necesario un deposito con estas dimensiones.

El cual esta diseñado con un diámetro de 400 mm y una altura de 325 mm.

$$V_{Depfundido} = \pi R^2 h = 40840cm^3$$

9.5.5 Dimensiones depósito pulmón.

El depósito pulmón se utiliza para almacenar el material mientras se realiza el llenado del molde y preparación del depósito principal, en la cual se espera no tarde más de 5 minutos, para poder habilitarlo nuevamente.

La extrusora tiene una capacidad aproximada de 130 kg/h a partir de este se calcula el volumen de material que se genera en 5 minutos y se obtiene el volumen del depósito.

$$FlujoMasico = 130 \frac{kg}{h} * \frac{1000gr}{1kg} * \frac{1h}{60min} = 2166.66 \frac{gr}{min}$$

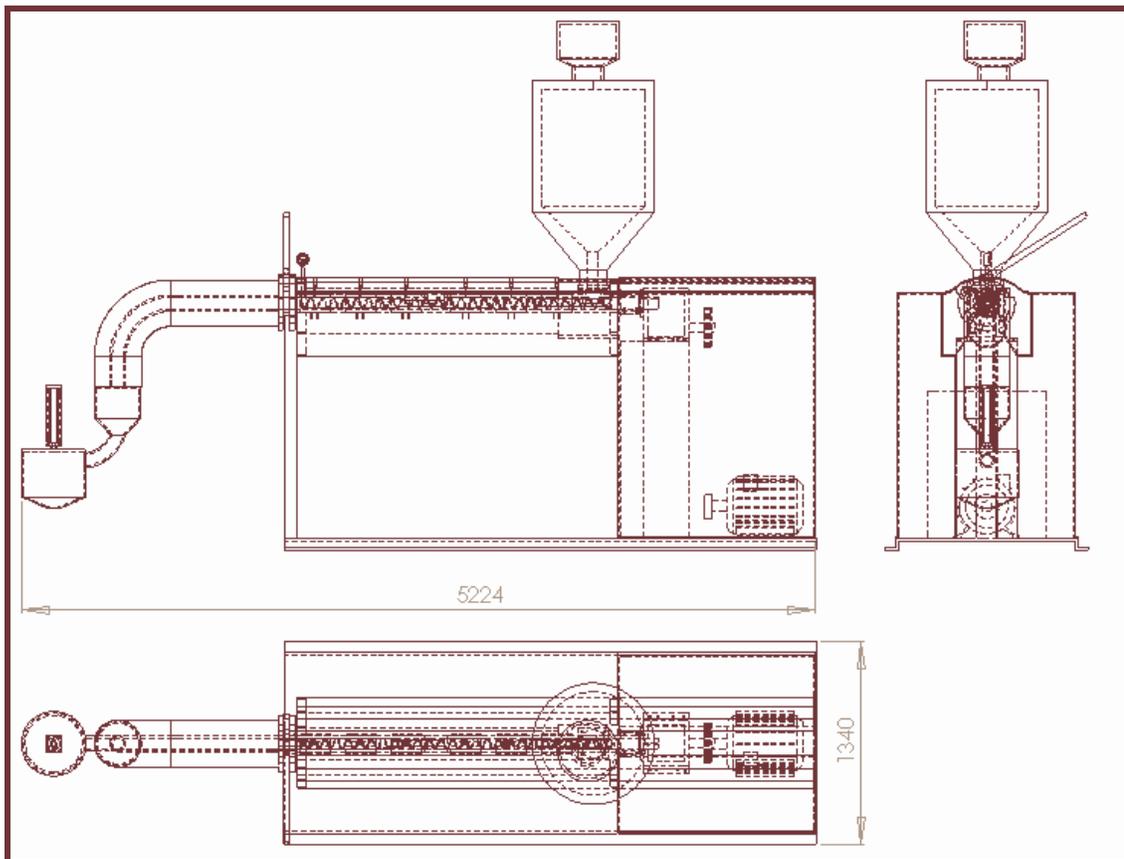
$$Masa_{5min} = flujo * tiempo = 2166.66 \frac{gr}{min} * 5min = 10833.3gr$$

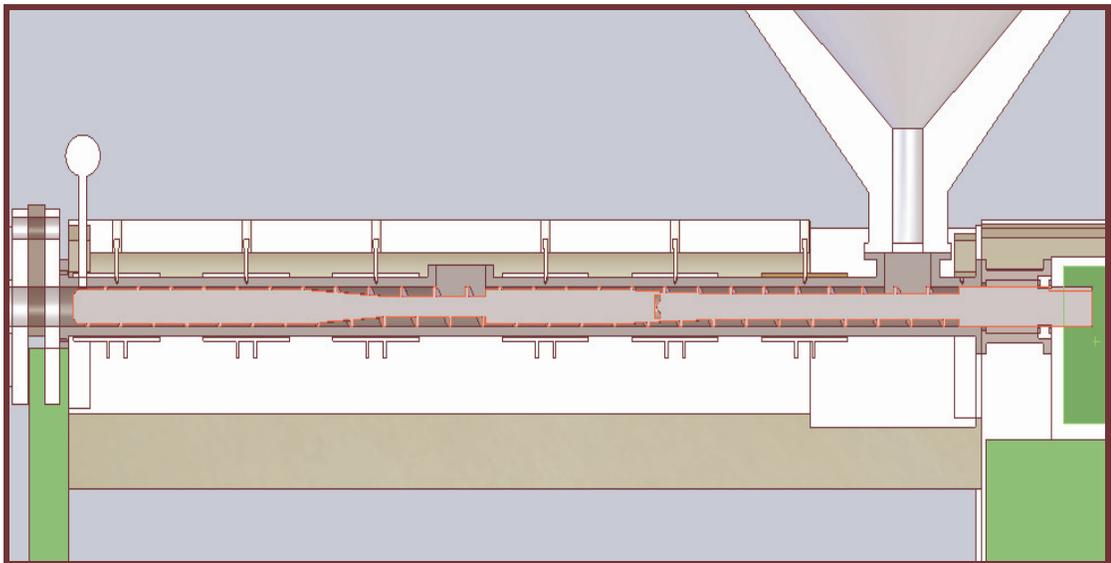
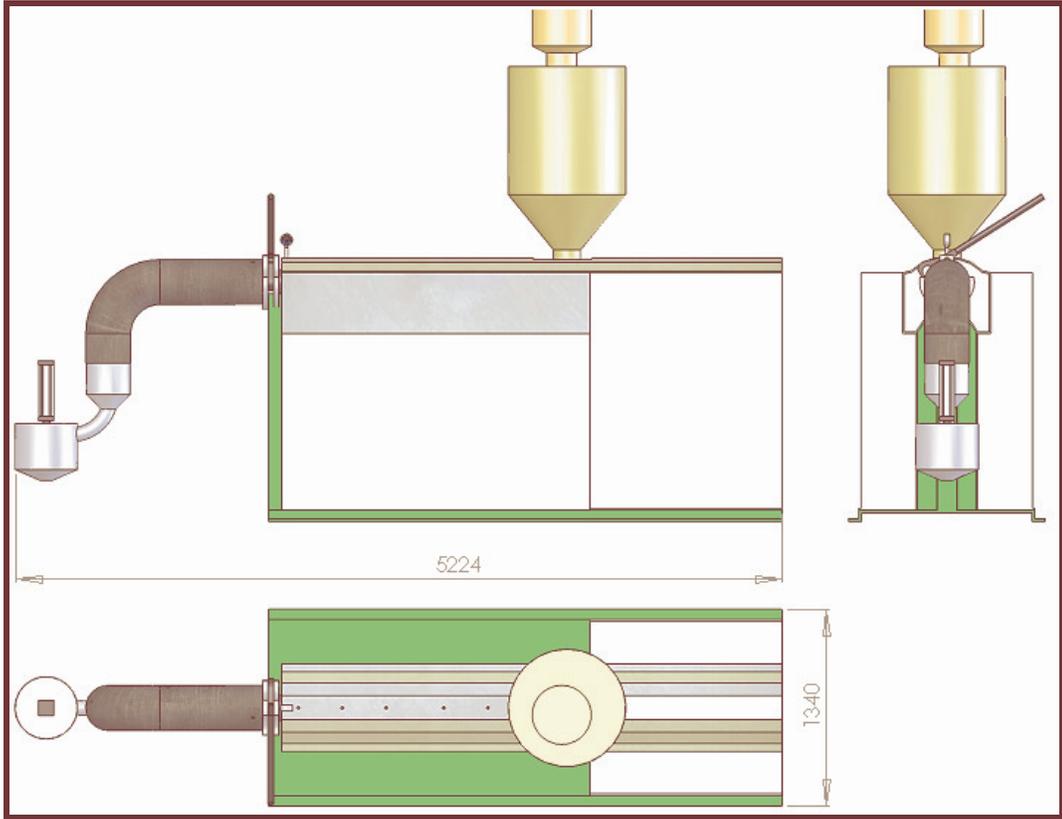
$$V_{DepPulmon} = \frac{m}{D_{Fundido}} = \frac{10833.3gr}{0.9 \frac{gr}{cm^3}} = 12037cm^3$$

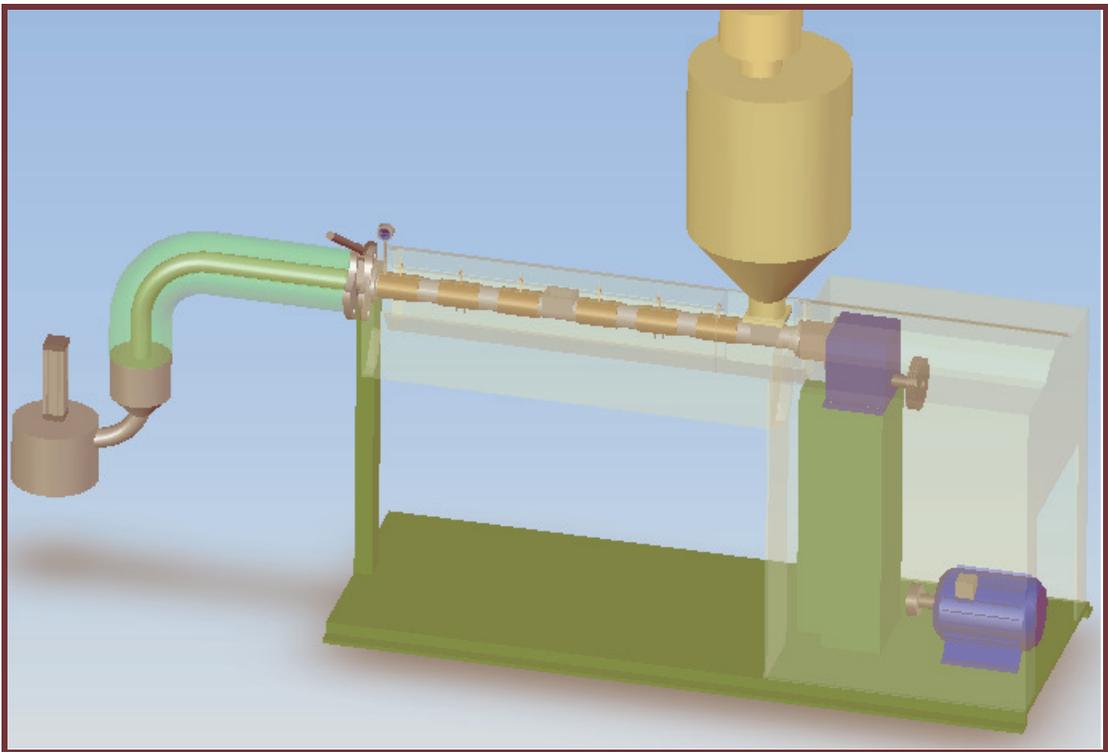
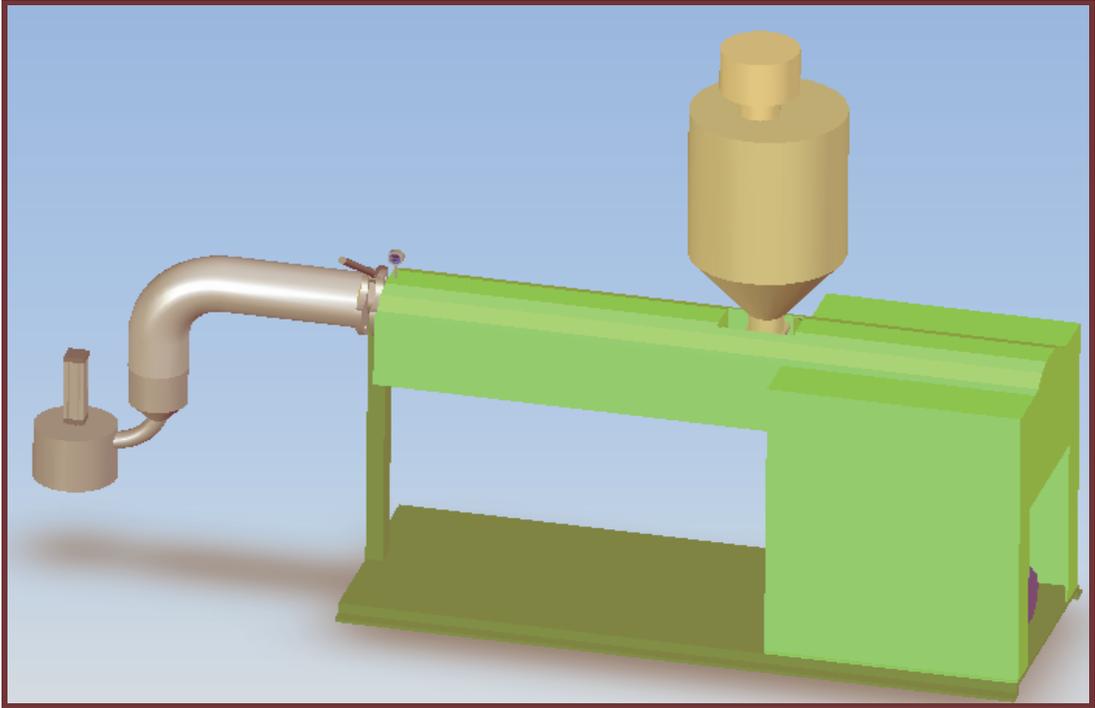
De esta manera es necesario que el depósito pulmón, tenga un volumen al menos de 12 litros para mantener el material fundido mientras se encuentra el depósito principal restringido durante el llenado del molde.

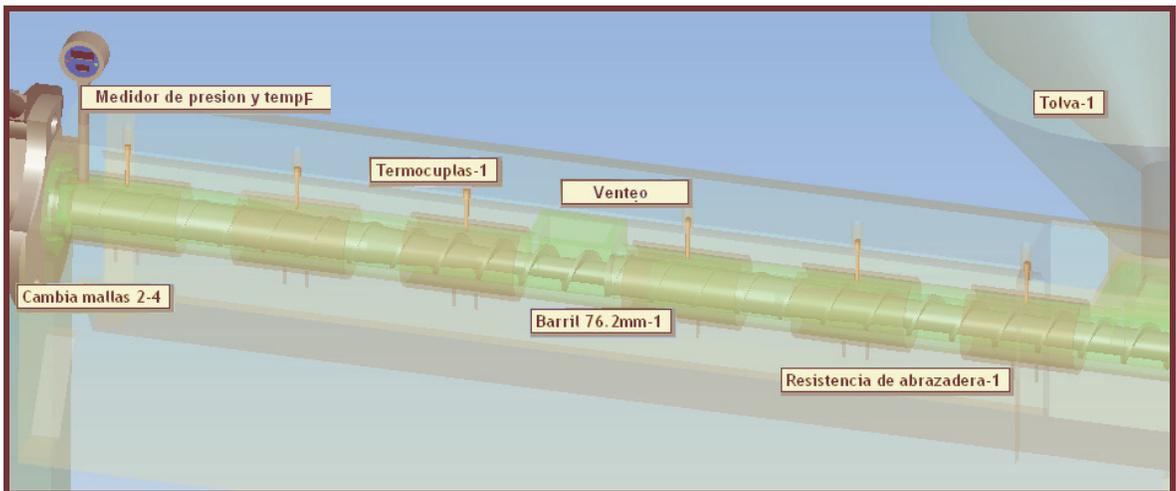
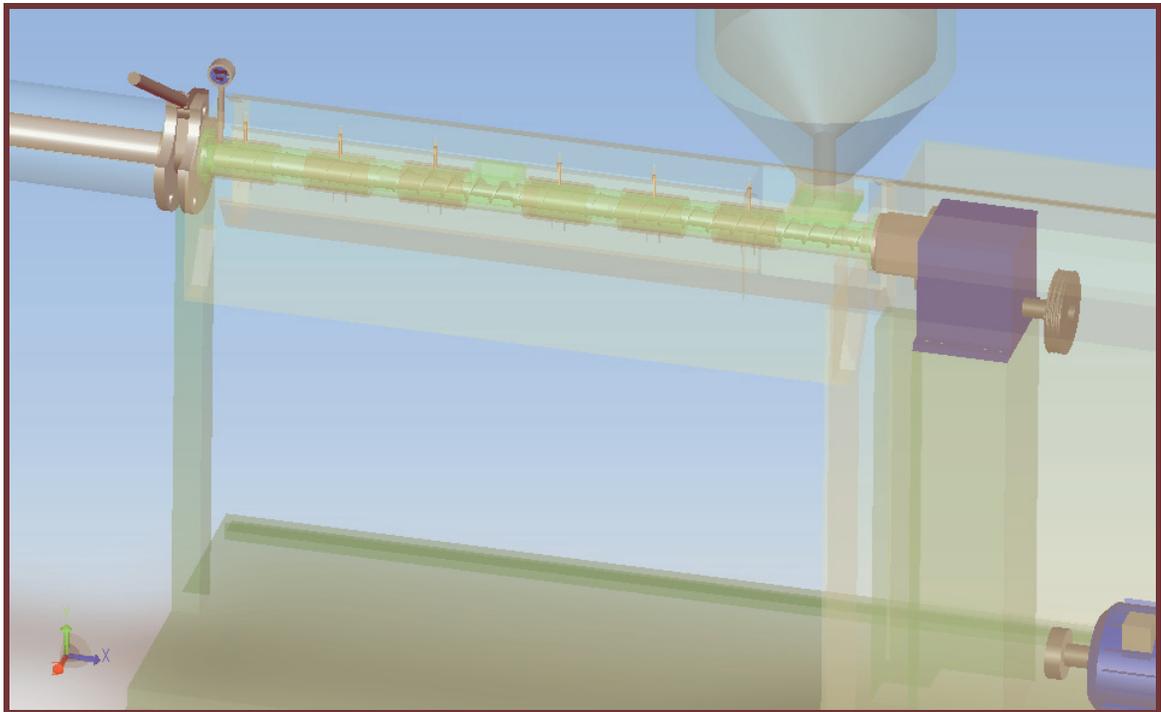
9.5.6 Esquemas de la solución.

Ilustración 36 Esquema general del sistema









Como se dijo en la sección 6 el enfoque de la parte de conformación se basara en las tapas de alcantarillado con las cuales se diseña las características del molde presentado a continuación.

Ilustración 37. Esquema del molde para tapas de alcantarillado.

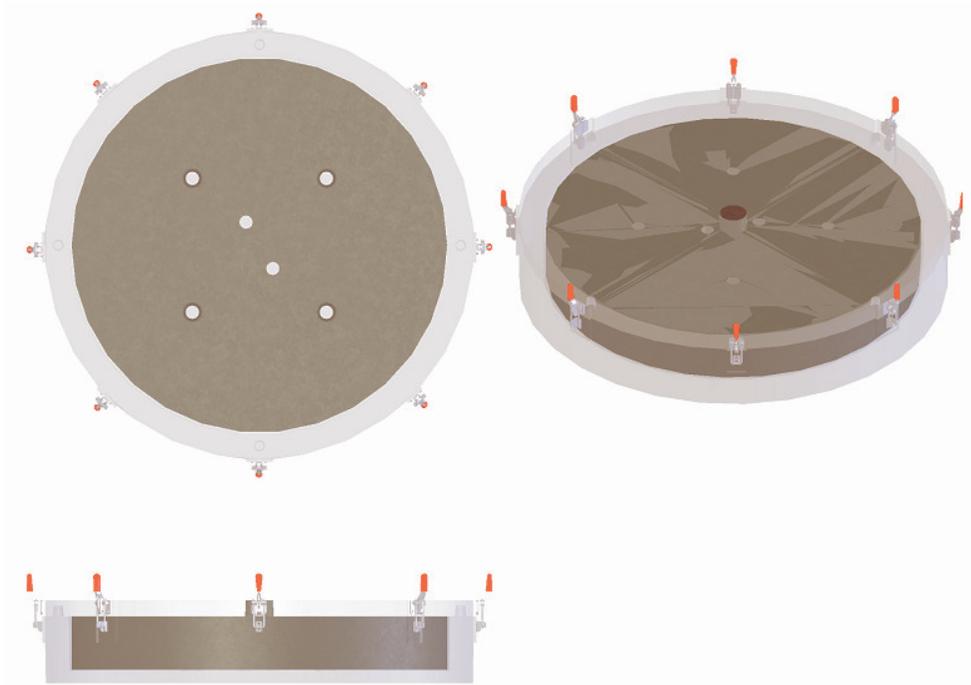


Ilustración 38. Algunas medidas generales del molde.

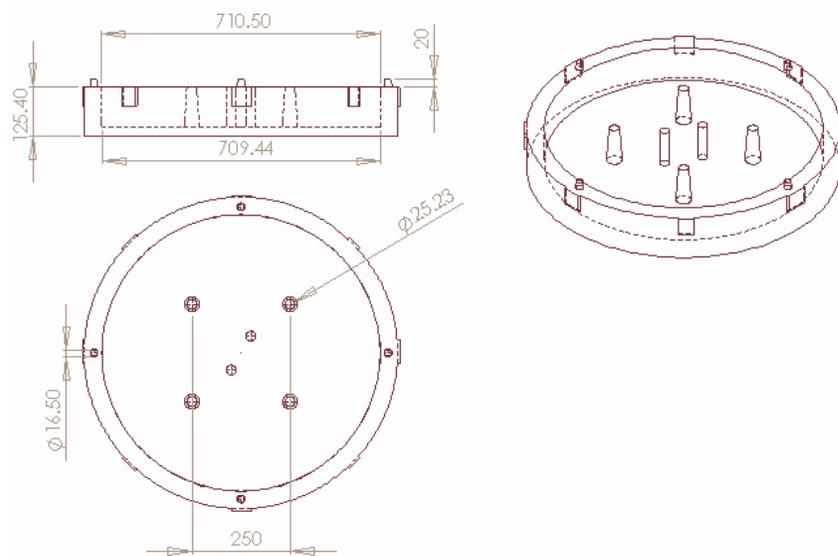
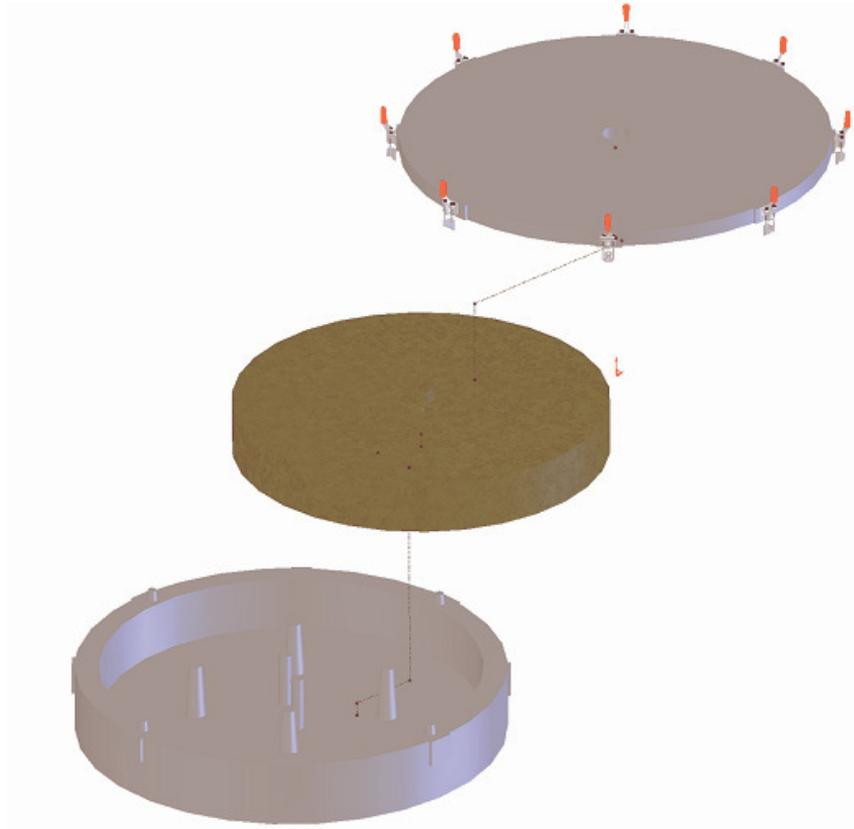


Ilustración 39. Despiece del molde y pieza conformada.



El molde cuenta con sistemas de sujeción de accionamiento rápido que facilitan el desmolde y un garantizan un rápido armado.

10. CONCLUSIONES

- En el reciclaje de plásticos hay una gran problemática con los materiales que se consiguen en el medio, dificultando el diseño de las componentes del sistemas, sin embargo el proyecto logro analizar algunas muestras de materiales que se usan actualmente en las empresas antioqueñas pudiendo establecer algunos parámetros para la materia prima.
- Se logro una claridad en la metodolia de diseño que se utilizo, lo que mantuvo el horizonte del diseño y a la vez hizo mas eficiente este proceso.
- A través de este proyecto, identificamos la importancia de cada elemento para obtener mejores resultados con mayor eficiencia energética y de producción. En el momento la gran mayoría de empresas pequeñas le apuestan mas a maquinas multipropósito en donde se pueden trabajar gran cantidad de polímeros en diferentes formas, pero en donde se castiga fuertemente la eficiencia del proceso. Tarde que temprano estas empresas tendrán que cambiar su visión y enfocarse a especializar sus procesos para obtener mayores producciones, de mejor calidad, a mas bajo costo
- Actualmente en el mundo de los plásticos hay tecnologías bastante avanzadas en el reciclaje, sin embargo en Colombia los procesos son bastante rudimentarios, disminuyendo la eficiencia de los mismos.
- El proyecto hace énfasis en el sistema de plastificación del procesamiento de materiales plásticos, siendo este el proceso mas delicado y en el que la materia prima puede degradarse mas fácilmente, además posee muchas variables a controlar.

- Los materiales poliméricos y sus procesos se encuentra en una etapa muy dinámica de desarrollo. Recuperar los materiales post-consumo se han captado gran parte de la atención de estos nuevos desarrollos, en donde cuidar el medio ambiente es uno de los principales enfoques del momento en la humanidad y la legislación cada vez es mas estricta con los productores, sobre la manera de recuperar y darle de nuevo uso a sus productos luego de ser desechados por el consumidor final.
- El reciclaje de los materiales plásticos, se ha realizado durante décadas pero su desarrollo a nivel mundial es relativamente nuevo. La información técnica del proceso es muy reservada, pero el principio realmente es el mismo de los procesos convencionales sobre los plásticos, con algunas modificaciones que mejoran el proceso.
- Se logra dar claridad a la forma en que los sistemas de las máquinas interactúan entre sí con el fin de mejorar el desempeño de la maquinaria que se desea diseñar.
- El proceso de reciclaje en Colombia es realizado de forma muy empírica, las empresas que actualmente aplican estos procesos se basan en la experiencia, en el ensayo y error, generando una ventaja para quienes deseen ingresar en este campo con soluciones técnicas.
- La fabricación de una máquina de este tipo no es muy costosa para el beneficio que le puede traer a una empresa, se considera que es bastante rentable mientras se tengan claros los objetivos de la compañía, se conozca el mercado y se aplique ingeniería a los procesos.
- La labor del ingeniero no se basa únicamente en el diseño, la especialización en las diferentes técnicas (Hidráulica, neumática, metalmecánica, entre otras) e industrias, hace muchas veces que sea

mas rentable y que se logren mejor los objetivos, cuando el ingeniero es capaz de dar solución a sus problemas y de satisfacer las necesidades de su proceso mediante la identificación de los componentes y la selección de las herramientas y productos que los especialistas le brindan.

- Se considera que el sistema seleccionado es el idóneo para este tipo de proceso ya que resuelve muchas de las limitaciones que se presentaron al comienzo de este proyecto.

11. BIBLIOGRAFIA

-SÁNCHEZ V, SAÚL. Moldeo por inyección de termoplásticos, 1 ED. México DF. 2003.

-RAUWENDAAL, Chris. Polymer Extrusion. Segunda Edición. Alemania, Carl Hanser Verlag, 1990.

-CHUNG, Chan I. Extrusion of Polymers. Theory and Practice. Alemania, Carl Hanser Verlag, 2000.

ASQUELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales, tercera edición, México, editorial Thomson, 2000, ISBN 968-7529-36-9.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Sector plásticos, guías ambientales. Bogota, Colombia Julio de 2004. ISBN 958-97393-4-2.

MORTON. JONES. Procesamiento de plásticos. Primera edición. Editorial limusa, 1999 México, ISBN 968-18-4434-3

KALPAKJIAN. SMITH. Manufactura ingeniería y tecnología. Cuarta edición, Editorial Pearson education, México, 2002

GOFF, John y WHELAN Tony. The Dynisco Extrusion Processes Handbook, Segunda edición. The Dynisco Companies.

WORTBERG, JOHANNES. Screw and barrel design for grooved feed vs smooth bore extruders, institute of product engineering – Engineering Design and Plastics Machinery. University of Duisburg. Duisburg, Germany.

RODRIGUEZ, Alberto. Artefactos Diseño Conceptual. Primera edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2003 Medellín. ISBN 958-8173-31-0.

CROSS. Metodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos. Ed. Limusa Wiley, 1999.

MAIER, Clive y CALAFUT, Teresa. Polypropilene The Definitive user's Guide and Databook. Editorial Plastics Design Library, 1998. New York. ISBN 1-884207-58-8.

CIBERGRAFIA

(Soyentrepreneur@1998)

Soyentrepreneur, *actualidad del plástico*. **Liliana Ramírez** Disponible en:
<http://www.soyentrepreneur.com/pagina.hts?N=9329>

(ECCI@2006)

Escuela colombiana de carreras industriales, Procesamiento de plásticos en Colombia. Disponible en:
http://www.ecci.edu.co/programas/ip_inv.php

(PLASTIVIDA@2006)

Características del polipropileno.

Disponible en:

<http://www.plastivida.com.ar/5.htm>

(EREMA@2006)

Tecnología en reciclaje de plasticos.

Disponible en:

<http://www.ereama.at/es/64/>.

.(XALOY@2006)

Geometría básica de los tornillos.

Disponible en:

(<http://www.xaloy.com/TORNILLOS.pdf>)

(NGR@2006)

Tecnología en reciclaje de plásticos.

Disponible en:

<http://www.ngr.at/machines/machines.html>

(RINCON@2006)

Moldeado de piezas por extrusión.

Disponible en:

http://html.rincondelvago.com/procesos-de-fabricacion_moldeado-de-plastico.html

(BOGOTA/HISTORIAS@2006)

Judicializaran a quienes vendan o compren tapas.

Disponible en:

<http://www.bogota.gov.co/histo.php?idh=14026&patron=1>

(WIKIPEDIA@2006)

Wikipedia la enciclopedia libre.

Disponible en:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Archimedes.png/
300px-Archimedes.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Archimedes.png/300px-Archimedes.png)