

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA**

**"PROCESO DE RECICLAJE DEL PLASTICO"**

**PROYECTO DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO MECANICO**

**Presentado por:**

**Hernán Patricio Barba Hidalgo**

**Guayaquil - Ecuador**

**1990**

## DEDICATORIA

A mis padres, que me han guiado y  
brindado su apoyo durante una larga y  
dura jornada, en la cual, su felicidad  
ha sido y será siempre mi único  
horizonte.

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. MARCO PAZMIÑO, Director de Tópico de Graduación por el apoyo brindado en el desarrollo de este Proyecto.

También quiero expresar mi gratitud a profesionales y amigos que me dieron su ayuda y colaboración sin la cual este Tópico no hubiese llegado a su culminación.

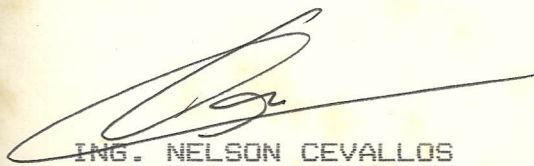
DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este PROYECTO DE GRADO, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tópico de Graduación)

---

HERNAN PATRICIO BARBA HIDALGO



ING. NELSON CEVALLOS

DECANO

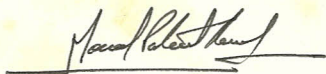
FAC. ING. MECANICA



ING. MARCO PAZMIRO

DIRECTOR

PROYECTO DE GRADO



ING. MARIO PATIÑO

MIEMBRO TRIBUNAL



ING. FRANCISCO ANDRADE

MIEMBRO TRIBUNAL

## RESUMEN

El problema de la contaminación del medio ambiente, generado por la desmesurada producción de desechos en las zonas habitadas por el hombre, es un problema polémico que crece con mayor rapidez que la puesta en marcha de soluciones al mismo. Si bien es cierto, que de los estudios realizados con respecto al problema, se han planteado soluciones que han mermado parcialmente el problema y otras que derivan en el mismo, especial mención merece la solución del problema, mediante el proceso de reciclaje de la materia no biodegradable existente en los desechos generados por el hombre.

Según datos actualizados, en base a pruebas por muestreo de desechos, realizadas en las zonas más pobladas de nuestra ciudad se obtuvieron porcentajes de 8% a 10% de materiales plásticos existentes por muestra de desechos, y siendo el plástico un material que presenta extraordinarias características y propiedades mecánicas aceptables para el reciclaje, fue seleccionado como el material de reciclaje para estudio en éste tópico.

Por su elemental necesidad de análisis debido al gran número de beneficios generados por el proceso de reciclaje, el tema en mi tópico de grado es el análisis

del proceso de reciclaje de plásticos. De la amplia familia de los termoplásticos, seleccionamos al Polietileno de Baja Densidad, por encontrarse en porcentajes del 30 al 40% en la demanda total de termoplásticos en la provincia del Guayas. El proyecto en sí, enfoca dos puntos muy importantes, que son, la evaluación económica y el análisis técnico del mismo. Aunque el diseño de la máquina extrusora de reciclaje no es el tema de éste tópico, las partes esenciales para el diseño de ésta máquina, son analizadas y calculadas como aporte complementario al proyecto. De los resultados obtenidos se puede especificar, potencia de accionamiento, parámetros y tolerancias físicas de diseño, tanto como para el husillo como para el cilindro, de una máquina extrusora con una capacidad de 96 kilogramos por hora. También presenta este texto, información técnica y gráfica de las diferentes máquinas extrusoras que se encuentran en la industria.

La comprobación de la viabilidad del proceso, es el objetivo a lograrse, mediante un análisis económico del proceso en tres casos típicos sobre proyectos de reciclaje por extrusión de termoplásticos. La información recopilada para éste tópico es actualizada y brinda datos de producción de polietileno de baja densidad, con muy poco acceso a nivel industrial, lo que convierte al mismo en un texto de consulta muy útil, cuya

realización ha sido complementada con la ayuda y experiencia de ingenieros mecánicos amigos, que brindan sus servicios a plantas dedicadas a la producción del plástico y su reciclaje.

## INDICE GENERAL

PAGS.

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ABREVIATURAS

INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### JUSTIFICACION DEL PROYECTO

1.1 Importancia del Proceso de Reciclaje de Plásticos para la Industria.

1.1.1 ¿Qué son los Plásticos?

1.2 Proceso de Recuperación del plástico y sus perspectivas.

1.2.1 Reelaboración de los Plásticos de Recuperación.

1.2.2 Procesos de Separación y sus Problemas

1.2.3 Manufactura de las Mezclas.

1.2.4 Aplicación en Procesos Térmicos

1.3 Justificación Económica del Proceso.

## CAPITULO II

### ANALISIS PRELIMINAR DEL PROCESO DE RECICLAJE

#### 2.1 Generalidades

2.1.1 Máquinas de Extrusión de un Husillo

2.1.2 Máquinas de Extrusión de dos y más  
Husillos.

2.2 Análisis del Proceso de Extrusión en el  
Reciclaje.

2.3 Cálculos de Diseño.

2.3.1 El Husillo.

2.3.2 El Cilindro.

2.4 Alcance y Perspectivas del Reciclaje a nivel  
Industrial.

## CAPITULO III

### PROCESO DE RECICLAJE DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

3.1 Reciclaje de Polietileno de baja densidad  
en Guayaquil.

3.2 Parámetros Considerables en el Proceso.

3.3 Análisis Técnico del Proceso.

## CAPITULO IV

### ANALISIS ECONOMICO

4.1 Estimación de Costos de Producción.

4.2 Rentabilidad del Proyecto

4.2.1 Análisis del punto de equilibrio.

4.2.2 Utilidades

4.3 Ventajas y Desventajas del método de  
análisis.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

APENDICES:

- A. Fotografías
- B. Bibliografía

## INDICE DE FIGURAS

No.		Págs.
1.	Distribución de fuerzas con la adición de calor.	
2.	Tenacidad y viscosidad vs peso molecular.	
3.	Distribución de fuerzas en los duroplásticos.	
4.	Curva de gastos vs demanda.	
5.	Esquema de materiales para planta de recuperación.	
6.	Calidad de material vs costo.	
7.	Calidad de material vs propiedades.	
8.	Extrusora de un husillo.	
9.	Extrusora de accionamiento hidráulico.	
10.	Extrusora con calentamiento por inducción.	

11. Tipos de husillos.
12. Extrusora de dos husillos.
13. Distribución de cuatro husillos de extrusión.
14. Esquema general de una extrusora.
- 15 y 16 Tipos de producto terminado.
17. Diagrama de parámetros físicos.
18. Monograma selector de potencia.

## INDICE DE TABLAS

No.		Págs.
1.	Densidad de principales polímeros para embalaje.	
2.	Poder calorífico de los materiales plásticos y combustibles de uso común.	
3.	Características de máquinas de extrusión de un husillo.	

## INDICE DE CUADROS

No.		Págs.
1.	Estructuración molecular del polietileno.	
2.	Propiedades físicas y mecánicas de los termoplásticos.	
3.	Resultados de diseño	
4.	Costos de producción (proceso # 1).	
5.	Costos de producción (proceso # 2)	
6.	Costos de producción (proceso # 3)	

## INDICE DE ABREVIATURAS

P.E.:	Polietileno; punto de equilibrio
LD:	Baja densidad
MD:	Alta densidad
PET:	Poliestireno
PVC:	Cloruro de Polivinilo
L:	Longitud total efectiva del husillo
D:	Diametro; demanda
Kg:	Kilogramo
Hr:	Hora
t:	Paso del husillo
e:	Anchura de la cresta del filete
L3:	Longitud de la zona de extrusión
h <sub>1</sub> :	Profundidad del canal helicoidal
S:	Huelgo radial
i:	Grado de compresión
$\varphi$ :	Angulo de espiras del filete
m:	Número de canales
P:	Fuerza axial; precio
Mg:	Momento de giro
Kw:	Kilowatios
f:	Flecha del husillo
Nt:	Newton
mt:	Metro
Ri:	Radio de inercia
J:	Momento de inercia de la sección transversal

u: Relación de diámetros  
cm: Centímetro  
Ton: Tonelada  
To: Temperatura de entrada  
Tm: Temperatura de masa fundida  
CT: Costo total  
U: Utilidad  
Pm: Punto de equilibrio medio  
p.v.u.: Precio de valor unitario  
g.v.u.: Gastos variables unitarios  
D.E.: Demanda de equilibrio  
I: Ingreso

## INTRODUCCION

El ser humano, de naturaleza progresiva, siempre en busca de mejores condiciones de vida a su alrededor, enfrenta muchos problemas creados por la optimización del confort en el medio ambiente que lo rodea. Uno de ellos, sin lugar a duda muy reconocido por su ingerencia a nivel mundial, es el problema de la descontrolada generación de desechos urbanos. La eliminación de los desperdicios, y la preocupación sobre lo que podría hacerse con los miles de toneladas de desechos urbanos que se refunden en los depósitos de basura de las ciudades es un problema presionante.

El mayor porcentaje del desperdicio típico municipal corresponde al encontrado en celulosa de periódicos, materiales de empaque, cartón, y otros similares. Los polímeros sintéticos de alto peso molecular se presentan en forma de películas, plásticos moldeados y hule, los mismos que forman una fracción pequeña pero persistente sobre el todo. Dentro del alcance total de la eliminación de desperdicios, el desechar los materiales plásticos, especialmente el material de empaque como películas y recipientes, ha tenido una prioridad relativamente baja debido a que no representan tanto riesgo para la salud, sino son más bien una clase de

contaminación estética que hace que nuestro medio ambiente no sea muy agradable a la vista.

Existe otro factor muy considerable, que es el de un excedente en magnitud de desechos urbanos sobre desechos minerales y agrícolas. Sin embargo, la eliminación de los desechos urbanos está concentrada en áreas altamente pobladas y representa un riesgo mucho mayor para la salud de una gran parte de la población, que la eliminación de los desperdicios agrícolas y minerales. De los métodos más conocidos en eliminación de desperdicios, el más recomendable es el relleno sanitario, que no genera en problemas como criadero de roedores y contaminación atmosférica por incineración. El relleno sanitario es un proceso en el que se coloca los desperdicios bajo una capa de tierra la misma que desanima a las ratas y evita el desarrollo de olores, mientras opera el proceso natural de degradación biológica, de manera que el área del relleno sanitario pueda volverse a usar, con el tiempo, para la agricultura u otros propósitos.

Materiales como el vidrio, el aluminio, y en menos grado el papel, han tenido una promoción que ha logrado en los consumidores alguna noción sobre la posibilidad de reutilizarlos. No ocurre lo mismo frente a los productos de plástico desechables por autonomía, y más si la población no está siquiera preparada para distinguir dos o tres de sus principales variedades. Programas de

educación, una vigorosa campaña publicitaria orientada a forjar la idea de la recuperabilidad del plástico, y sobre todo un cambio de actitud frente a lo que puede y debe esperarse en éste campo, son metas que se deben plantear frente a ésta situación.

## CAPITULO I

### JUSTIFICACION DEL PROYECTO

#### 1.1 IMPORTANCIA DEL PROCESO DE RECICLAJE DE PLASTICOS PARA LA INDUSTRIA

La industria del plástico en nuestro país se encuentra en un ciclo de avance progresivo, logrando casi una total independencia de importación sobre productos elaborados a base de plásticos, sin embargo la materia prima sigue siendo importada desde muchos países de America y Europa. El día en que Ecuador tenga un pequeño nivel de producción de materia prima, el país se encontrará en la cúspide del desarrollo industrial en el área del plástico.

Antes de destacar la importancia de un proceso de Reciclaje o transformación de desechos plásticos en una máquina extrusora de termoplásticos, analizemos algunas definiciones y clasificaciones importantes sobre los plásticos, debemos hacerlo, pues, si nos detuviéramos a analizar todos los objetos que nos rodean en el medio de nuestra vida rutinaria, encontraríamos que sin comprender aun la dimensión de la palabra plástico, nos vemos en contacto constante

con objetos de este material, encontraremos que en la oficina, en el hogar, en la industria, en el transporte, en las medicinas, y en un sin número de productos existe la aplicación de los plásticos.

#### 1.1.1 QUE SON LOS PLASTICOS?

Los plasticos son materiales que se obtienen por un proceso químico, o por transformación de materiales naturales. Estos materiales estan constituidos por Macromoléculas, a las que se denomina "polímeros", porque estan constituidos por una gran cantidad de moléculas monómeras.

Dependiendo de su composición química y su comportamiento físico, los plásticos se clasifican en:

- TERMOPLASTICOS
- DUROPLASTICOS
- ELASTOMEROS

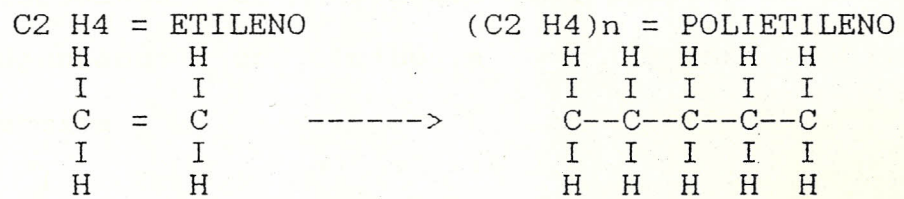
Los plásticos son principalmente uniones de carbono e hidrógeno a los que se añaden átomos ligeros similares como son: Cloro, Oxígeno, y Nitrógeno, que son también elementos de la química orgánica.

La Polimerización es el proceso de formación de los "Termoplásticos", éste proceso que implica parámetros de presión, temperatura, catalizadoras, y tiempo, agrupa las moléculas en hileras

continuas, y así se compone una nueva materia. Una simple demostración se puede dar por ejemplo con el Polietileno (P.E.):

Cuadro # 1.

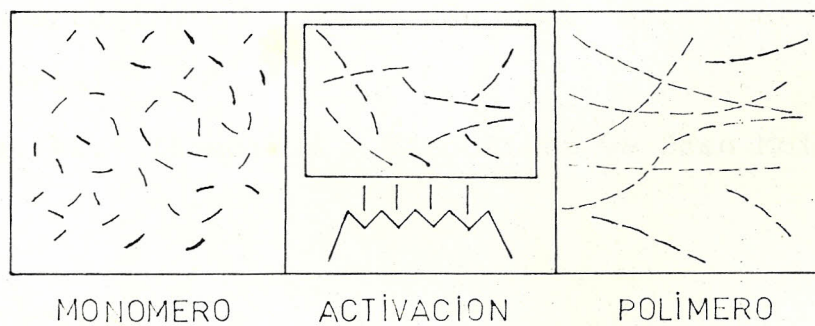
Estructuración Molecular del Polietileno



Los Termoplásticos están estructurados por largas cadenas de moléculas, las que están unidas por fuerzas intermedias.

Figura # 1

Distribución de Fuerzas con la Adición de Calor

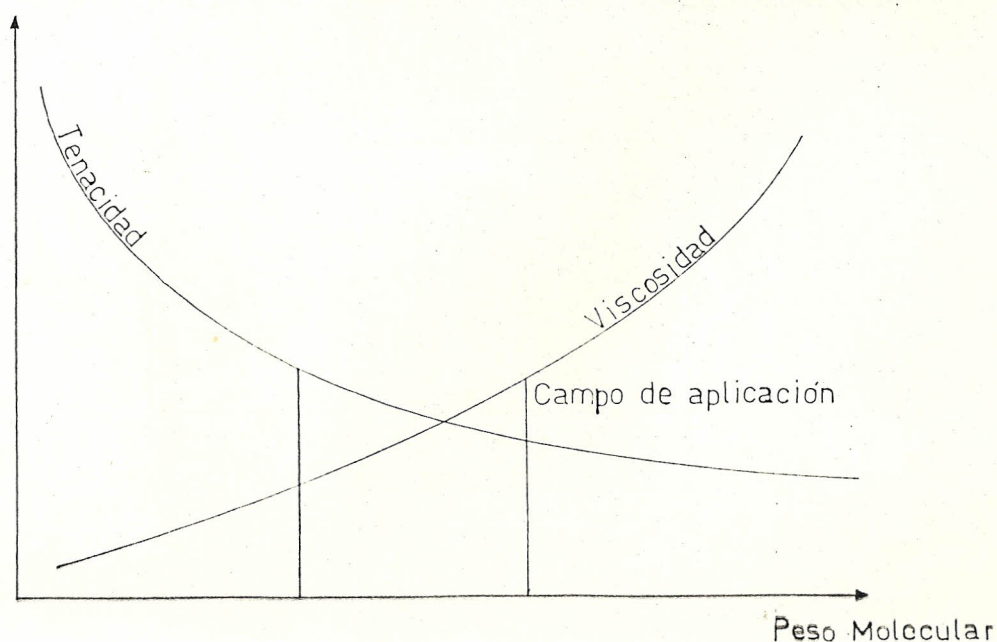


es que pueden ser reprocesados respectivamente en forma reversible con la adición de calor. Las posibilidades de ablandamiento de los Termoplásticos, así como la fluidez y con ellas la magnitud de la presión necesaria en las máquinas

para su procesamiento, se encuentran en estrecha relación con el tamaño de las moléculas. Mientras mas grandes sean estas, menos tenaces son los plásticos, hasta que a causa de su fragilidad, no vengan ya al caso de ser aplicables. Por otra parte al aumentar el peso molecular, aumenta la viscosidad, de manera que aquí también se le está adjuntando un límite a la conformabilidad térmica.

El campo de aplicación de los Termoplásticos se ubica alrededor de un punto de eficiencia en el comportamiento del material, dado por una tenacidad y viscosidad adecuada. Como vemos en el gráfico, la curva de Tenacidad disminuye a medida que aumenta la curva de Viscosidad, buscamos un punto de cruce entre ambas, para obtener un comportamiento óptimo de las propiedades del material.

Fig. #2. Tenacidad y Viscosidad vs Peso Molecular



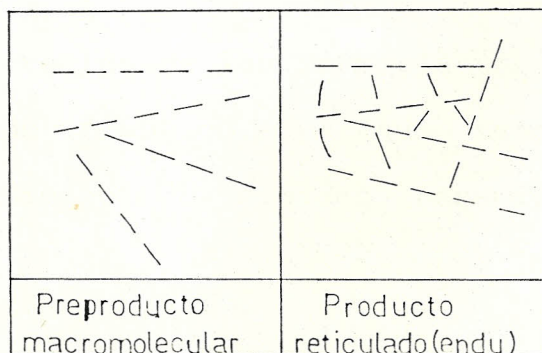
## LOS DUROPLASTICOS:

Los productos básicos para la obtención de los Duroplásticos son los mismos que se utilizan para la obtención de los Termoplásticos. Los elementos fundamentales son en éste caso también: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, y Nitrógeno. Los Duroplásticos clásicos son aquellos conocidos como los Policondensados, es decir que se forma por lo menos de dos productos diferentes, de los cuales se separan en el momento de su unión productos de descomposición, los que necesitan eliminarse.

Algunos Duroplásticos son Polimerizados como se explicó ya en los Termoplásticos. A diferencia de los Termoplásticos, los Duroplásticos permiten ser conformados solamente una vez (IREVERSIBLE), y adquieren después de su endurecimiento un estado reticulado nunca más fundible.

Figura # 3

Distribución de Fuerzas en los Duroplásticos



## LOS ELASTOMEROS:

Los Elastómeros están constituidos por grandes macromoléculas en forma de cadenas, las que están unidas entre sí a través de algunas uniones químicas y son conocidas como cauchos sintéticos.

Después de la vulcanización ya no es posible conformar los Elastómeros plásticamente, ni soldarlos. Tanto los Termoplásticos como los Duroplásticos y los Elastómeros se procesan en máquinas de inyección. El comportamiento de los Termoplásticos está condicionado esencialmente por la Temperatura. Al Calentamiento con posterior Enfriamiento pasan los Termoplásticos por diferentes estados físicos y zonas de transición.

Los estados físicos al aumentar el calor son:

- Estado Solido Quebradizo.
- Estado Termoelástico.
- Estado Termoplástico.

Entre estos estados físicos se encuentran las zonas de Transición, que son la zona de Solidificación y la zona de Cristalización.

La elaboración de los Termoplásticos se realiza en el estado plástico, en el que estos muestran un comportamiento de fluidez parecido a una masa viscosa.

Luego de haber recordado cierta teoría sobre los plásticos, analizemos los beneficios que se producen con un proceso de Reciclaje de desechos plásticos en la industria.

Un efecto inmediato y obvio en la aplicación de éste proceso en una industria, es una caída en el monto Total de materia prima de Importación, ya que el proceso utiliza materia prima procesada y materia virgen sobre un mismo volumen global de producción, esto significaría un elevado porcentaje en baja de importaciones, porcentaje que variaría en función de las exigencias de calidad y propiedades deseadas en el producto o segun calidad a régimen de la industria.

Existe una gran realidad a nivel comercial y es que cuando las industrias bajan la calidad de sus productos, la demanda disminuye. Las grandes industrias o industrias de renombre, prefieren mantener su calidad, sin utilizar material reciclado o utilizando un porcentaje muy bajo de materia prima reciclada. De estas industrias algunas reprocessan los desechos plásticos para venderlos a industrias más pequeñas o a su vez venden directamente los desechos para que las pequeñas industrias los reciclen.

La formación de pequeñas industrias, es otro beneficio que nace con el proceso de Reciclaje de Termoplásticos. Estas industrias se dedican a una producción en base a un material ciento por ciento reciclado o trabajan de manera irregular con un bajo porcentaje de materia prima virgen, pero siempre manteniendo parámetros que logren una calidad, y propiedades aceptables para los clientes.

Tal vez el beneficio mas grande e importante que produce el desarrollo de éste proceso, es el beneficio social. Se abren nuevas plazas de trabajo, tanto para operarios del proceso, como para selectores de material y recolectores de plásticos a nivel urbano, los recolectores y selectores de plásticos son puestos de trabajo que se generan de un proyecto de reciclaje a nivel urbano, proyecto que genera otro beneficio para la ciudad, que es el de la limpieza del medio ambiente, pues no se permitirá la existencia de residuos plásticos por las calles. El trabajo de los seleccionadores, que son conocedores de materiales plásticos, sucede luego de ésta recolección y se realiza en las industrias que compran estos desechos plásticos, es muy importante saber seleccionar bien los plásticos, pues un gramo de un material no combinable con otro, puede causar

una falla de un gran porcentaje del lote de producción.

La formación de las nuevas pequeñas industrias dedicadas al reciclaje y formación de artículos plásticos, abre mas fuentes de trabajo y genera progreso social.

En la actualidad se presentan grandes avances a nivel mundial en la industria del plástico, y es hacia los enormes mercados potenciales de la industria automotriz en donde se estan logrando magníficos resultados con la utilización de plásticos. En 1990 la industria automotriz remplazará el 50% de partes metálicas utilizadas en fabricación por partes plásticas. Todo esto nos da una pauta de la importancia que está tomando la industria del plástico a nivel mundial, y también de la importancia de aprovechar al máximo los beneficios que se crean con el reproceso de los Termoplásticos.

## 1.2 PROCESO DE RECUPERACION DEL PLASTICO Y SUS PERSPECTIVAS

En años recientes la atención pública ha enfocado cada vez más las consecuencias de la explosión demográfica acoplada con un estandar mundial de vida creciente. Los dos factores se combinan para producir

diferentes problemas sociales. Tal vez el más obvio es la crisis de energía. Sin embargo la eliminación de desperdicios es otro problema presionante.

La Recuperación de los plásticos, que sin representar un gran porcentaje en el total de desperdicios urbanos es un valor constante en el todo, sin embargo se presenta como una alternativa al problema de los desechos plásticos.

El reciclaje de los materiales plásticos presentes en los desechos urbanos es una realidad que se vive, de ahí nace la importancia de un proceso de recuperación de plásticos.

La recolección diferenciada o separación manual diferenciada es un proceso de recuperación de los desechos plásticos a nivel urbano acompañado por una selección primaria o diferenciación de los materiales recolectados, hablar de este proceso y su realización es contemplar los siguientes problemas:

- Gran variedad de materiales plásticos utilizados en las empresas.
- No existencia de mercado para material plástico heterogéneo indiferenciado.
- Ineficiencia en recolección y diferenciación de parte de las familias de la zona urbana.

Analizando el último problema, hay que reconocer la falta de conocimientos de la población urbana para poder hacer una diferenciación de materiales plásticos de desechos. También tenemos que considerar una apatía e indisposición por parte de dichas familias, es un problema que debemos resolver con acciones tales como las siguientes:

- Campañas públicas que incentiven a la población a una mayor recolección.
- Campañas informativas sobre los plásticos y los beneficios que crea éste proceso.
- Recolección especializada de dos o tres tipos de plásticos de mayor consumo.
- Recolección total de materiales plásticos con una selección posterior de los mismos.

#### 1.2.1 REELABORACION DE LOS PLASTICOS DE RECUPERACION

En la actualidad podemos decir que existen las tecnologías para activar procesos económicamente válidos en reutilización de materiales plásticos y podemos percibir que los obstáculos principales son del tipo económico; ya que los productos obtenidos sean gránulos diferenciados por el tipo de polímero o manufacturas a base de materiales plásticos indiferenciados tienen precios no competitivos

respecto a productos obtenidos con materia virgen o con materiales no poliméricos destinados a la misma utilización, es entonces un error ver el problema en términos exclusivamente económicos, se debe considerar la utilidad social del reciclaje, sea como recuperación de recursos o como reducción del volumen de basura para tratar.

Una acción necesaria es la de realizar una estimación de la composición de la fracción plástica en los desechos urbanos. Tal fracción representa un promedio del 9 % de los desechos totales y cerca del 11 % para las áreas metropolitanas. Tomando la referencia de cifras sobre el consumo de plásticos para empaque en distintas aplicaciones y eliminando aquellos materiales que ya se están recuperando (Termocontraíbles) o que tienen un uso fundamentalmente industrial (sacos), o que no se prestan a la recuperación (bolsas de basura), es posible definir el porcentaje de la participación de diversos tipos de materiales plásticos que se podría esperar de una recolección diferenciada.

El polietileno se mantiene a la cabeza con un 45 % del total de desechos plásticos, seguido luego por una cuota importante del PVC con un 23 % y luego en su orden el Poliestireno (14 %), el Propileno (11 %), el PET (6 %), y una pequeña cuota de los

polímeros mixtos (1 %) cuota que se elevaría al 5 % tomando en cuenta los materiales de embalaje.

Una buena utilización de una mezcla como la descrita se puede dar por tres caminos:

- La Separación de distintos tipos de plásticos.
- La Manufactura de la mezcla.
- La Utilización en procesos térmicos.

#### 1.2.2 PROCESOS DE SEPARACION Y SUS PROBLEMAS

Los sistemas de separación que se adoptan para ser utilizados en procesos continuos de tipo industrial se derivan de la industria minera y se pueden dividir en:

- Procesos en Seco.
- Procesos en Húmedo.

Los primeros se basan en el comportamiento diferente de los materiales (desmenuzados) cuando se someten a corrientes de aire. El sistema de proceso en seco está constituido por tamices rotatorios que funcionan con aspiración. En el caso de separación de manufacturas y productos de materiales muy distintos entre sí, por su naturaleza y su forma los sistemas en seco no están en capacidad de lograr una buena separación.

Los procesos en húmedo se basan en la diferencia de densidad entre los distintos polímeros. En el caso particular de los Termoplásticos, los polímeros más comunes tienen las densidades indicadas en la siguiente tabla:

Tabla # 1

Densidad (gr/cc) de los principales polímeros usados para embalaje.

Propileno	0.900 - 0.910
Polietileno de baja densidad	0.918 - 0.915
Polietileno de alta densidad	0.935 - 0.960
Poliestireno	1.040 - 1.090
PET	1.340 - 1.390
PVC	1.350 - 1.550

Por la diferencia de las densidades es posible entonces la separación de las Poliolefinas de los otros polímeros por flotación en agua. a utilización de otros líquidos de diferentes densidades hacen posible la separación del polietileno de alta y baja densidad del propileno y aislar el poliestireno de los polímeros más pesados. a velocidad de separación se puede ayudar con la fuerza centrífuga mediante dispositivos de hidro-ciclón; se ha dicho sin embargo que los procesos de separación nunca podrán obtener polímeros con un grado alto de pureza.

### 1.2.3 MANUFACTURA DE LAS MEZCLAS

La naturaleza química diferente entre los polímeros causa un problema de incompatibilidad termodinámica entre ellos. Como consecuencia a esto se obtienen en el momento de enfriamiento después de la fundición y mezcla, una separación en fases distintas. Las faltas de continuidad estructural que así se crean, conducen a propiedades mecánicas extremadamente malas.

Se han propuesto muchas técnicas nuevas para dar solución a este problema, sin embargo el método más antiguo y de mayor resultado, ha sido el de mejorar las características mecánicas mediante la adición de materiales de refuerzos, resinas vírgenes o agentes compatibilizadores; estos últimos son polímeros con distintos grupos químicos en sus cadenas, capaces de hacer anillos de enlace entre las distintas partículas dispersas de los polímeros incompatibles.

Los porcentajes necesarios de éstos componentes, para obtener buenos resultados en las propiedades de la mezcla están entre 10 y 30 %, esto genera un gasto económico considerable para la regeneración del plástico.

#### 1.2.4 APLICACION EN PROCESOS TERMICOS

La utilización de los materiales plásticos mixtos como combustibles, se presenta como una alternativa muy atractiva desde el punto de vista energético debido a que el poder calorífico de los materiales plásticos está muy cerca al del petróleo (tabla #3). Sin embargo las materias plásticas no son muy aptas para la combustión en quemadores convencionales, por ésto se requiere con residuos de papel, trapos y madera (15 % de plástico y 85 % de material celulósico), con ésta mezcla se forman bloques de combustión con un poder calorífico de 3500 Kcal/Kg, cuyo mercado está enfocado al área industrial.

Tabla # 2

Poder Calorífico (Kcal/Kg) de los materiales plásticos y combustibles de uso comun.

Polietileno	10000
Polipropileno	10500
Poliestireno	9600
ABS	9000
PET	7500
Policarbonato	7000
Poliamida	7000
PVC	4300
Gasolina	10500
Carbón fósil	8000

Otro proceso técnico diferente a la combustión y con gran acogida en Alemania es el proceso de "Pirólisis" sobre lecho fluidificado en ausencia de oxígeno. Con éste proceso se puede trabajar materiales plásticos de cualquier tipo y dimensión, junto con llantas usadas, madera y similares sin necesitar ser maquinados ni lavados. Los resultados son un 50 % de un compuesto líquido rico en hidrocarburos aromáticos que podría ser una materia prima óptima para la industria química y otro 50 % de hidrocarburos gaseosos livianos que pueden ser quemados como combustibles para satisfacer necesidades de la planta.

### 1.3 JUSTIFICACION ECONOMICA DEL PROCESO

Todo proceso de producción es justificable económicamente cuando los costos de inversión en maquinaria y mantenimiento son fácilmente cubiertos por un porcentaje de las utilidades netas.

En el caso del proceso de Reciclaje, no solo se analiza la rentabilidad del proceso en sí, sino también la justificación de materia reprocesada en porcentaje con materia virgen para la producción, siempre contemplando una calidad y un costo justificable del producto.

Hablar de un costo justificable de producto, es en términos de un estudio previo de materia prima reciclada y porcentaje de materia virgen por producto, para obtener condiciones óptimas de calidad y propiedades requeridas. También debe analizarse las concentraciones utilizadas en un producto en función del costo del mismo al consumidor.

El análisis preliminar a un nuevo ciclo de producción puede ser rápidamente realizado con la utilización de cuadros como los de las figuras 6 y 7, los mismos que pueden ser detallados para diferentes plásticos. Con los mismos cuadros podemos presentar una gama de opciones a los clientes, que serán quienes decidan también costo y calidad del producto requerido.

Cuando la industria toma la decisión sobre calidad, costo, y propiedades deseadas sobre el producto, lo analiza por ejemplo de la siguiente manera:

Se necesita lanzar al mercado un artículo que pesa 2 Kg, el precio del Kilogramo de materia prima reciclada es de S/.100 y el Kilogramo de materia prima virgen cuesta S/.200. Se ha encontrado por el diagrama que el material al 45 % de reciclado trabaja con óptimas condiciones.

$$\text{Peso de Reciclado} = 0.45 \times 2 = 0.9 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de Virgen} = 2 - 0.9 = 1.1 \text{ Kg}$$

$$\text{Costo del Artículo} = ( 0.9 \times 100 ) + ( 1.1 \times 200 ) = \text{S/. 310}$$

( 1 ) Costo del Artículo  
usando Material Reciclado = S/. 310

( 2 ) Costo del Artículo  
usando Material Virgen =  $2 \times 200 = \text{S/. 400}$

Existe una utilidad relativa del 22.5 % entre el producto (1) y el producto ( 2 ), llamamos Utilidad Relativa porque esta no es neta, ya que hay que tomar en cuenta el gasto de operación, el gasto de aditivos y el gasto de energía del proceso de reciclaje.

La industria plástica tiene que analizar y decidir si aquel porcentaje de utilidad y la calidad obtenida en el producto va a representar beneficios económicos a la empresa. Existen empresas que por su renombre

prefieren mantener su calidad para ofrecer un buen producto, aunque este tenga un precio un poco elevado, pero la mayoría de las industrias en nuestro país utilizan el proceso de reciclaje y deciden sobre estos parámetros muy comunes en el comercio " la calidad " y " el costo " .

## CAPITULO II

### ANALISIS PRELIMINAR DEL PROCESO DE RECICLAJE

#### 2.1 GENERALIDADES

Los procesos de reciclaje de plástico siempre están precedidos por dos procesos, uno de recuperación de desechos y otro de selección de desechos. Los procesos de reciclaje de Termoplásticos generalmente se realizan bajo un sistema común, que es una máquina extrusionadora, éstos procesos tendrán ciertas variantes en función de la variedad de diseños de máquinas de extrusión existentes en la actualidad, pero en sí, el proceso es el mismo para cualquier termoplástico a reciclar.

Por Extrusión de plásticos se entiende al estirado continuo o periódico de artículos perfilados de longitud ilimitada o limitada, a través de una cabeza (hilera) de sección determinada. Generalmente se las utiliza para la granulación de materiales termoplásticos, aplicación de revestimientos delgados en papel, tela, cartón, para formar envolturas aislantes de alambres y cables eléctricos y también en la fabricación de películas, mangueras y tubos. Se emplean igualmente para la desgasificación,

coloración, deshidratación, mezclado, plastificación simple y química de termoplásticos y materiales plásticos reactivos.

Los extrusionadores de husillo pueden usarse además para ciertos procesos y reacciones químicas.

El órgano fundamental de trabajo de una extrusionadora puede ser un husillo pistón, o disco. Según la clase de órgano suelen clasificarse en extrusionadora de Pistón, de Husillo, sin Husillo, de Disco, Combinadas, es decir, de Disco y Husillo, de Husillo con Cámara de fusión, etc.

Según la estructura del cilindro (cámaras) y el órgano de trabajo se clasifican en extrusionadoras con succión por vacío y sin succión, con calentamiento eléctrico (resistivo, inductivo, dieléctrico), con calentamiento por diversos agentes transportadores de calor (agua, vapor, aceite mineral), y sin calentamiento externo.

Básicamente para el accionamiento de los extrusionadores suelen emplearse motores eléctricos de corriente alterna, acoplados a un variador o caja de cambio de velocidades, de colector de corriente alterna con variación continua de velocidades, de corriente continua conectados por el sistema generador motor, e hidráulicos.

Las máquinas extrusoras de Pistón y las de Disco se emplean con menos frecuencia debido a la pequeña producción de las primeras y a la poca presión que desarrollan las de Disco e Hidrodinámicas.

Las de Husillo, sin embargo, gracias a su universalidad de aplicación, gran producción, grado de automatización, y continuidad del proceso han obtenido un campo de aplicación muy extenso en la industria del plástico.

#### 2.1.1 MAQUINAS DE EXTRUSION DE UN HUSILLO

Por lo general son máquinas universales empleadas para mezclar, plastificar, granular materiales, fabricar películas, etc. Existen muchos tipos y tamaños de máquinas que difieren entre sí por las características y formas en los diseños adecuados, es decir: clase de material a transformar y configuración del artículo, diámetro y longitud del husillo, tipo de accionamiento, gama y procedimiento regulador de velocidades de giro del husillo, potencia total y específica de calentamiento del cilindro y procedimiento automático de regular la temperatura dada, existencia de dispositivos de carga.

En Rusia se construye una serie completa de máquinas para la fabricación de películas, tubos,

artículos perfilados, láminas y gránulos de material termoplástico, con husillos de 20, 45, 63, 90, 125 y 160 mm. de diámetro con una relación L:D = ( 20 - 25 ): 1.

Al diseñar estas máquinas se prestó principal atención en aumentar la capacidad de producción y la calidad de los artículos. Los sistemas reguladores de velocidad de giro del husillo pueden ser hidráulicos, mecánicos o electrónicos, siendo estos últimos los de mayor rendimiento específico, menos precio, y mayor capacidad de trabajo. Los elementos fundamentales de estos sistemas son los tiristores o rectificadores de Silicio gobernados automáticamente.

Por otro lado existe un gran interés por encontrar la geometría óptima del husillo para así obtener máximas temperaturas y presiones de material lo más cerca posible de la zona de carga, y lograr una mayor eficiencia del husillo en la homogeneización del material.

La longitud " óptima" del husillo ha sido aumentada convenientemente hasta obtener una relación L:D = ( 20 - 30 ) : 1 . En la actualidad el nivel de la ciencia y la técnica permiten obtener con precisión la geometría adecuada del husillo en función del material y de las condiciones de su transformación.

En la figura 8 podemos ver claramente el mecanismo de una máquina universal de un husillo para fabricar películas. La máquina se acciona de la siguiente forma, el husillo 9 es actuado por un motor asincrónico de corriente alterna 1 a través del acoplamiento 2, variador de cadena 3, embrague 13, y reductor 14. Los calentadores eléctricos 8, están repartidos en cuatro zonas autónomas, tres de los cuales llevan sus ventiladores individuales 4 para refrigerar, según necesidad, cualquier zona determinada del cilindro. La tolva doble 11, facilita una entrada uniforme del material en la boca de carga 12. Los canales 10 sirven para refrigerar la zona de carga y facilitar de esta forma el arrastre del material por los primeros filetes del husillo.

El cabezal 7, con tres zonas independientes de calentamiento, con regulación automática de temperatura, sirve para fabricar películas en forma de tubo de material termoplástico, con soplado ascendente.

El volante 6 se utiliza para gobernar el variador al cambiar suavemente la velocidad de giro del husillo. El embrague 13 se acciona con la palanca 5.

El husillo tiene un canal longitudinal de refrigeración, para intensificar la refrigeración con agua. Son de gran interés las máquinas del mismo tipo con accionamiento hidráulico (fig. 9), que permiten reducir considerablemente el consumo de potencia al transmitir el momento de giro preciso al husillo, con una gama continua de velocidades de giro. La presión en el sistema y la potencia del motor dependen directamente de la velocidad de giro precisa del husillo.

El motor es accionado por una bomba de 200 lts/min a 210 Kg/cm<sup>2</sup>. La superficie exterior del cilindro lleva un tallado espiral para el paso del aire refrigerante. Existe un conducto acoplado al cilindro para evacuar por vacío los elementos volátiles del material durante el proceso de transformación. Estas máquinas vienen suministradas de un juego de husillos, con grado de compresión entre 1.5 : 1 y 4 : 1. El husillo 5 tiene la capacidad de regular la presión con un movimiento axial, y alterando el huelgo en la cabeza del husillo.

El husillo 5 se desplaza con la acción de la palanca 8, que conecta el dispositivo hidráulico del émbolo. El husillo toma el movimiento giratorio desde el motor asincrónico 1 de corriente alterna a través de la bomba 3 de caudal variable,

motor hidráulico 4 y reductor 7. Con el volante 2 regulamos la velocidad del husillo.

La figura 10 nos muestra una máquina de extrusión con calentamiento por inducción tipo RAE-90 de Burtonwood. El husillo puede ser accionado indiferentemente por un motor eléctrico de corriente alterna o continua, que transmite el movimiento a la polea 2. En el primer caso la velocidad del husillo se cambia por medio de un acoplamiento electromagnético o un reductor. Para facilitar el control y la medición de la velocidad del husillo se ha instalado el generador tacométrico 1. Un potente rodamiento soporta los esfuerzos axiales del husillo. Para mejorar la extrusión propiamente dicha, al extremo del husillo, por el lado del cabezal, lleva la cabeza cónica 10 con tallado helicoidal. El llenado del material granulado se efectúa de manera uniforme con el alimentador vibratorio 4.

Para calentar el cilindro se han instalado los calentadores de inducción 7 con tres o cuatro pares de control automático ( pares termoeléctricos ).

Estos calentadores permiten acelerar el calentamiento, conseguir una refrigeración efectiva en las diferentes zonas del cilindro y un control de temperatura más exacto. La refrigeración

del husillo se realiza por agua que ingresa por uno de los tubos 3, circula refrigerando el husillo, sale por los orificios 8 al canal del husillo por el cual regresa a su punto de partida y sale por el otro tubo 3.

Una refrigeración óptima de las diferentes zonas del cilindro se consigue con el ventilador 13 y las tres derivaciones 12.

En la tabla 3, a título de comparación se indican las características de diferentes máquinas de extrusión.

#### 2.1.2 MAQUINAS DE EXTRUSION DE DOS Y MAS HUSILLOS

Las máquinas de extrusión de un husillo son constructivamente más simples y económicas que las de dos husillos, sin embargo, debido a su tecnología, las últimas ofrecen mayores ventajas de producción y aceptabilidad en el mercado por su gran capacidad de aceptación.

Este tipo de máquinas son ideales para trabajos de gran producción, donde debe obtenerse un mezclado completo del compuesto de moldeo y una excelente granulación de los materiales termoplásticos. Una eliminación completa de los defectos de solidificación, coloreado uniforme en la dispersión de los pigmentos, la eliminación justa de la

humedad, etc. son los resultados a lograrse en el proceso de extrusión.

La zona de carga de una máquina de dos husillos tiene mayor capacidad que la de compresión, lo que permite transformar material en polvo muy fino y asegurar un llenado completo del cilindro. La presión en la zona de carga aumenta con mayor rapidez que en las máquinas de un husillo.

Existen muchos tipos de máquinas extrusoras con varios husillos que difieren entre sí, por el número de husillos, posición mutua y sentido de giro, tipo de acoplamiento, procedimiento empleado para alcanzar el grado de presión necesaria, geometría de los husillos, geometría de los cilindros, etc. La variedad de formas en que pueden combinarse estos parámetros crea la diversidad de máquinas de extrusión de diferente diseño y tamaño. Cuando los husillos giran en el mismo sentido el fileteado es igual y cuando giran en sentido contrario el fileteado es opuesto. Por la posición mutua de los husillos se distinguen en máquinas con husillos engranados y sin engranar. Una propiedad de estas máquinas es la disposición de varios husillos en un mismo canal del cilindro.

Cuando varios husillos están montados en diferentes canales de uno o varios cilindros, la máquina se

considera de un husillo y generalmente se denominan máquinas dobles, triples, etc. Existen varias combinaciones de husillos entre ellas las de la figura 11, una combinación que asegura mayor calidad de transformación y una excelente homogeneización mecánica y térmica del material es la presentada en la figura 7a del grupo.

Una máquina de extrusión de dos husillos de la casa "Mapre", se puede apreciar en la figura 12, destinada a la transformación de poliamidas, poliolefinas y cloruro de polivinilo. El cilindro 10 de acero al cromo, lleva varios calentadores de resistencia 7 y un refrigerador de agua compuesto de varios tubos 9. Existen pares termoeléctricos en cada una de las zonas de calentamiento, los husillos giran en sentido inverso.

El husillo 11 gira en sentido contrario a las agujas del reloj y lleva rosca izquierda, el husillo 12 gira, como es lógico en el sentido de las agujas del reloj y lleva rosca a derecha. El cilindro va convenientemente montado sobre un carro 6 que puede desplazarse sobre la bancada 5.

Los esfuerzos axiales que surgen necesariamente al girar los husillos son soportados por unos potentes cojinetes 13 y muelles planos 14, pretensados, éstos van ubicados en un cuerpo de acero 16, que

permite tener a los mismos constantemente sumergidos en un baño de aceite de nivel controlado.

El motor eléctrico 3 transmite la rotación por correas trapezoidales al variador de cadena 2 y a la polea 22 del sinfín del reductor 20. A continuación pasa al árbol de la rueda helicoidal 21 que lo transmite mediante unas uniones estriadas al piñón de accionamiento 18, en engrane constante con el piñón 19, y a través de las uniones estriadas 17 a los árboles 15 de los husillos, montados sobre cojinetes de rodillos y agujas.

El embrague 1 desconecta al motor de la máquina cuando los husillos son sometidos a cargas excesivas. El ventilador 4 refrigera el motor.

La producción en dependencia del material y del artículo a moldear, oscila entre 39 y 102 Kg/hr, con material granulado asciende a 50 - 150 Kg/hr. Junto a la máquina se encuentra el cuadro de mando y controles como los termoreguladores 23, amperímetros 24, interruptores 25, y pulsadores de mando 26.

Existen también máquinas de extrusión de tres husillos y de cuatro husillos. Los husillos, con relación  $L:D = 10:1$ , están montados como representa

la figura 13. Los husillos contiguos, tanto en el plano horizontal como en el vertical, giran en sentido contrario y pueden una gama de 9 a 60 RPM. En la zona de carga los husillos tienen mayor paso para facilitar la toma de material de la tolva de carga.

Las ventajas fundamentales de éste tipo de máquina extrusora son: empleo de husillos cortos, menos calor para transformación de termoplásticos, consumo bajo de energía para calefacción, menos pérdida de energía por rozamiento de los husillos, aprovechamiento total de energía de los calentadores, no hay necesidad de refrigerar el cilindro y los husillos, buenas propiedades eléctricas, el cilindro tiene tres zonas autónomas de calefacción con control automático.

## 2.2 ANALISIS DEL PROCESO DE EXTRUSION EN EL RECICLAJE

En el reciclaje de termoplásticos es recomendable obtener una transformación de los desechos a gránulos, por lo general el uso de material granulado para cargar las máquinas de extrusión e inyección, estabiliza considerablemente la alimentación, aumenta la producción y la calidad de los artículos fabricados.

El proceso de reciclaje de termoplásticos es en sí un proceso de extrusión, el mismo que es adecuado en su

fase final para obtener productos diferentes, seleccionados según la necesidad requerida. Se recomienda combinar la granulación con la plastificación, estabilización y coloración del material termoplástico.

Para la granulación de materiales termoplásticos se suelen usar máquinas extrusoras de uno o varios husillos, y máquinas especiales denominadas "Granuladoras".

En la figura 14 podemos describir el proceso de extrusión partiendo de la generación motriz como es el motor eléctrico 1 que transmite el movimiento por reducción al husillo 5, que recoge el material de la tolva 4 en forma de gránulos, los mezcla, plastifica, comprime y desplaza por el canal helicoidal a lo largo del cilindro 6. Es gracias al husillo que se consigue la homogeneización del termoplástico fundido y su extrusión a través de las mallas filtrantes 7, rejilla 8 y cabezal o hilera perfiladora 9. El cilindro está dividido en varias zonas con sistemas independientes de calentamiento y refrigeración. La cubierta 10 evita cualquier accidente desagradable, mientras los ventiladores 11 refrigeran las zonas calientes del cilindro. El cojinete axial 3 soporta convenientemente los esfuerzos axiales que surgen al girar el husillo. A continuación en la figura 15

tenemos el esquema de una instalación granuladora destinada a cortar alambre o varilla de material termoplástico directamente en la rejilla granuladora. Consiste en la máquina extrusora 7, tolva con su correspondiente mezcladora y motor eléctrico 6, dispositivo para cortar y refrigerar los gránulos. El material extrusionado a través del cabezal granulador 3 es cortado directamente en el plano del cabezal mediante una cuchilla giratoria actuada por el motor 5. El ventilador 4 logra un secado previo de los gránulos para evitar su adherencia durante su desplazamiento, para luego pasar al fondo del transportador vibratorio 2, donde se enfrían y secan definitivamente para transportarse a la carretilla 1.

Un proceso de extrusión para obtener gránulos cortando varilla o alambre de material termoplástico en frío, se puede apreciar en la figura 16, el alambre 11, que sale de la máquina de extrusión se enfría en el baño de agua 10, a continuación se seca y enfría nuevamente con el ventilador 9 y se corta en gránulos por una fresa especial ubicada en el dispositivo 8.

En el proceso de extrusión existen parámetros mecánicos que hay que considerar para obtener una mejor eficiencia de la máquina. La acción impelente del husillo depende de la velocidad de giro, ángulo

de hélice de la espiral y del coeficiente de fricción, que surge como consecuencia del roce del material con las paredes del cilindro. Estos coeficientes dependen, principalmente del material a transformar y de las temperaturas de la superficie del cilindro y del husillo. El material será impulsado con mayor efectividad por el husillo cuanto mayor sea la fricción entre el material y las paredes del cilindro, y cuanto menor sea la fricción entre el material y la superficie del husillo.

La materia sobrante del proceso, sea en láminas u otras formas como varillas o cualquier forma de residuo de material son transformados en secciones de trituración y molturación especiales. Existe un proceso de reciclaje inmediato en proceso de extrusión, que se encarga de tomar los desechos pequeños de material evitando que éstos se ensucien en el transporte y la recolección. Por ejemplo, al extrusionar láminas el material sobrante de desecho queda en forma de cintas de diferente longitud y anchura, instalados a ambos lados de la máquina existen otros discos dentados que recogen éstas cintas y las cortan en tiras largas que luego se cortan en sentido transversal en una granuladora. Los trozos preparados son absorbidos por una tubuladora situada cerca de la cuchilla de la máquina de extrusión, pasan luego a una trituradora y

finalmente vuelven a la tolva de la extrusora. De éste modo se puede prescindir de tratamientos posteriores de limpieza.

La refrigeración del husillo de una extrusora, suele ser mediante agua, y se la hace con el fin de reducir la fricción entre el material y el husillo. Sin embargo una refrigeración excesiva resulta coontraproducente, puesto que baja la temperatura del material a transformar y disminuye la presión desarrollada por el husillo, y con esto la capacidad de producción de la extrusionadora.

Un calentamiento excesivo del cilindro entorpece considerablemente el proceso de extrusión, debido a la destrucción térmica de las capas de material cercanas a su superficie; además la elevación de la temperatura en la zona de carga del cilindro puede ocasionar la fusión del material, disminuyendo al mismo tiempo la capacidad de adhesión, y por consiguiente, el arrastre del material por los primeros filetes del husillo. Por ésta razón la zona de carga del cillindro generalmente se suele refrigerar con agua en circulación. El proceso de extrusión propiamente dicho, depende de la temperatura del cilindro en las diferentes zonas y de la temperatura del husillo. Durante la extrusión se deberá poner particular atención para que la regulación automática de la temperatura en el

cilindro y husillo sea la ma's exacta posible.

En una extrusionadora simple de husillo, el termoplástico atraviesa tres estados físicos: sólido, conglomeración de material sólido con la masa caliente, y finalmente se transforma en masa fundida. En los husillos dosificadores, provistos de zonas de alimentación, compresión, y dosificación (extrusion), resulta más sencillo analizar la zona de dosificación, puesto que, el flujo de material plastificado en ésta zona se le puede aplicar las leyes hidrodinámicas para líquidos viscosos. Generalmente ésta zona es la que determina la producción de una extrusionadora de husillo. En la zona de dosificación existen tres flujos: el directo y el inverso, a lo largo del canal helicoidal del husillo, y el correspondiente a las fugas de la masa, que tiene lugar a través de los huelgos radiales existentes entre las crestas o vértices de los filetes del husillo y la superficie interior del cilindro. Este último flujo, comparado con los otros dos resulta tan insignificante que en la mayoría de los casos se suele prescindir de él al efectuarse los cálculos de producción. La producción o caudal de la zona dosificadora es igual a la diferencia entre el flujo directo e inverso, sumando a éste último las fugas.

El flujo directo comunmente se lo denomina flujo forzado y el inverso, flujo de presión. El primero constituye un movimiento de arrastre, originado por el desplazamiento relativo del husillo respecto al cilindro. El material acumulado en el espacio anular formado por el núcleo del husillo y la superficie interior del cilindro, es sometido a deformaciones de cizallamiento que las paredes del canal helicoidal transforman en movimiento de avance, es decir, en flujo directo. El consumo o caudal volumétrico del flujo directo vien determinado fundamentalmente por la profundidad y anchura del canal, diámetro del husillo y su velocidad de giro.

El flujo inverso surge como resultado de la presión sobrante acumulada ante la cabeza extrusionadora , que obliga a fluir a la masa en dirección contraria. Sin embargo como el flujo directo es considerablemente mayor se observará solo la reducción de éste en una magnitud correspondiente al flujo inverso, sin evidenciarse, cmo es lógico, la corriente de material en sentido contrario. La magnitud del flujo inverso depende de la profundidad del canal helicoidal, diámetro del husillo, longitud de la zona de extrusión, presión ejercida por la masa sobre la cabeza extrusionadora, y de la viscosidad de la masa.

## 2.3 CALCULOS DE DISEÑO

Los cálculos de diseño enfocados en éste tópico contemplan a los elementos esenciales del proceso de extrusión y a los parámetros necesarios en la obtención de resultados finales de diseño.

### EL HUSILLO:

- Para iniciar los cálculos de diseño de un husillo se recomienda emplear las siguientes ecuaciones empíricas:

$$t = (0.8 \div 1.2) \cdot D$$

$$e = (0.06 \div 0.1) \cdot D$$

$$L_3 = (0.4 \div 0.6) \cdot L$$

$$h_1 = (0.12 \div 0.16) \cdot D$$

$$h_3 = 0.5 \left[ D - \sqrt{D^2 - 4h_1/i(D - h_1)} \right]$$

$$d = (0.002 \div 0.003) \cdot D$$

Donde  $t$  es el paso del husillo;  $e$ , la anchura de la cresta del filete;  $h_1$  y  $h_3$ , la profundidad del canal helicoidal de las zonas de alimentación y dosificación (extrusión);  $i$ , el grado de compresión (se elige según el material a transformar);  $L_3$ , la longitud de la zona de extrusión;  $L$ , la longitud total efectiva del husillo;  $d$ , el huelgo radial entre la cresta del filete del husillo y el cilindro. Todas éstas dimensiones pueden ser clarificadas mediante la figura 17.

Para entrar al cálculo de esfuerzos y cargas máximas que actúan sobre el husillo, debemos calcular la capacidad requerida por la máquina utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Q = \left( \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \gamma} \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

La ecuación 1 es una ecuación práctica resultante de un análisis del flujo y su velocidad dentro del husillo, en la misma también se consideran la caída de presión y el caudal de fugas.

k: Constante total de la forma geométrica de la caja perfiladora

n: RPM del husillo.

$\alpha$ : Constante del flujo directo.

$\beta$ : Constante del flujo inverso.

$\gamma$ : Constante de fugas

$$\gamma = \arctan \frac{t}{\pi(2R_1 - h)} \quad \text{Ec. (2)}$$

$\gamma$ : Angulo de espira del filete.

$$\alpha = \frac{\pi m \cdot D \cdot h (t/m - e) \cos^2 \gamma}{2} \quad \text{Ec. (3)}$$

m: # de canales o filetes.

$$\beta = \frac{m \cdot h^3 (t/m - e) \operatorname{sen}^2 \gamma \cos \gamma}{12 \cdot L} \quad \text{Ec. (4)}$$

En la ecuación (4) la dimensión L puede ser asumida por una relación que logra un óptimo desempeño de un husillo para extrusión, L:D = 25:1 .

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 d^3 \operatorname{tag} \gamma}{10 \cdot e \cdot L} \quad \text{Ec. (5)}$$

Con los valores obtenidos y con la densidad específica del material encontraremos los Kg/hr de capacidad de la máquina. Con el valor obtenido de Q[Kg/hr], podemos hallar la potencia del motor necesaria para obtener dicha capacidad, utilizando la siguiente fórmula:

$$N = 32 \times 10^{-5} Q \cdot C \cdot (T_m - T_o); \text{ [Kw]} \quad \text{Ec. (6)}$$

donde:

C: Capacidad calorífica del material a extrusionar. [Joule/Kg.°C]

T<sub>m</sub>: Temperatura de la masa fundida. [°C]

T<sub>o</sub>: Temperatura del material a la salida de la tolva de carga. [°C]

Esta Potencia también puede ser hallada por gráficos con datos similares como en la figura #18 . El monograma de la figura es una forma más directa de hallar la Potencia del motor utilizando los mismos

datos necesarios en la ecuación (6).

Para calcular la resistencia del husillo, comprobamos las dimensiones previamente determinadas del husillo y luego obtenemos la flecha máxima admisible.

Sobre el husillo actúan la fuerza axial P, el momento de giro Mg y la carga uniformemente repartida q, originada por el propio peso del husillo. Las fuerzas P y q provocan la flecha f del husillo.

$$Mg = 9550 \cdot \frac{N}{n} \quad [\text{Nt.mt}] \quad \text{Ec. (7)}$$

$$P = F \cdot p \quad [\text{Nt}] \quad \text{Ec. (8)}$$

donde:

N: Potencia del motor. [Kw]

n: RPM del husillo.

F: Superficie de la sección transversal, sobre la que ejerce su presión el material. [ $\text{mt}^2$ ]

p: La presión específica del material en la parte delantera del cilindro.

Antes de calcular la flecha máxima admisible, comprobamos la esbeltez del husillo, mediante el factor S de esbeltez, el mismo que se determina por la siguiente relación:

$$S = \frac{a.L}{Ri} \quad \text{Ec. (9)}$$

Ri

donde:

S: esbeltez del husillo.

a: Coeficiente de fijación del extremo del arbol.

(a=2)

Ri: Radio de inercia de la sección.

$$Ri = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$J = \frac{\pi.D^4(1 - u^4)}{64}; \quad [mt^4] \quad \text{Ec. (11)}$$

$$F = \frac{\pi.D^2(1 - u^2)}{4}; \quad [mt^2] \quad \text{Ec. (12)}$$

donde:

J: Momento de inercia de la sección transversal.  $[mt^4]$

F: Superficie transversal del husillo.  $[mt^2]$

u: Relación de diámetros del husillo;  $u = \frac{d}{D}$

Sustituyendo las ecuaciones (11) y (12) en la ecuación (10) de Radio de inercia, obtenemos:

$$Ri = \frac{D}{4} \sqrt{1 + u^2}; \quad [mt] \quad \text{Ec. (13)}$$

Con éste valor del radio de inercia podemos hallar la esbeltez  $S$  (9), en la mayoría de los casos  $S < 120$ . Una vez hallada la esbeltez, calculamos la flecha máxima en el husillo, al aplicar la carga repartida.

$$f_{\max} = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot J} \quad \text{Ec. (14)}$$

donde:

$E$ : Módulo de elasticidad del material.

$q$ : Carga repartida.

#### El Cilindro:

En la parte de la determinación de las dimensiones del cilindro de extrusión, tendremos que obviar el cálculo del diámetro interno y de la longitud del mismo, puesto que son datos predeterminados.

Para hallar el espesor de la pared del cilindro, utilizamos la ecuación que analiza el caso de esfuerzos máximos en cilindros de pared gruesa, particularmente el caso de presión interior. En dicho caso que contempla sólo presión interior, se especifica que el esfuerzo radial es siempre negativo (compresión) y que el esfuerzo tangencial siempre es positivo (tensión) y mayor que el anterior, por esto en cálculos de diseño se recomienda trabajar con el valor máximo del esfuerzo tangencial, dado en el interior del cilindro y calculado por:

$$\sigma_t \text{ max} = \left( \frac{b^2}{b^2} + \frac{a^2}{a^2} \right) p_i \quad \text{Ec. (15)}$$

donde:

$p_i$ : Es la máxima presión interna dentro del cilindro.

[Kg/mt ]

a : Radio interior del cilindro. [mt]

b : Radio exterior del cilindro. [mt]

Tomando una presión interna dada por tablas de diseño de extrusoras, con una tensión tangencial máxima calculada en los cálculos del husillo y un radio interior dado por la suma del diámetro del husillo y dos veces el huelgo interior, el valor del espesor puede ser determinado.

El espesor del cilindro también puede ser determinado utilizando un balance energético en transferencia de calor, dado por las siguientes ecuaciones:

$$Q = m.C_p.(T_f - T_s) \quad \text{Ec. (16)}$$

$$Q = \frac{(T_i - T_o).2.K.L}{(\ln r_o - \ln r_i)} \quad \text{Ec. (17)}$$

De la asunción de que el calor transferido por la masa en el proceso de plastificación, es el mismo que se transfiere por las paredes del cilindro, igualamos las dos ecuaciones anteriores y así podemos obtener

el valor del radio exterior ( $r_o$ ) que nos permite determinar el espesor del cilindro.

Es importante mencionar que por normas de seguridad, es recomendable utilizar el valor de espesor determinado por resistencia de materiales en el diseño del cilindro.

#### 2.4 ALCANCE Y PERSPECTIVAS DEL RECICLAJE A NIVEL INDUSTRIAL

La responsabilidad de la industria hacia la calidad de vida que lleva la humanidad, nos presenta al reciclaje de plásticos como un proceso prioritario, y como una gran responsabilidad de parte de los industriales sobre el problema de los desechos industriales y domésticos. En las campañas realizadas por los defensores del medio ambiente en los países desarrollados, contra los millones de toneladas de materiales no biodegradables que anualmente se producen, los plásticos han llevado la peor parte.

Existe una respuesta por parte del sector industrial del plástico con propuestas de reciclamiento y con nuevos materiales biodegradables. La discusión es un tema candente entre público, industria y gobiernos que concluyen en la creación de propuestas de racionalización en el uso de materiales de desecho en América Latina.

El ejemplo que nos presenta la ciudad italiana de Prato nos demuestra que una eficiente estructura industrial, es el elemento necesario para lograr una recolección diferenciada de materiales plásticos de los desechos sólidos urbanos y luego pasar al reproceso de los mismos.

Desde 1880 Prato es el principal mercado europeo de los residuos textiles, existe una verdadera tradición del reciclaje que junto con la experiencia y habilidad manuales, utiliza tecnologías modernas y se preocupa por dotarse, desde los años escolares, de técnicos capacitados. Con éstos antecedentes no sorprende que el municipio de Prato y la empresa de servicios municipales de higiene urbana hallan logrado por primera vez en Italia una recolección diferenciada de los materiales plásticos.

La guerra a los plásticos que se presentaba a golpes de ordenanzas durante los primeros meses de 1987, junto con presiones políticas que querían guiar a la administración de Prato a tomar una decisión de resolver los problemas de los materiales plásticos simplemente prohibiendo su uso. Todas estas circunstancias llevaron al municipio de Prato a involucrarse en la iniciativa de recolección y reciclaje, lo que sucedía, cuando el municipio de Florencia prohibía las bolsas y botellas plásticas, y

se debatía en los problemas de la "Emergencia de los desechos".

En la actualidad se experimentan nuevos procesos de reciclaje que han dado buenos resultados, entre éstos, existen procesos en que se utiliza directamente el material obtenido de la recolección familiar, triturándolo y mezclándolo con cargas como aserrín y polvo de mármol. En estas mezclas se han logrado obtener tuberías de gran espesor (3 cm.) y otros productos que están siendo evaluados.

Otro avance de la industria de regeneración del plástico se está dando con la utilización de material plástico heterogéneo de origen familiar, elaborando materiales plásticos heterogéneos (20% PVC y hasta 10% de materiales extraños no poliméricos) extruidos en forma de láminas de 0.5 cm. Otras pruebas con material plástico de este tipo se están desarrollando para obtener tubos y separadores para pallet; recientemente el programa de ensayos con el material no tratado de origen familiar ha sido ampliado involucrando también empresas extranjeras en Bélgica y Francia.

Las aplicaciones en los sectores de la construcción y de las vías parecen ser particularmente promisorias. Es conocido que el número de ciclos de regeneración al que puede someterse un material plástico no es

infinito, es preferible en caso de una hipotética "economía del reciclaje", que los materiales recuperados de los productos con ciclos de vida cortos sean convertidos en productos con vida más larga y de este modo sustraídos de nuevos ciclos de utilización demasiados cercanos en el tiempo.

Una primera posibilidad de uso, para la que no existen problemas ni de compatibilidad entre los distintos materiales plásticos ni de contaminación extraña, podría ser la de los rellenos para los estratos de base o de cimentación de la pavimentación vial. En tal utilización el material plástico recuperado (que debe ser triturado) va a sustituir parte del cascajo o grava empleado normalmente en el conglomerado asfáltico. Más interesante económicamente pero con un proceso más técnico se presenta la utilización de residuos plásticos como componentes del asfalto. En este caso es necesario verificar con pruebas de laboratorio que no haya incompatibilidad y que las características del asfalto no sean influenciadas de manera negativa. Los estudios realizados por científicos indican que es posible incorporar en el asfalto hasta el 8% de material plástico proveniente de la recolección urbana diferenciada, a condición de que sea triturado y este ausente de residuos metálicos.

Las propiedades del asfalto son mejoradas obteniéndose las siguientes características:

- Mayor consistencia del asfalto
- Mejor resistencia a temperaturas
- Mayor tenacidad ante variaciones de temperatura

En la actualidad se están realizando experimentos en el campo y se esperan resultados muy cercanos. Los resultados se basan en pruebas hechas sobre 500 m. de pavimento modificado en una carretera estatal con tráfico intenso. Los datos obtenidos se podrán confrontar con datos de partes con clazada tradicional de la misma carretera.

## CAPITULO III

### PROCESO DE RECICLAJE DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

#### 3.1 RECICLAJE DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN GUAYAQUIL

La demanda actual del sector industrial hacia los diferentes materiales plásticos para confección de productos plásticos aplicables en muchos campos, cada día es mayor. Entre la gran variedad de termoplásticos existentes los de mayor demanda son el Poliestireno y el Polietileno de alta y baja densidad.

Siendo el polietileno de baja densidad un termoplástico de alta demanda industrial y con buenas propiedades para el reciclaje, ha sido seleccionado para analizar su participación como un elemento generador del proceso de reciclaje. El polietileno en general es un termoplástico con grandes propiedades que le permiten una elemental participación en el área de envases, productos domésticos, utensillos, etc.

Un termoplástico luego de ser reciclado sufre una caída en sus propiedades mecánicas como resistencia a la tensión, flexibilidad, tenacidad, etc. El

polietileno de baja densidad tiene excelentes cualidades para producción de reciclado, ya que el proceso de reciclaje disminuye sus propiedades mecánicas, sin embargo estas permanecen satisfactorias para la calidad requerida por el cliente o productor. En este material las propiedades mecánicas se mejoran notablemente en el reciclado, con la adición de materia prima virgen en porcentajes adecuados. Sin embargo se conoce por la práctica que en una tercera extrusión del polietileno de baja densidad sin adición de materia virgen, su estructura se debilita demasiado y la temperatura de plastificación es muy alta, es por esto que no se recomienda este proceso.

Haciendo una evaluación a nivel industrial sobre material plástico más utilizado en reciclaje y en producción directa, encontramos en primer lugar al polietileno de baja densidad, al polietileno de alta densidad en segundo y en tercer lugar al poliestireno o estirón. El polietileno de baja densidad reciclado tiene gran mercado en fundas plásticas, las mismas que son inspeccionadas bajo un riguroso control de calidad, y si las propiedades no son las adecuadas se rechaza todo el lote producido no volviéndose a utilizar dicho material ni para ser reprocesado en extrusión.

El polietileno de baja densidad puede ser recolectado en una industria misma como rechazos o residuos de producción en forma de tortas, tiras, pedazos de residuos, etc. Estas formas de residuos dentro de una industria plástica pueden obtenerse de diferentes procesos como son el de inyección, impresión, sellado, etc. Para darnos una imagen del nivel de producción con producto reciclado en nuestra ciudad, a continuación presentamos informes de producción de una planta de producción de plásticos con una capacidad total de reciclaje promedio de 240 Kg/h, con trabajo continuo durante un mes.

Material reprocesado por extrusión.

Polietileno de baja densidad:

Tortas (residuos)	100 Kg/día
Impresión	25 Kg/día
Sellado	20 Kg/día

Polietileno de alta densidad:

Tortas	25 Kg/día
Impresión	5 Kg/día
Sello	5 Kg/día

Poliestireno:

Tortas	10 Kg/día
--------	-----------

### Producción mensual

Polietileno L.D.:  $3000 \text{ Kg} + 750 \text{ Kg} + 600 \text{ Kg} = 4350 \text{ Kg}$

Polietileno H.D.:  $750 \text{ Kg} + 150 \text{ Kg} + 150 \text{ Kg} = 1050 \text{ Kg}$

Polestireno:  $300 \text{ Kg} + 150 \text{ Kg} + 600 \text{ Kg} = 1050 \text{ Kg}$

### Demanda semestral de producto reciclado

Polietileno L.D.: 10 Ton. para fundas plásticas

Polietileno L.D.: 18 Ton. para tuberías

Polietileno H.D.: 2 Ton. para productos por inyección

Poliestireno: 5 Ton. para recipientes

Como podemos apreciar en éste cuadro de producción, la demanda de polietileno L.D. reciclado representa un porcentaje mayor del 50 % de los materiales termoplásticos reciclados. Con éste ejemplo no queremos presentar un esquema típico de producción a nivel general de las industrias plásticas, ya que éstas cantidades pueden variar en base a capacidad de reciclaje de las plantas o sencillamente a un patrón de productos a los que se dedica a procesar una pequeña o gran industria de plásticos.

El polietileno de baja densidad es un termoplástico que se utiliza mucho para reciclaje en las industrias plásticas de Guayaquil y de todo el país. Existen muchas plantas en Guayaquil que reciclan polietileno L.D., ahora veamos los niveles de producción que tienen algunas de éstas empresas, las mismas que las clasificaremos por la capacidad de reciclado, puesto

que por tratarse de datos confidenciales no podremos mencionar el nombre de dichas empresas.

- Planta con capacidad de reproceso de 100 Kg/hr.

Material termoplástico reprocesado promedio: 4  
Ton/mes

Polietileno L.D.: 420 Kg/mes, para envases  
plásticos.

Polietileno H.D.: 13440 kg/mes, para jabas de  
gaseosas.

Poliestireno: 140 kg/mes, para envases.

Porcentaje de polietileno L.D. sobre el total = 3%

- Planta con capacidad de reproceso de 150 Kg/hr.

Material termoplástico reprocesado promedio: 7  
Ton/mes

Polietileno L.D.: 11600 Kg/mes, para envases y  
fundas plásticas.

Polietileno H.D.: 4500 Kg/mes, para utensilios  
domésticos.

Poliestireno : 2000 Kg/mes, para envases y cajas.

Porcentaje del Polietileno L.D. sobre el total =  
64%.

- Planta con capacidad de reproceso de 200 Kg/hr.

Material termoplástico reprocesado promedio: 5  
Ton/mes

Polietileno L.D.: 6000 Kg/mes, para envases y

fundas plásticas.

Polietileno H.D.: 7000 Kg/mes, para jabas de gaseosas.

Porcentaje de Polietileno L.D. sobre el total = 46%

### 3.2 PARAMETROS CONSIDERABLES EN EL PROCESO

En el proceso de producción de polietileno reciclado, existen muchos parámetros técnicos que debemos considerar para obtener un buen resultado en calidad de producto con un proceso rápido y óptimo.

Condiciones Ideales de Temperatura.-

En un proceso de extrusión de termoplásticos es de indispensable requerimiento una distribución uniforme de temperatura en el cilindro, para obtener una buena plastificación del material a ser procesado.

Las temperaturas adecuadas para la plastificación de los diferentes termoplásticos, se encuentran tabuladas en cartas técnicas de producción hechas por los fabricantes de la maquinaria o por los fabricantes de la materia prima. Generalmente se dan los datos de temperatura de entrada de material y temperatura de material fundido a la salida del cabezal, con éstos dos datos, se divide el diferencial de temperatura en zonas de calefacción, con crecimiento uniforme de temperatura para así lograr un proceso de plastificación y extrusión

uniformes. Las fallas en el producto son muy notables cuando éstas temperaturas no son controladas con cuidado en el proceso.

#### Velocidad de Giro del Husillo.-

La gama de velocidades de giro del husillo está dada en un rango de 0 a 100 RPM, cuyo valor apropiado está dado para cada material termoplástico. De la velocidad del husillo depende directamente la capacidad de plastificación, la misma que puede acelerar el proceso y al mismo tiempo dar lugar a nuevos espesores de material. La velocidad del husillo es un parámetro en el que se tiene que considerar límites, puesto que a una velocidad muy grande, la plastificación no se realiza en un porcentaje considerable del material, esto se refiere a que las temperaturas de calefacción no van a poder entregar el calor necesario debido al paso rápido del material por las diferentes zonas del cilindro.

#### Calidad del Material.-

Enfocar la calidad de material para reciclaje, contempla principalmente el punto de la limpieza del mismo en el proceso de extrusión. La materia prima debe entrar a la extrusora sin partículas de basura y completamente limpia, de ahí que es de vital importancia el lavado del material recolectado.

En calidad de material también debemos considerar el factor de la humedad del material, ésta humedad debe ser sustraída del material por un proceso de secado del mismo. La materia prima a reciclar con presencia de humedad, produciría efectos en el producto terminado, tales como burbujas de aire, grietas, cambios de color, etc.

#### Condiciones Ideales de Enfriamiento.-

Las condiciones ideales de enfriamiento están dadas en función directa de la demanda de calor para el proceso de extrusión. El sistema de enfriamiento generalmente es por aire, compuesto por ventiladores centrífugos independientes, para cada una de las zonas de calefacción del cilindro. Los ventiladores son controlados electricamente por sensores de temperatura o termocuplas, a fin de evitar el sobrecalentamiento del cilindro y con ésto la mala plastificación del material.

El sistema de enfriamiento por aire puede ser combinado con un enfriamiento por agua, que a su vez realiza un posenfriamiento del material cuando sale del cabezal de la extrusora. Esta agua de enfriamiento es tomada de torres de enfriamiento de la planta, o puede ser agua a temperatura ambiental de alguna línea de abastecimiento. El sistema de

posenfriamiento consiste de una piscina de enfriamiento que nace a la descarga del material por el cabezal, para que así se moje el material y baje su temperatura de material fundido, y luego poder ser secado y cortado posteriormente.

### 3.3 ANALISIS TECNICO DEL PROCESO

En el proceso de Reciclaje de Polietileno L.D., se pueden realizar dos tipos de análisis, dependiendo de la fuente de la materia prima que generará dicho proceso, en nuestro caso particular, polietileno de baja densidad.

Un análisis corto y más directo sobre un proceso de extrusión en regeneración, es el que se da en plantas de reciclaje que no trabajan con material recolectado de desperdicios a nivel urbano. Quiero decir un proceso más corto ya que se eliminan tres pasos, que son, corte, lavado, y secado, los mismos que se presentan como indispensables en un proceso de reciclaje con recolección de material a nivel urbano. Sin embargo como los dos tipos de análisis llegaran a un proceso de extrusión similar, analizaremos el proceso más largo y luego enfatizaremos las diferencias y variaciones de los dos procesos en dependencia al destino o función posterior del material reciclado.

La secuencia del proceso de reciclaje del polietileno L.D., empieza cuando el material ha sido recolectado, es por ésto que la recolección suele ser considerada también un paso del proceso de reciclaje, los pasos siguientes pueden variar en su orden, pero ninguno de ellos puede ser eliminado ya que se obtendrían malos resultados de calidad y dificultades en el proceso. El proceso empieza con el ordenamiento (fotografía #1) del material a reciclar por colores, tamaños, formas, etc.

Luego del ordenamiento de los artículos o desperdicios, éstos son llevados hacia una máquina de corte (fotografía #2), en donde el material es reducido a trozos más pequeños por la acción de cuchillas de acero. Generalmente el material entra por la parte superior de la máquina, y luego de ser cortado cae por gravedad en recipientes que son transportados a la máquina de Trituración (fotografía #3). Es un molino de martillos, que tritura y corta en pedazos muy pequeños el material plástico, que es alimentado por una tolva en la parte superior del molino.

El material luego de ser triturado cae por gravedad en recipientes móviles que van a vertirse en tanques de lavado (fotografía #4), éstos tanques llenos de agua y sosa caústica al 5 %, limpian el material por

un lapso de treinta minutos, para lograr el desprendimiento de impurezas del material plástico.

El proceso continúa con un lavado centrifugo del material (fotografía #5) que limpia con agua a presión sobre un cilindro rotatorio en el cual el material desciende y se descarga húmedo y limpio. Luego el material pasa al secador de dosificadores de embudo (fotografía #6), en donde se hace circular el material por una tubería, el mismo que es secado con el aire caliente que lo empuja, los embudos dosifican la cantidad de material a ser secado, impidiendo la aglomeración y estancamiento del material.

El polietileno de baja densidad está listo para pasar al proceso de extrusión, el mismo que arranqua cuando la extrusora esté trabajando a las debidas temperaturas de trabajo ( $T_m=180\text{ C}$  ;  $T_o=30\text{ C}$ ) y las RPM del husillo adecuadas.

En el proceso de extrusión, trabajamos con una temperatura de entrada o de carga de  $30\text{ C}$ , y una temperatura de salida de masa fundida de  $180\text{ C}$ . En la fotografía #8 podemos ver una máquina de inyección por extrusión, que realiza una combinación de los dos procesos, logrando obtener directamente el producto o artículo dado por el molde de inyección, en la fotografía #9 se puede ver el producto terminado

obtenido del molde de inyección al final del proceso.

Una variación que se da en función del tipo de reciclaje, y que contempla la función final del material, es el paso final de un proceso de extrusión puro en el que se obtiene materia prima reciclada, luego enfriada en enfriadores o piscinas de enfriamiento, después es secada por un ventilador, y finalmente es cortada y recolectada en recipientes para ser vendida o pasar a la línea de producción. Todo éste proceso lo podemos apreciar en las fotografías # 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

En todos los pasos mencionados con anterioridad es de vital importancia, controlar muchos aspectos del proceso en lo que se refiere a procedimiento y seguridad. En el primer paso de corte se debe controlar el proceso con una alimentación pausada de material y con mucho cuidado para el operario que deposita el material, pues ésta es la zona de mayor peligro del proceso. De igual forma en el paso de trituración, éste punto debe ser considerado.

## CAPITULO IV

### ANALISIS ECONOMICO

#### 4.1 ESTIMACION DE COSTOS DE PRODUCCION

Como parte del análisis económico del proyecto, siempre es indispensable considerar los costos de producción, ya que éstos son los que van a dar la pauta de un balance entre ingresos y egresos del proceso, y con esto será posible determinar si estamos trabajando en un proyecto rentable, o no justificable económicamente.

El análisis de costos de producción para el proceso en cuestión, lo hemos realizado contemplando los siguientes valores:

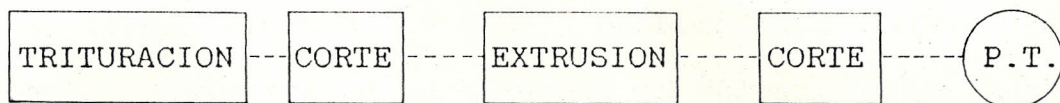
- Costo Energético.
- Costo Operacional.
- Costo de Materia Prima.
- Costo de Recolección o Envase.

Todos éstos valores serán analizados, para determinar utilidades netas de tres procesos diferentes de Reciclaje.

El proceso # 1 es un proceso de reciclaje por extrusión a nivel interno industrial, el mismo que

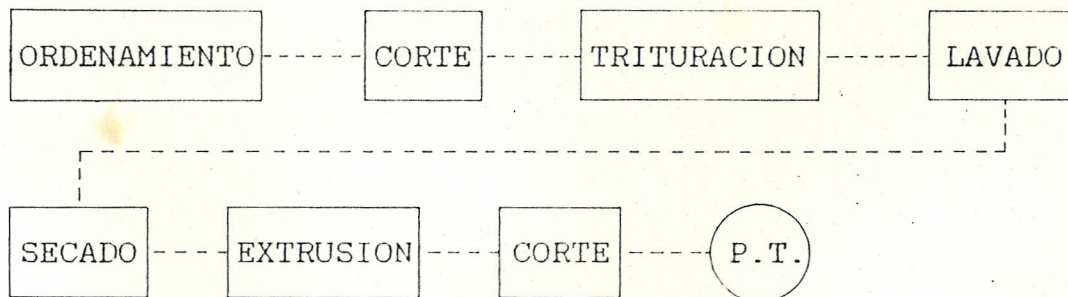
consideramos más directo e inmediato. Este proceso es muy común en grandes plantas de plásticos que reciclan sus propios residuos y los reutilizan o los venden.

Proceso # 1:



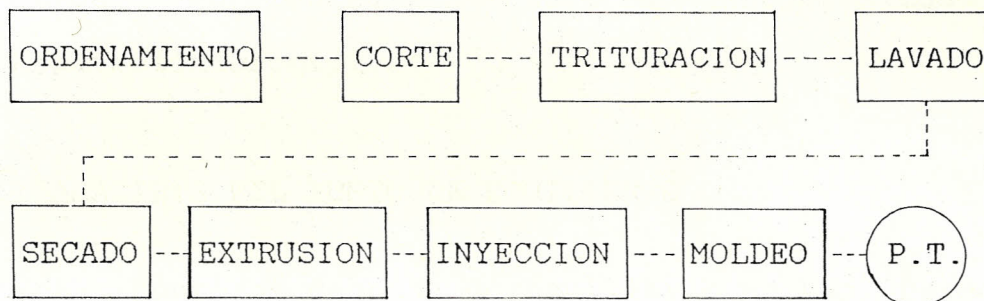
El proceso # 2, es un proceso de reciclaje por extrusión a nivel industrial que incluye material de reproceso recolectado a nivel urbano. Hay que enfatizar la diferencia entre el proceso # 1 y el # 2, la misma que se presenta en base a la calidad necesaria de la materia prima a reprocesar. Para lograr el reacondicionamiento de la materia prima se deben realizar pasos no contemplados en el proceso # 1 que demandan mayor capacidad energética y operacional.

Proceso # 2:



El proceso # 3, es un proceso de reciclaje por extrusión combinado con inyección, en éste proceso se realizan los mismos pasos dados en el proceso de reciclaje con materia prima recolectada a nivel urbano, con la adición de el paso de inyección y el de moldeo, es por ésto que el mismo va a demandar de sistemas oleohidráulicos, bombas controladas por motores eléctricos para ajuste en moldeo, y un motor para el sistema de lubricación.

Proceso # 3:



Cuadros de Evaluación de Costos de Producción:

DATOS:

ENERGIA: Kw/hr = \$70

OPERACION: hr/hombre = \$300

Kg PELD = \$600

Fundas = \$30

## 4.2 RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Cómo parte de la evaluación económica del proyecto en cuestión, es de vital importancia el análisis de la rentabilidad del mismo, puesto que mediante ésta podemos apreciar los porcentajes de utilidad que genera dicho proyecto y las diferencias generadas por las variaciones en el proceso. Haciendo un análisis de utilidades de los procesos, cuyas variaciones han sido especificadas con anterioridad (4.1), podemos hacer una selección conveniente de cualquiera de ellos, en función de nuestra disponibilidad y aspiración económica.

### 4.2.1 ANALISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de demanda de equilibrio es una relación para obtener la demanda de producción necesaria, para lograr una compensación de los gastos fijos y variables totales.

El punto de equilibrio relaciona los gastos fijos con el margen de contribución a los gastos fijos, donde éste último está dado por la diferencia entre el precio unitario de venta y los gastos variables unitarios. Se denomina gastos fijos, a aquellos gastos que deben ser siempre considerados necesarios en el desarrollo de un proyecto. En éstos se pueden presentar variaciones en su valor

total, debido a acciones externas, ajenas a decisiones de la empresa, pero siempre mantendrán un factor constante, dado por un nivel de producción previsto.

Los gastos variables unitarios son valores que siendo elementos complementarios del proceso, forman un todo con la maquinaria para lograr la obtención de un producto terminado. En los gastos variables unitarios no se puede establecer un factor de participación de los mismos en el proceso, debido a las variaciones de producción y a los ajustes realizados en la maquinaria para cubrir la demanda del producto.

El análisis del punto de equilibrio de un proyecto de inversión tiene un comportamiento dinámico y económico, y que considerado con un adecuado criterio puede ser la solución o el rechazo de muchos proyectos de inversión.

El precio, lejos de ser una constante, manejado adecuadamente puede definirnos distintas condiciones de equilibrio que nos cambien radicalmente la estructura de los números en un proyecto.

La variación de la Demanda es un factor que influye directamente en el comportamiento de los ingresos,

para nuestro análisis consideraremos dos casos, el primero considera una variación lineal de los ingresos, manteniendo un precio constante. El segundo caso analiza la variación de la demanda en función del precio obteniendo una curva "D - p" en forma de hipérbola.

Es relevante notar, que el efecto Precio como función de la demanda desplaza los puntos de equilibrio hacia condiciones diferentes, y que existiendo dos puntos de equilibrio, uno para precios relativamente altos, y otro para precios relativamente bajos, lo importante es mantenerse en el punto medio de máxima utilidad  $P_m$ .

1er CASO:

- Precio constante.
- Costos variables lineales en el volumen de producción.
- Producción = Venta.

De donde:

GV = Gastos Variables Totales (lineales)

GF = Gastos fijos Totales (constantes)

P = Precio (constante)

D = Demanda (variable)

I = Ingreso (I = P.D)

gv = Gastos variables unitarios

$$PE = \frac{GF}{P - gv}$$

Cuando los ingresos no alcanzan ni para pagar los gastos fijos hay que liquidar. La solución sería o bien bajar los gastos fijos o subir los precios.

2do CASO:

- Precio Variable; D = f(P)

- D = a.P<sup>-2</sup>

$$I = P.D = P.a.P^{-2} = \frac{a}{P}$$

$$\text{Costo Total} = CT = GF + GV = GF + gv.D = GF + \frac{gv.a}{P}$$

$$\text{Utilidad} = U = I - CT = \frac{a}{P} - GF - \frac{gv.a}{P}$$

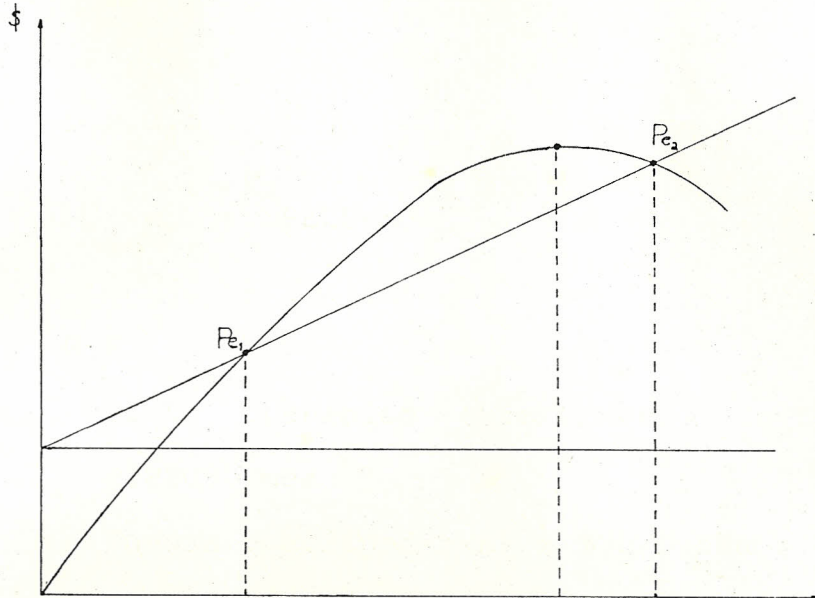
En el PE ----> U = 0

$$\frac{a}{P} - GF - \frac{gv.a}{P} = 0$$

$$GF.P^2 - a.P + gv.a = 0 \text{ ----> } P = a \bar{+} \frac{\sqrt{a^2 - 4.GF.gv.a}}{2.GF}$$

Figura # 4

Curva de Gastos vs Demanda y su Punto de Equilibrio



El punto de equilibrio medio de máxima utilidad sería:

$$\frac{dU}{dP} = 0 \text{ ----> } -\frac{a}{P^2} + \frac{2.gv.a}{P^3} = 0$$

$$\frac{2.gv.a}{P} = \frac{a}{P^2} \text{ ----> } P = 2.gv ; P_m \equiv 2.gv$$

Proceso # 1.

1er Caso:  $I \equiv P.D$

g.v.u.:

$$\begin{array}{l} - \text{Kg} \\ \text{PELDrec.} \end{array} = \$600$$

$$\begin{array}{l} - \text{Energía/Kg} \\ \text{PELDrec.} \end{array} = \$3752 : 100 = \$37.52/\text{Kg} \quad \text{PELDrec.}$$

p.v.u.:

$$\begin{array}{l} - \text{Kg} \\ \text{PELDrec.} \end{array} = \$1200$$

G.F.:

$$\begin{array}{l} - \text{Costo Operación (hrs/hombre)} : 1200 \times 160 = \\ \text{\$192000/mes} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} - \text{Fundas} : 2.2\text{fundas/hr} \times \$30/\text{funda} \times 160\text{hr/mes} = \\ \text{\$10680/mes} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} - \text{Desperdicios} : 2 \text{ Kg/hr} \times \$600/\text{Kg} \times 160 \text{ hr/mes} = \\ \text{\$192000/mes} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} - \text{Extras} : \\ \text{\$100000/mes} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} - \text{Depreciación} : \\ \text{\$500000/mes} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} - \text{G.F.Total} = \\ \text{\$994680} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{D.E.} = \frac{994680}{1200 - 638} = 1770 \text{ Kg/mes} \end{array}$$

$$\text{2do Caso: } I = P.D ; D = a.P^2 ; I = \frac{a}{P}$$

$$\text{P.M.} = 2.(g.v.u.) = 2 \times 638 = \$ 1276/\text{Kg}$$

Proceso # 2.

1er Caso:  $I = P.D$

g.v.u.:

$$\begin{array}{l} - \text{Kg} \quad \quad \quad = \$600 \\ \quad \quad \quad \text{PELDrec.} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} - \text{Energía/Kg} \quad \quad \quad = \$47.13 \\ \quad \quad \quad \text{PELDrec.} \end{array}$$

p.v.u.:

$$\begin{array}{l} - \text{Kg} \quad \quad \quad = \$1200 \\ \quad \quad \quad \text{PELDrec.} \end{array}$$

G.F.:

$$\begin{array}{l} - \text{Costo Operación (hrs/hombre):} \quad 2100 \times 160 = \\ = \$336000/\text{mes} \end{array}$$

$$- \text{Fundas: } \$10680/\text{mes}$$

$$- \text{Desperdicios: } \$192000/\text{mes}$$

$$- \text{Extras: } \$200000$$

$$- \text{Depreciación: } \$900000/\text{mes}$$

$$- \text{G.F.Total} = \$1638680$$

$$\text{D.E.} = \frac{1638680}{1200 - 647.13} = 2964 \text{ Kg/mes}$$

2do Caso:  $I = \frac{a}{P}$

$$- \text{P.M.} = 2 \times \text{g.v.u.} = \$1294/\text{Kg}$$

Proceso # 3.

1er Caso: I = P.D.

g.v.u.:

$$\begin{array}{l} - \text{Kg} \quad \quad \quad = \$600 \\ \quad \quad \quad \text{PELDrec.} \end{array}$$

$$- \text{Energía/Kg} \quad \quad \quad = \$101.85$$

$$\begin{array}{l} \text{p.v.u.:} \quad - \text{Kg} \quad \quad \quad = \$1800 \\ \quad \quad \quad \text{PELDfab.} \end{array}$$

G.F.:

$$- \text{Costo Operación: } 2400 \times 160 = \$384000/\text{mes}$$

$$\begin{array}{l} - \text{Desperdicios: } 5 \text{ Kg/hr} \times \$600/\text{Kg} \times 160 \text{ hrs/mes} = \\ = \$480000 \end{array}$$

$$- \text{Extras: } \$250000/\text{mes}$$

$$- \text{Depreciación: } \$1200000/\text{mes}$$

$$- \text{G.F.Totales} = \$ 2314000/\text{mes}$$

$$\text{D.E.} = \frac{2314000}{1800 - 701.85} = 2108 \text{ Kg/mes}$$

$$\text{2do CASO: } I = \frac{a}{P}$$

$$\text{P.M.} = 2 \times \text{g.v.u.} = \$1404/\text{Kg}$$

#### 4.2.2 UTILIDADES

Utilidad (U):  $U = (p.v.u. - g.v.u.) \times (D - D.E.)$

Proceso #1: Demanda Promedio (D):  $D = 80 \times 160 =$   
12800 Kg/mes

$$U1 = (1200 - 638) \times (12800 - 1770)$$

$$U1 = \$ 6198860$$

Proceso #2: Demanda Promedio (D):  $D = 80 \times 160 =$   
12800 Kg/mes

$$U2 = (1200 - 647.13) \times (12800 - 2964)$$

$$U2 = \$ 5438029$$

Proceso #3:  $D = 60 \times 160 = 9600$  Kg/mes

$$U3 = (1800 - 701.85) \times (9600 - 2108)$$

$$U3 = \$ 8227340/\text{mes}$$

#### 4.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO DE ANALISIS

Ventajas:

- Obtención de Demandas de equilibrio, y utilidades netas del proyecto contemplando variaciones de demanda en función del precio unitario de venta.
- Selección de proceso de Reciclaje de Termoplásticos, mediante el análisis de costos de producción.

- Análisis de Rentabilidad de procesos de Reciclaje de Termoplásticos.
- Optimización de procesos por análisis de secuencias.
- Acceso a datos experimentales de diseño.

Desventajas:

- No contempla pronósticos de rendimiento de utilidades a futuro.

## CONCLUSIONES

- 1.- El beneficio económico obtenido por el proceso de reciclaje por extrusión, se origina en base de la reutilización de los termoplásticos, que logra como se ha demostrado, un margen de utilidad elevado y nuevas fuentes de trabajo.
  
- 2.- Los montos reconocidos para adquisición de materia prima a utilizarse en procesos posteriores al reciclaje, son notablemente reducidos, mediante la obtención de la misma, con el proceso de reciclaje por extrusión, que a su vez genera una buena rentabilidad, tal como la obtenida en el análisis económico del proceso #3.
  
- 3.- Del análisis económico sobre el proceso de reciclaje a nivel urbano (proceso #2), se puede concluir la mejor rentabilidad obtenida, en función de la recolección de la materia prima, sobre la que no se realizó alguna inversión. Sin embargo cabe resaltar que el proceso de reciclaje en sí, en éste caso, demanda mayores gastos en energía y operación, por lo que desde el punto de vista técnico del proceso, éste es menos rentable que los otros dos analizados.

- 4.- El proceso de Reciclaje, por no demandar en la mayoría de los casos, la inversión en materia prima, económicamente es más accesible a nivel de pequeñas industrias dedicadas al reciclaje, contando siempre con un eficiente sistema de recolección diferenciada.
  
- 5.- Desde el punto de vista de un beneficio a nivel industrial y doméstico, podemos decir que el avance y el progreso técnico de éste proceso, genera mayor independencia, en diferentes áreas, de otros materiales de uso industrial y doméstico promoviendo así el remplazo de los mismos por materiales termoplásticos con buenas propiedades mecánicas.
  
- 6.- Una conclusión real, obtenida en función de análisis de demandas de producción sobre seis plantas de plásticos con reciclaje en Guayaquil, y también sobre patrones constantes en la producción de materia prima reciclada o en artículos plásticos, es la presencia del Polietileno de baja densidad como el termoplástico de mayor demanda a nivel industrial y doméstico en la provincia del Guayas.
  
- 7.- Es necesario anotar que los valores obtenidos en los cálculos de diseño, son aceptables en la práctica, en comparación con patrones en máquinas de extrusión de plásticos. Por los resultados obtenidos puedo

concluir que el procedimiento y ecuaciones dadas para el diseño, son de aplicación práctica para diseño de maquinaria.

### RECOMENDACIONES

- 1.- Este tópico, podría servir de guía, consulta e información técnica y económica del proceso de reciclaje de termoplásticos en Guayaquil.
- 2.- Hacer un estudio económico del proyecto mediante análisis de demandas con variaciones a futuro en función del precio, para actualizar perspectivas.
- 3.- En base a la mayor rentabilidad obtenida del análisis económico de tres tipos de procesos, sería conveniente realizar un análisis técnico y una evaluación económica, contemplando financiamiento, del proyecto de inyección por extrusión en reciclaje.
- 4.- Se recomienda realizar un proyecto de diseño y construcción de una máquina de extrusión de plásticos, contemplando el financiamiento para la construcción de la misma y compararlo con el financiamiento para la compra de la máquina construida.

CUADRO No 2

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS TERMOPLASTICOS

TERMOPLASTICO	Densidad (g/cm )	Calor Específico (cal/°C.g)	Conductividad Térmica 10 cal.°C seg.cm	Temperatura de Plastificación (°C)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm )	Módulo de Elasticidad (Kg/cm )
Polietileno baja densidad	0.91	450	8	160	100	45000
Polietileno alta densidad	0.95	650	11.70	190	310	2000
Poliestireno	1.45	6.50	18	190	180	8000
Polipropileno	0.90	450	2.80	200	350	13000
PVC Rígido	1.44	60	4.30	170	480	34000
PVC Plastificada	1.25	350	3.50	160	180	--
Polibutileno	0.91	0.45	--	160	290	3000
P.P. Copolímero	0.90	0.50	3	230	270	10000

TABLA N.º 3

Características de las máquinas de extrusión de un husillo

Tipo de máquina	Husillo			Producción, kg h	Potencia, kw	
	Diámetro	L:D	Velocidad de giro, r.p.m.		de la calefacción	del motor
República Federal Alemana						
Alpine						
HS	9	11:1	750-1000	10	—	0,3-0,5
H18B	17	12:1	100-1000	—	—	1-3
H25B	25	10:1	150-800	22	—	1,6-4,0
HC35	35	12:1	150-600	50	—	2,5-10
H65C	65	7,5:1	150-550	90	—	6,5-30
H65C	65	12:1	105-400	160	—	12-40

Barmag						
3E	30	21:1	24-120	10	3,5	4,5
4E	45	21:1	20-100	25	8,5	9
5E	50	21:1	20-100	34	11	13,5
6E	60	21:1	18-90	50	15	18
9E	90	21:1	16-80	145	30	40
12E	120	21:1	12-60	226	50	75
15E	150	21:1	10-50	340	70	130
20E	200	21:1	10-40	540	100	175
25E	250	21:1	9-36	900	170	300
30E	300	21:1	8-32	1300	200	350

Berstorff						
K30	30	(20-25):1	15-90	15	5	1,5
K-45	45	(20-25):1	15-90	40	8	7,5
K-60	60	(20-25):1	15-90	60	15	18
K-90	90	(20-28):1	8,5-85	150	22	30
K-120	120	(20-28):1	7-70	300	—	55
K-150	150	(20-28):1	6,5-65	500	35	90
K-200	200	(20-28):1	5-50	750	50	120
K-225E	225	35:1	hasta 90	1800	—	—

Reifenhäuser						
BT	13	20:1	20-200	2,2	0,7	1,2
S30RG	30	20:1	25-110	—	3,3	2,5
S45	45	20:1	18-81	20	5,3	5
S60	60	20:1	10-90	40	10,8	14
S90	90	20:1	22-80	120	21	35
S120	120	20:1	3-57	190	25	75
S150	150	20:1	4,5-45	220	37	100

Continuación de la tabla

Tipo de máquina	Husillo			Producción, kg h	Potencia, kw	
	Diámetro	L:D	Velocidad de giro, r.p.m.		de la calefacción	del motor
Inglaterra						
Bone Brothers						
1 <sup>1/4</sup>	20	20:1	70	2,7	2	0,7
1 <sup>1/2</sup>	49	20:1	125	18	7,5	4,5-12
2 <sup>1/2</sup>	60	20:1	125	68	24	15-22
3 <sup>1/2</sup>	90	20:1	125	160	40	25-55
4 <sup>1/2</sup>	115	20:1	125	270	54	55-125
6	150	20:1	125	450	84	80-220
8	200	20:1	125	900	—	120-360

Italia						
Bielloni						
K-30	30	(24-28):1	21-80	11	2	2,2
T45	45	(22-28):1	23-85	25	4	7,5
T60	60	(22-28):1	21-80	49	8	15
K-80	80	(22-26):1	17-65	70	15	28
K-100	100	(22-26):1	16-60	100	20	45
K-120	120	(20-26):1	14-55	130	30	55

Dolci						
20S	20	20:1	20-100	5	0,7	1,2
35S	35	22:1	16-18	24	3	3
45T	45	(22-26):1	14-114	36	6-8	6-7,5
60T	60	(22-26):1	14-114	50	9-12	7,5-10
75S	75	(22-28):1	10-116	120	10,8-13,8	18-20
90S	90	(22-26):1	10-80	140	17-21	30-36
120S	120	(22-26):1	10-80	330	24-30	45-60
150T	150	(24-28):1	5-85	550	60-72	115

Japón						
Ikegai Iron Works						
S40-22	40	22:1	10-60	20	6,5	3,6
S65-22	65	22:1	10-60	60	11	11
S90-22	90	22:1	10-60	130	32	30
S115-22	115	22:1	10-60	200	35	45-55
S125-22	125	22:1	10-60	250	60	55-75
S150-22	150	22:1	10-60	370	80	90-115
S200-20	200	20:1	10-60	650	140	115-150

Estados Unidos de América						
Thermoplastics Equipment Corporation						
Standart Idem	25	21-24, 30:1	Hasta 120	12	6	1,5
•	30	21, 24, 30:1	• 120	63	13	18
•	60	21, 24, 30:1	• 120	104	22	37
•	90	21, 24, 30:1	• 120	215	31	55
•	115	21, 24, 30:1	• 120	360	45	115
•	150	21, 24, 30:1	• 120	680	67	220
•	200	21, 24, 30:1	• 100	1130	150	450
•	250	21, 24, 30:1	• 80	1360	190	600
•	300	21, 24, 30:1	• 70	1600	230	740

CUADRO N°3

RESULTADOS DE DISEÑO

HUSILLO	D (mm)	t (mm)	h (mm)	e (mm)	Nº canales	L (mm)	Holgura radial (mm)	K (mm)	Q (Kg/hr)	N (Kw)	Tensión máxima (Nt/m )	f (mm)	Q̇ (Kcal/seg)
Resultados	63	63	4	6.10	1	1580	0.10	105	96	15	19.40 x	0.07895	1921

CILINDRO	Di (mm)	L (mm)	Do (mm)
Resultados	63.2	1580	84

CUADRO No 4

COSTOS DE PRODUCCION

PROCESO # 1

\* Energía: Kw/hr = S/. 70 ; Capacidad = 100 Kg/hr

P.E.L.D.	Motor de Ciclón	Motor de Trituradora	Motor de Molino	Motor de Extrusión	Motor de Secadora	Motor de Calefacción	Motores de Enfriamiento	Potencia Total (Kw/hr)	Costo Total (S/.)
Demanda Potencia (Kw/hr)	2.208	2.944	14.72	29.44	1.1	1.47	1.104	53.6	3752

COSTO MENSUAL DE ENERGIA: (160 hrs. laborables)

C.M.E. = S/. 600320.00

\* Operación: hora/hombre = S/. 300 ; Kg. P.E.L.D. = S/. 600 ; Fundas = S/. 30

P.E.L.D.	Operador Supervisor	Control Alimentación	Recepción de Producto	Materia Prima	Fundas	Desperdicio	Costo Total (S/.)
horas hombre	1	1	2	--	--	--	1200
Kg. P.E.L.D.	--	--	--	100	--	--	60000
Fundas	--	--	--	--	2.2	--	66
Kg. Desperdicio	--	--	--	--	--	2	1200

COSTO MENSUAL DE OPERACION: (160 hrs. laborables)

C.M.O. = S/. 9`994560.00

CUADRO N°5

COSTOS DE PRODUCCION

PROCESO # 2

\* Energía: Kw/hr = S/. 70 ; Capacidad = 100 kg/hr

P.E.L.D.	Motor de Trituradora	Motor de Molino	Motor de Lavadora	Motor de Secadora	Motor de Ventilador	Motor de Extrusión	Motor de Secado	Motor de Calefacción	Motores de Enfriamiento	Potencia Total (Kw/hr)	Costo Total (S/.)
Demanda Potencia (Kw/hr)	7.36	14.72	8.83	1.1	2.21	29.4	1.1	1.47	1.104	67.33	4713

COSTO MENSUAL DE ENERGIA: (160 hrs. laborables)

C.M.E. = S/. 754080.00

\* Operación: hora/hombre = S/. 300 ; Kg. P.E.L.D. = S/. 600 ; Fundas = S/. 30

P.E.L.D.	Operador Supervisor	Operador Lavado y Secado	Operador Trituración	Control de Alimentación	Recepción de Producto	Materia Prima	Fundas	Desperdicio	Costo Total (S/.)
horas hombre	1	1	2	1	2	--	--	--	2100
Kg. P.E.L.D.	--	--	--	--	--	100	--	--	60000
Fundas	--	--	--	--	--	--	2.2	--	66
Kg. Desperdicio	--	--	--	--	--	--	--	2	1200

COSTO MENSUAL DE OPERACION: (160 hrs. laborables)

C.M.O. = S/. 10`138560.00

CUADRO N°6

COSTOS DE PRODUCCION

PROCESO # 3

\* Energía: Kw/hr = S/. 70 ; Capacidad = 70 Kg/hr

P.E.L.D.	Motor de Trituradora	Motor de Molino	Motor de Lav.	Motor de Sec.	Motor de Ventilador	Motor de Extrus.	Motor de Sec.	Motor de Calef.	Motores de Enf.	Motor de Bomba Hidra.	Motor de Ajuste	Motor de Lub.	Potencia Total (Kw/hr)	Costo Total (S/.)
Demanda Potencia (Kw/hr)	7.36	14.72	8.83	1.1	2.21	29.4	1.1	1.47	1.104	74	4	0.185	145.5	10185

COSTO MENSUAL DE ENERGIA: (160 hrs. laborables)

C.M.E. = S/. 1`629600.00

\* Operación: hora/hombre = S/. 300 ; Kg. P.E.L.D. = S/. 600

P.E.L.D.	Operador Supervisor	Operador Lavado y Secado	Operador Trit.	Control de Alim.	Recepción de Producto	Materia Prima	Desp.	Costo Total (S/.)
horas hombre	2	1	2	1	2	--	--	2400
Kg. P.E.L.D.	--	--	--	--	--	70	--	42000
Kg. Desperdicio	--	--	--	--	--	--	5	3000

COSTO MENSUAL DE OPERACION: (160 hrs. laborables)

C.M.O. = S/. 7`584000.00

FIG. 5 ESQUEMA DE MATERIALES PARA PLANTA DE RECUPERACION

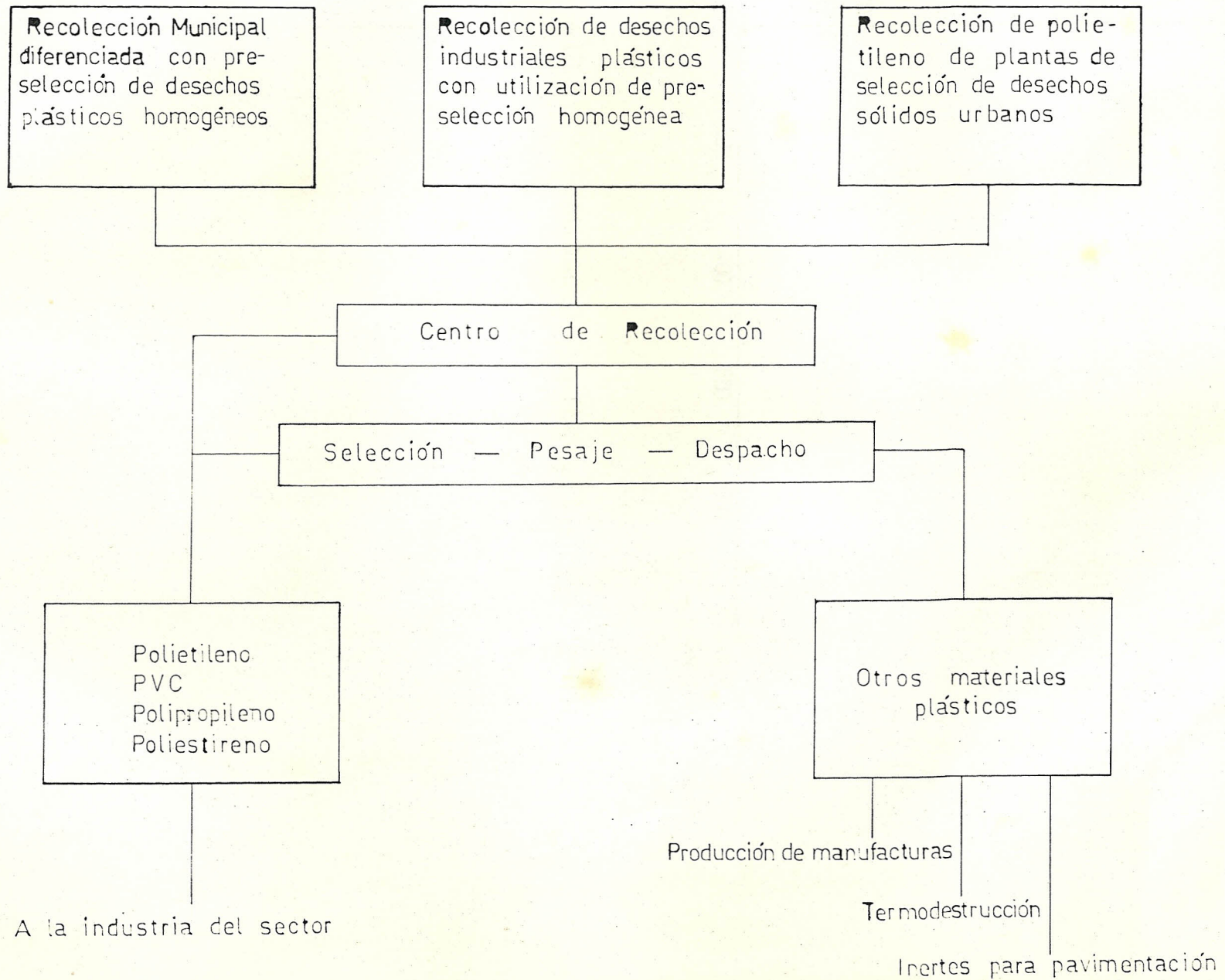


FIG. 6

CALIDAD DE MATERIAL vs COSTO

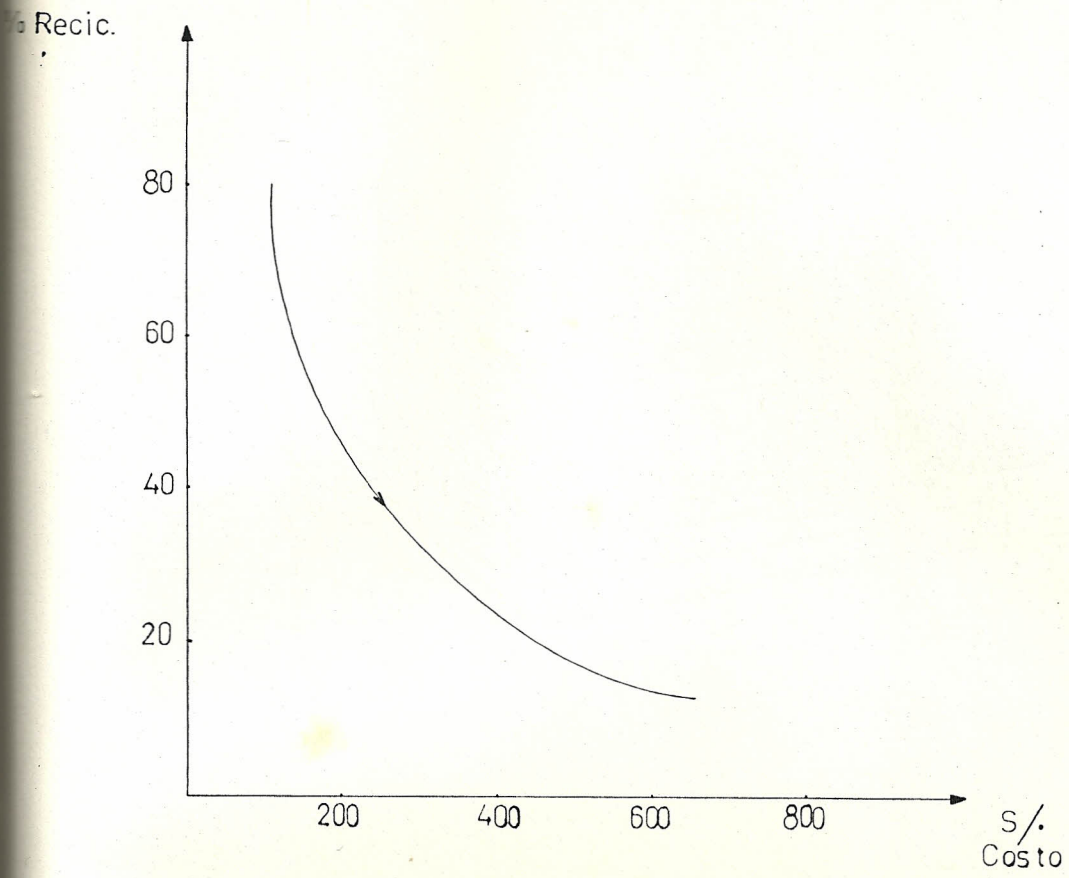


FIG. 7

CALIDAD DE MATERIAL vs PROPIEDADES

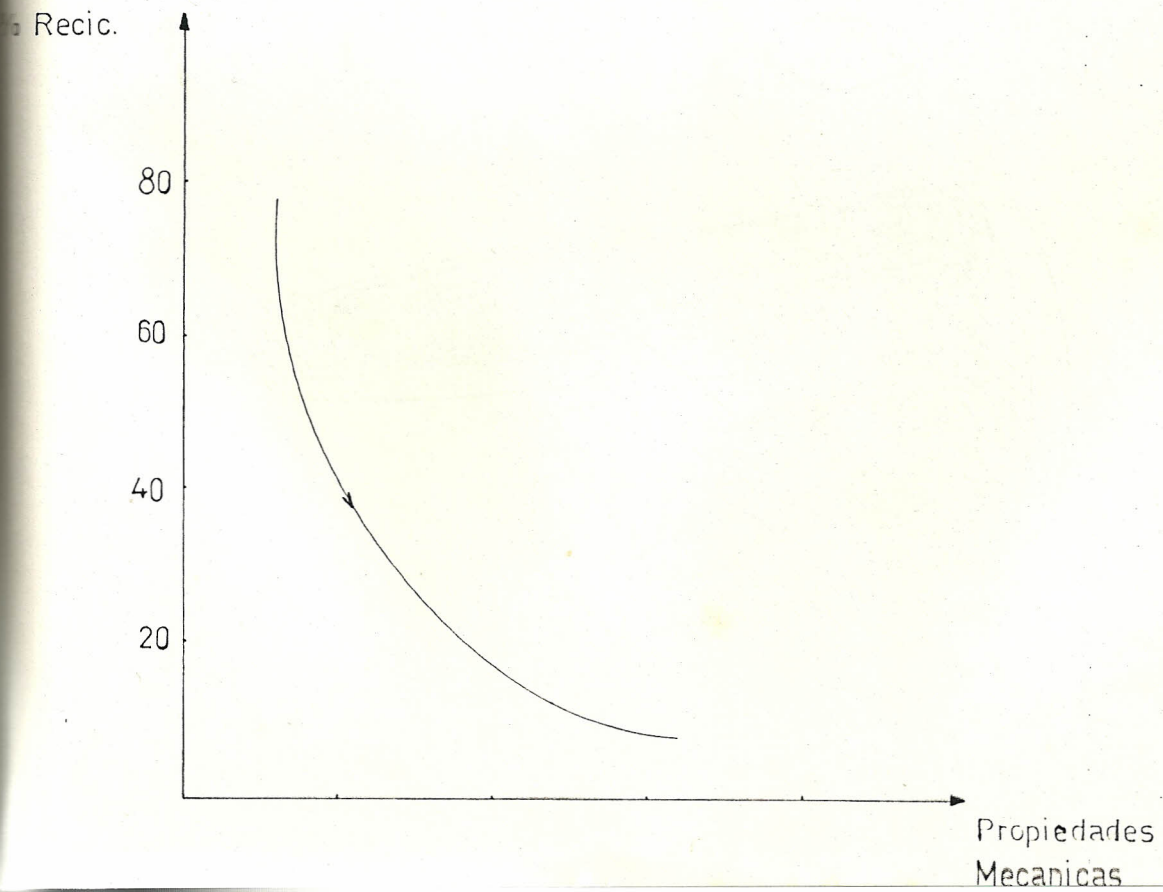


FIG. 8 EXTRUSORA DE UN HUSILLO

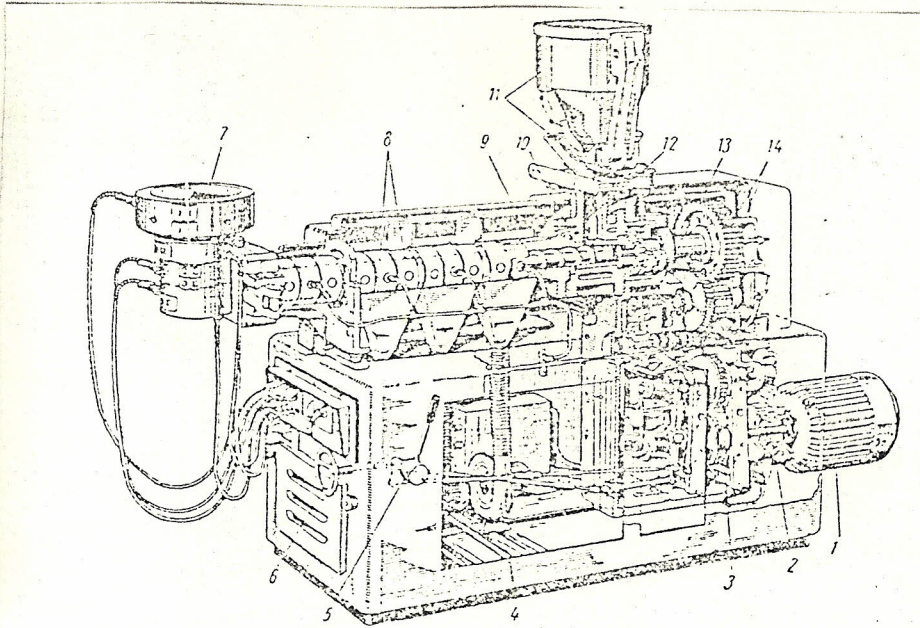


FIG. 9 EXTRUSORA DE ACCIONAMIENTO HIDRAULICO

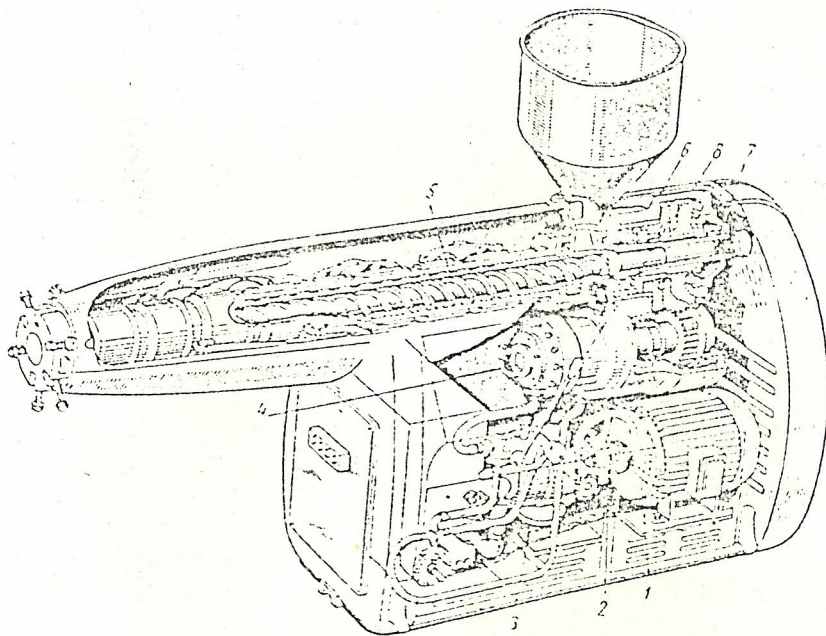


FIG.10 EXTRUSORA CON CALENTAMIENTO POR INDUCCION

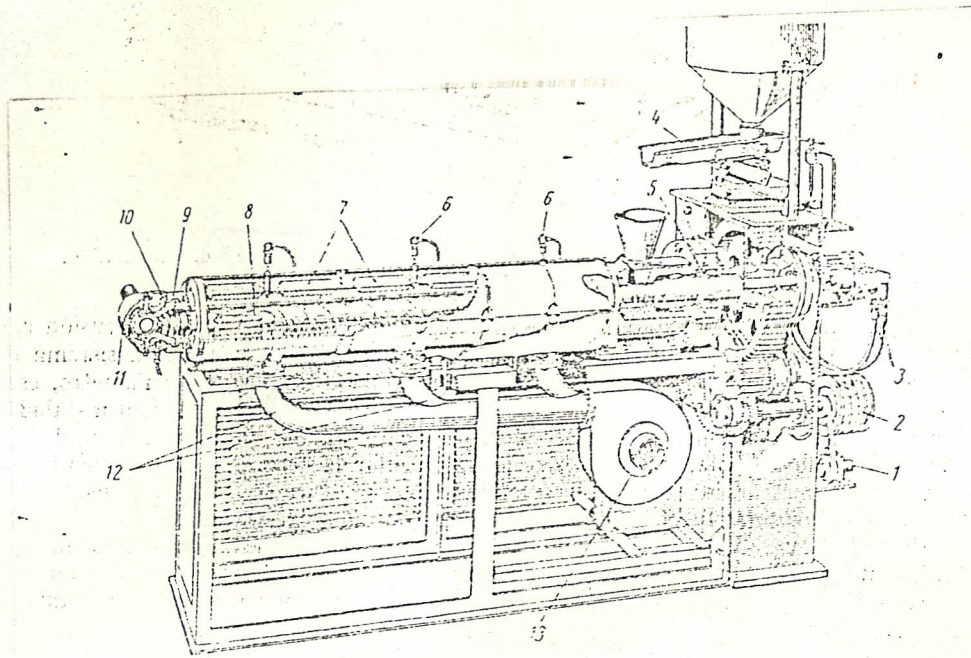


FIG.11 TIPOS DE HUSILLOS

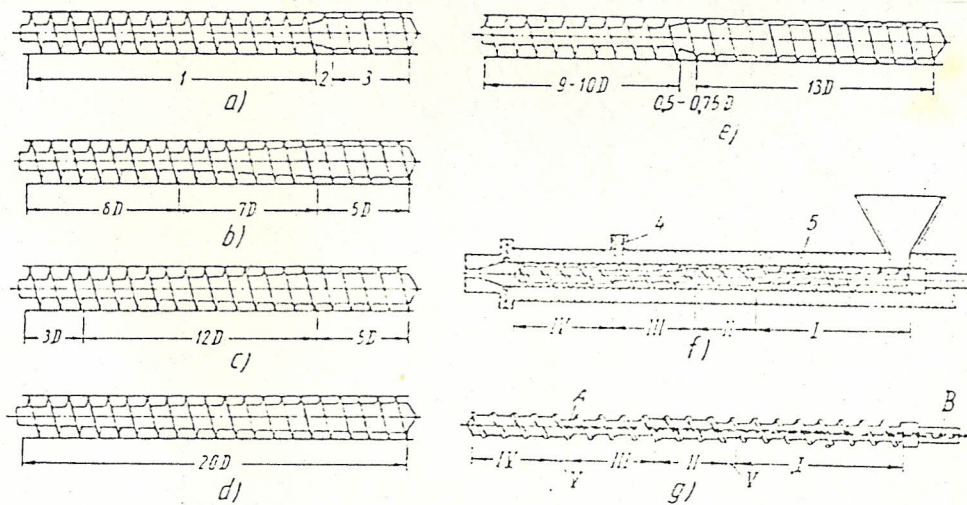


FIG. 12 EXTRUSORA DE DOS HUSILLOS

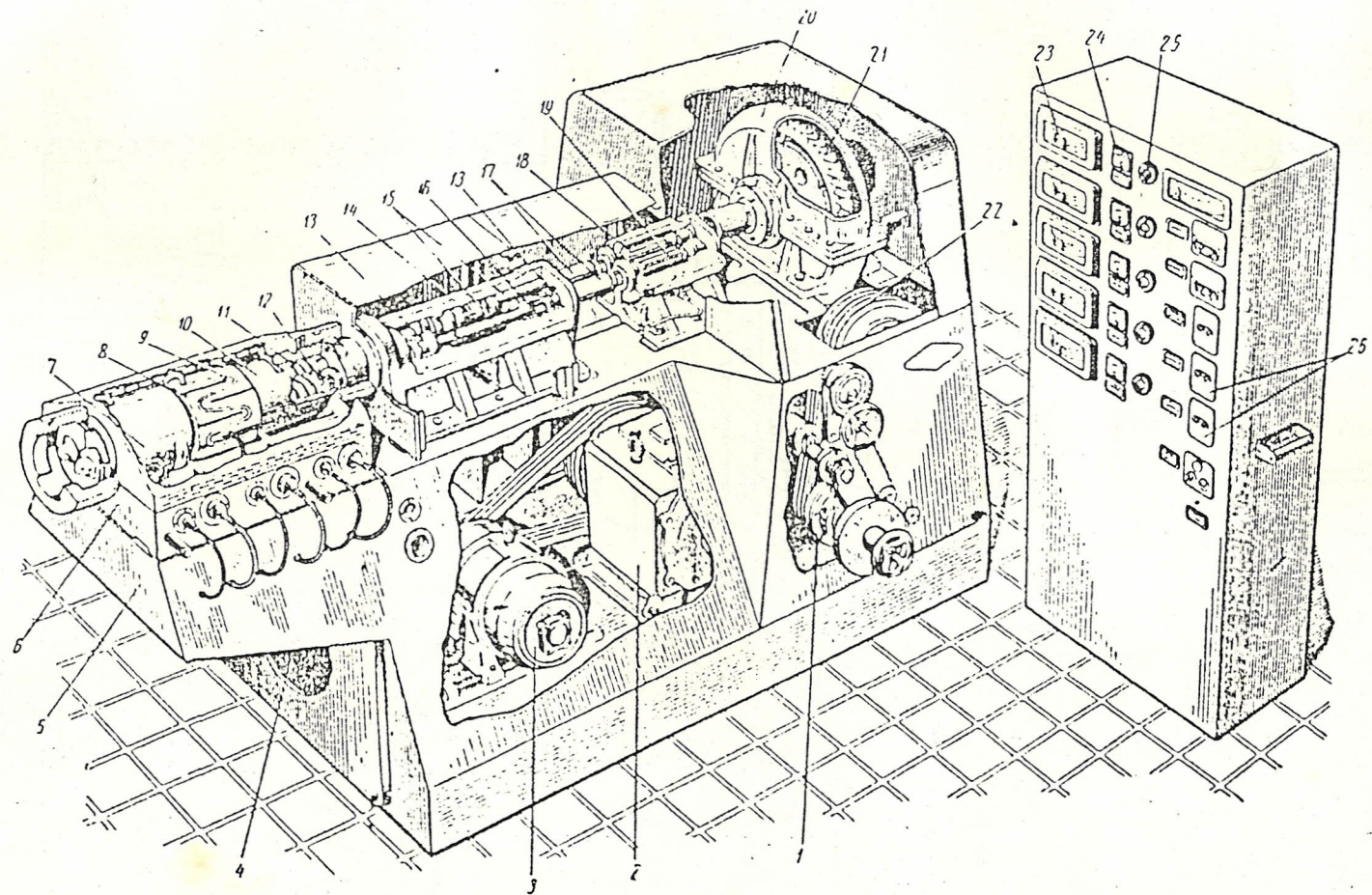


FIGURA 13 DISTRIBUCIÓN DE CUATRO HUSILLOS DE EXTRUSIÓN

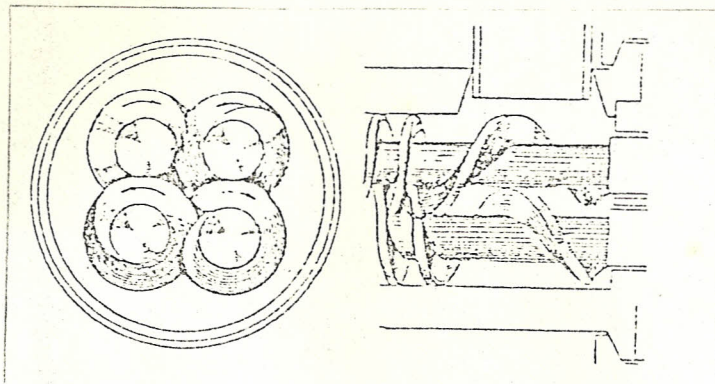
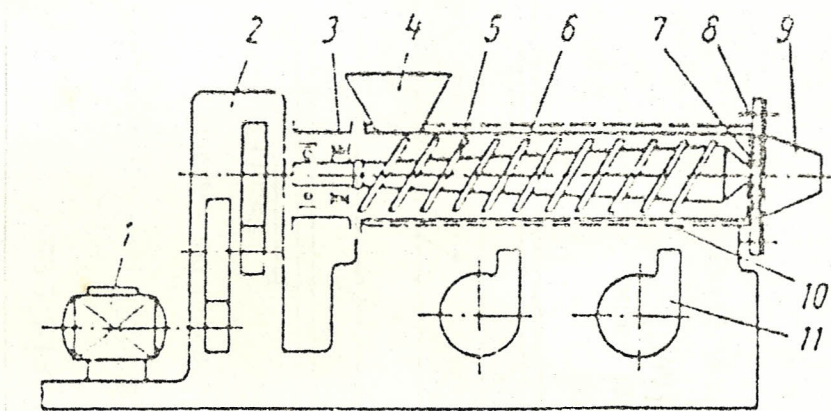


FIGURA 14 ESQUEMA GENERAL DE UNA EXTRUSORA



FIGURAS 15 y 16 TIPOS DE PRODUCTO TERMINADO

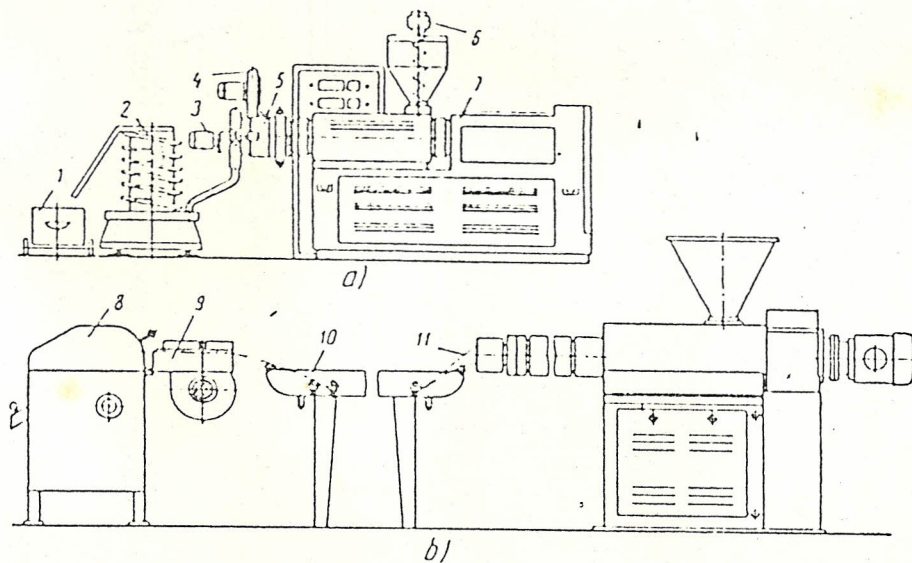


Figura 17 DÍAGRAMA DE PARAMETROS FÍSICOS

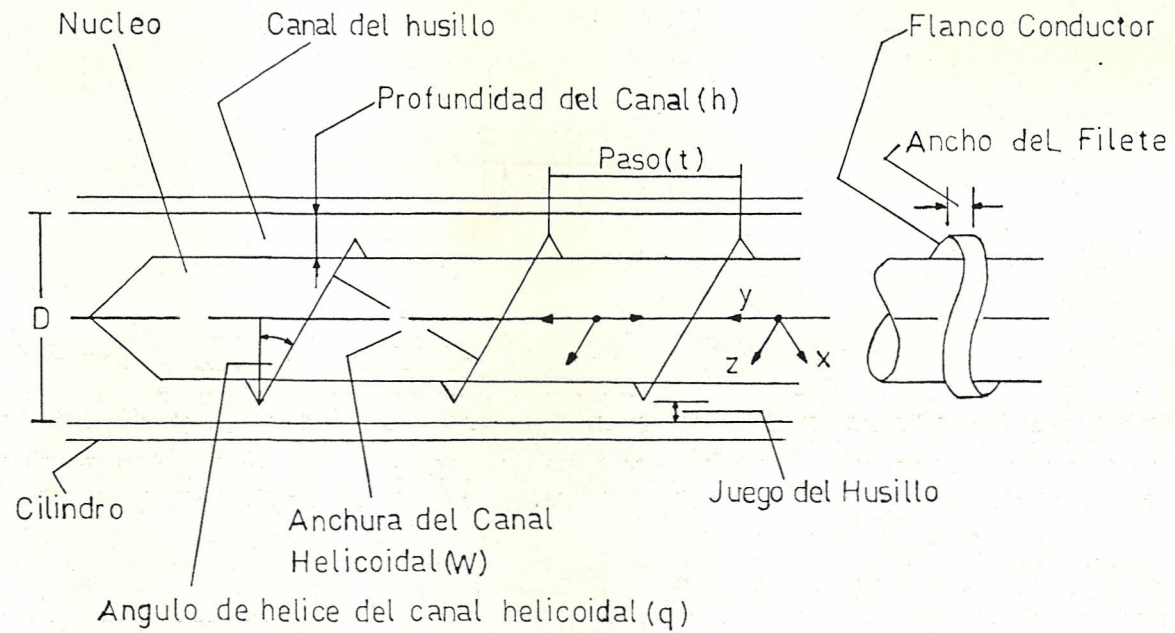
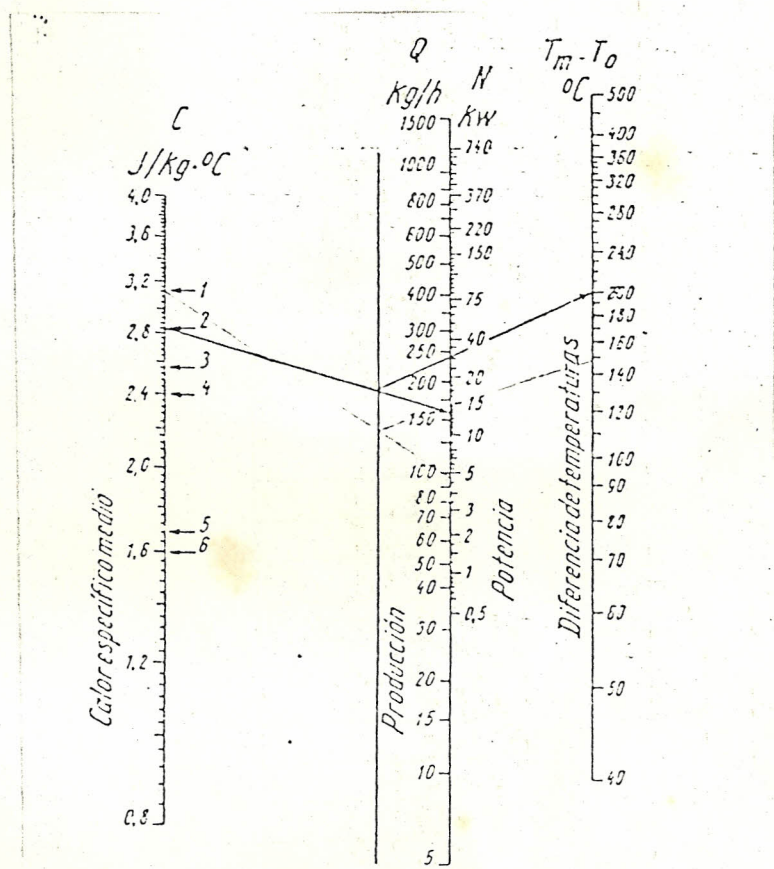


FIGURA 18 MONOGRAMA SELECTOR DE POTENCIA



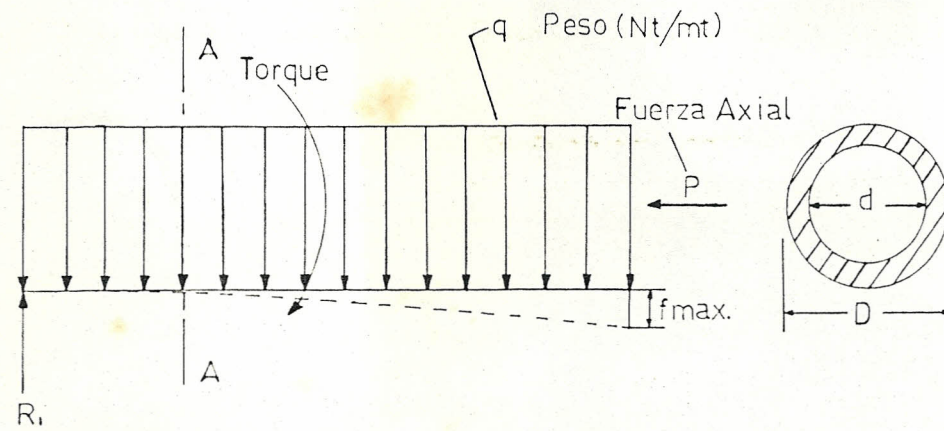


Figura 19 Diagrama de Fuerza del husillo

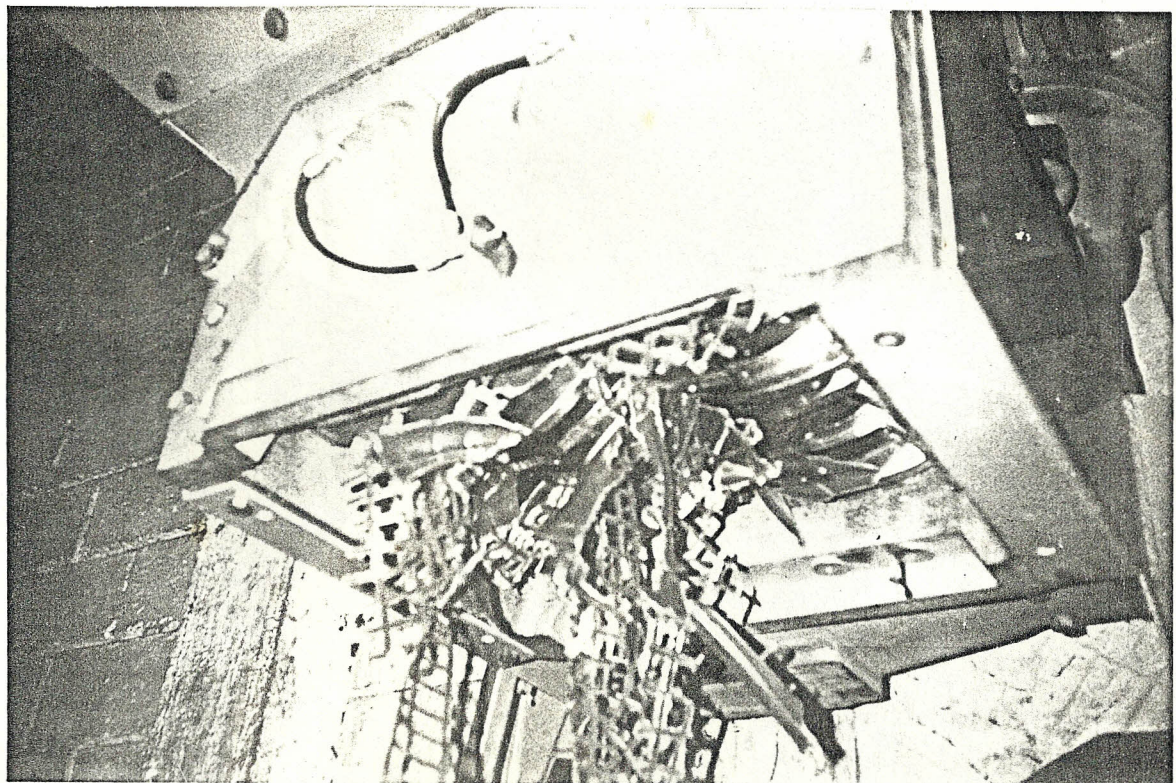
FOTOGRAFÍA 1

PRODUCTOS PLÁSTICOS PARA RECICLAJE



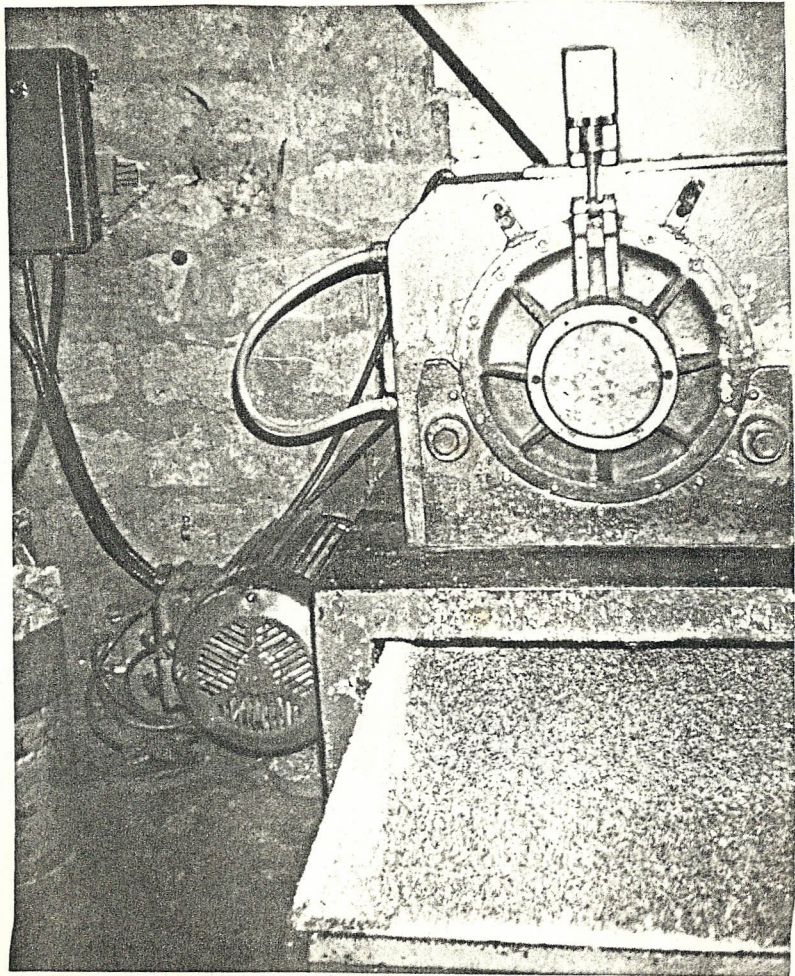
FOTOGRAFÍA 2

TRITURACIÓN



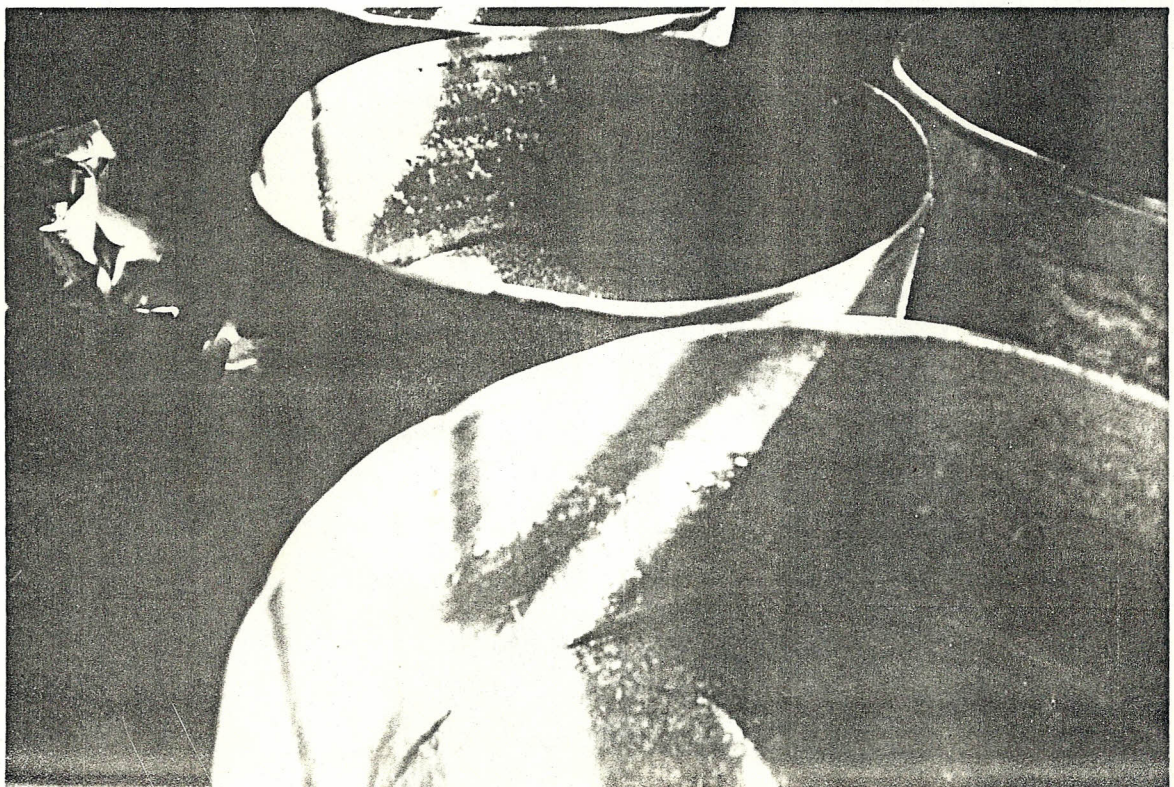
FOTOGRAFÍA 3

MOLINO DE TRITURACION



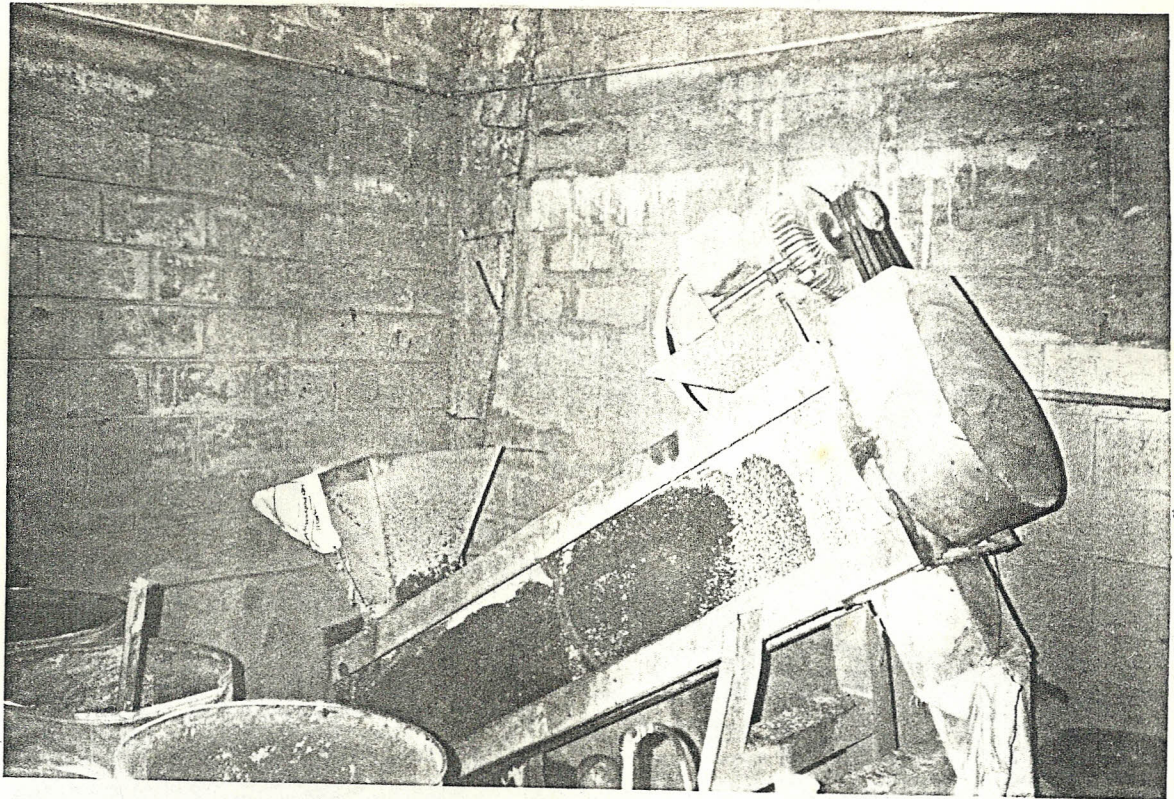
FOTOGRAFÍA 4

LAVADO DE MATERIAL



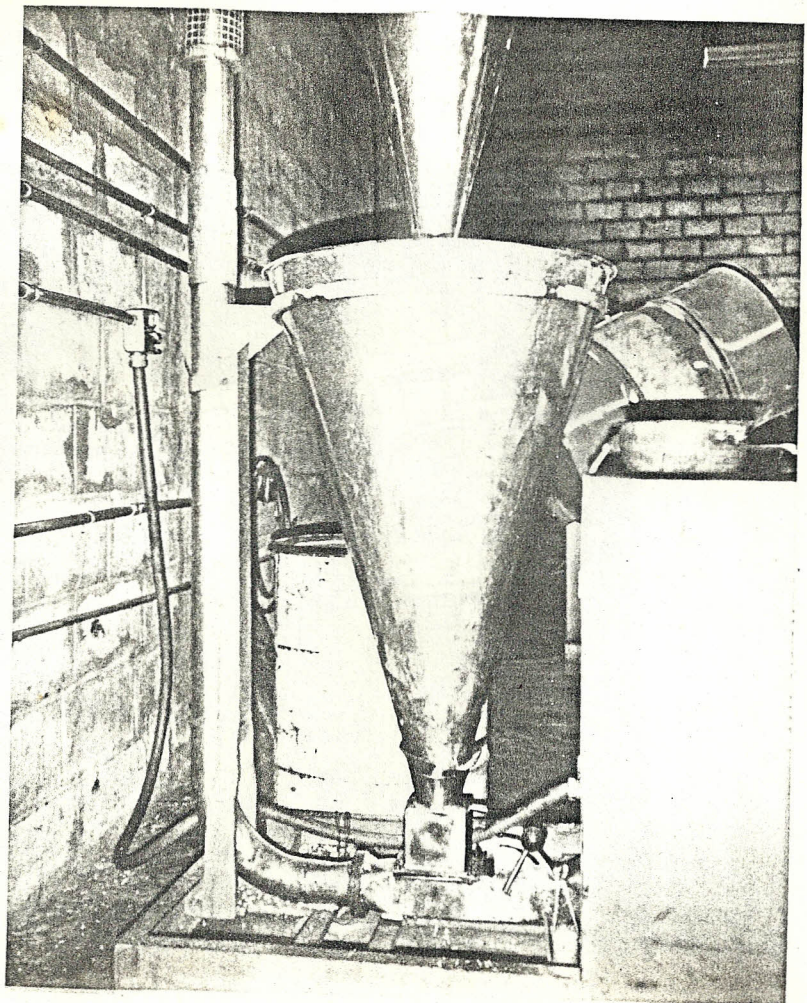
FOTOGRAFIA 5

LAVADO CENTRIFUGO



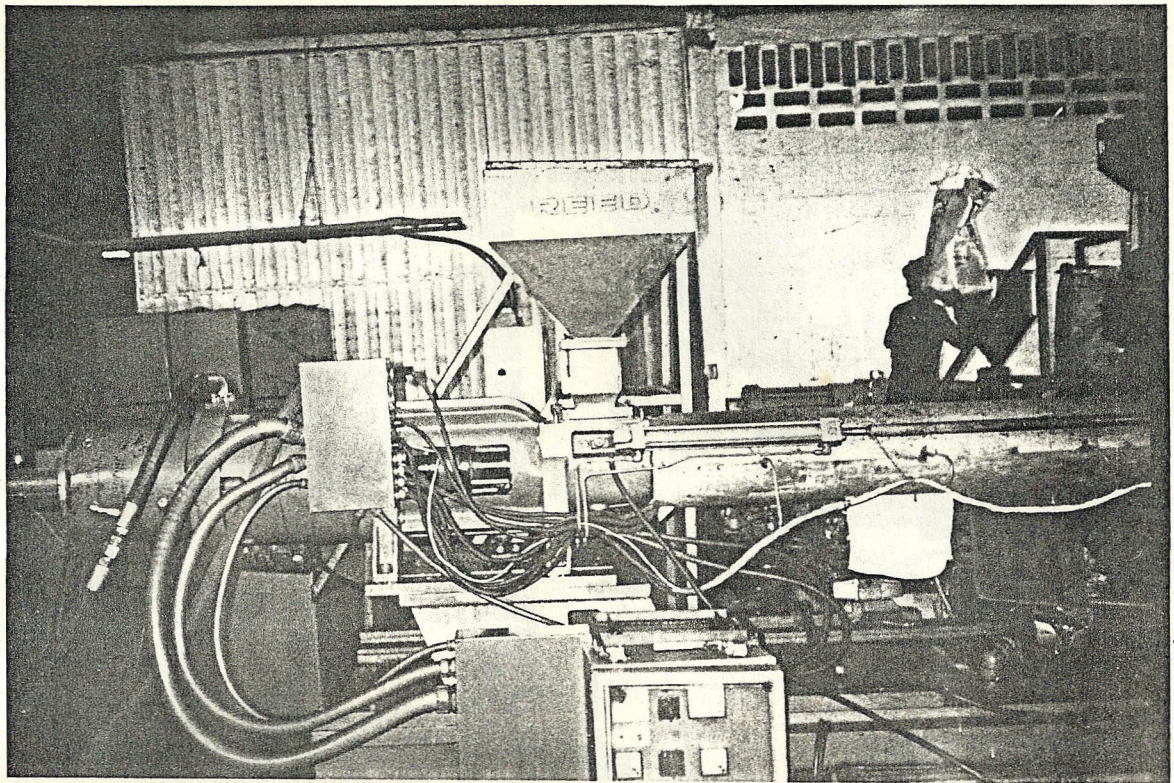
FOTOGRAFIA 6

SECADO



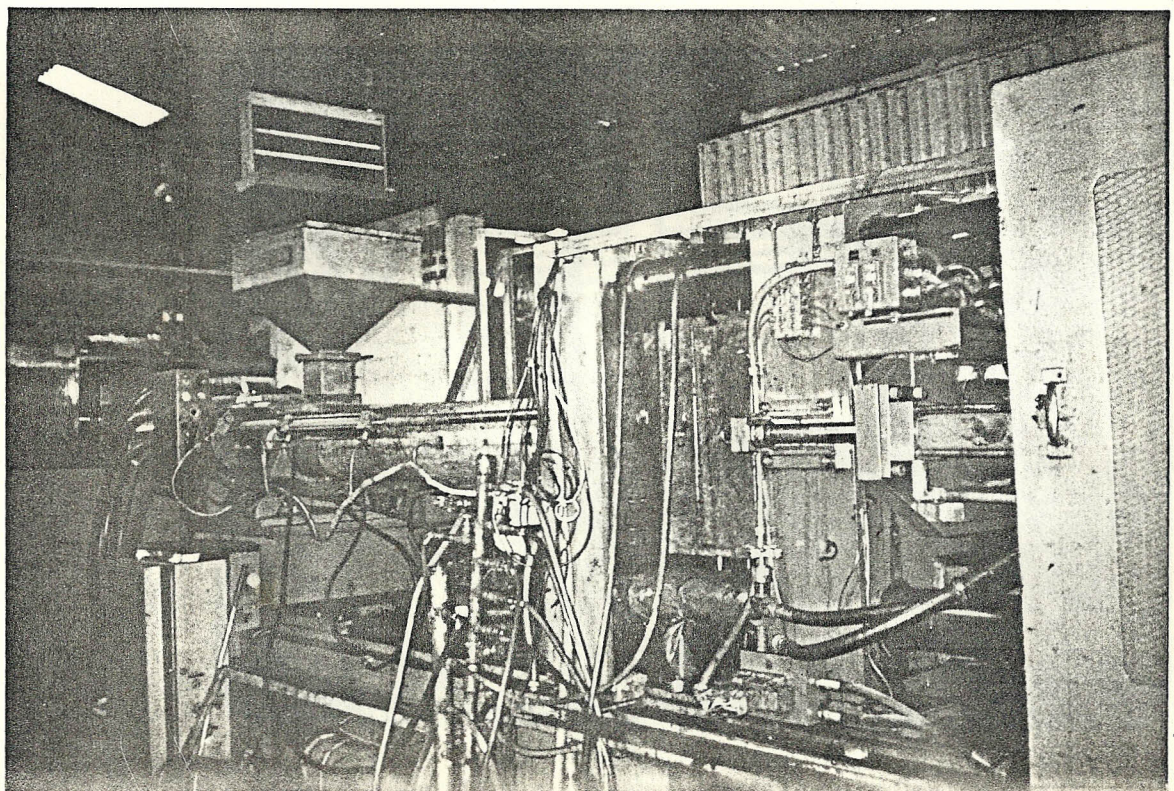
FOTOGRAFIA 7

MAQUINA EXTRUSORA



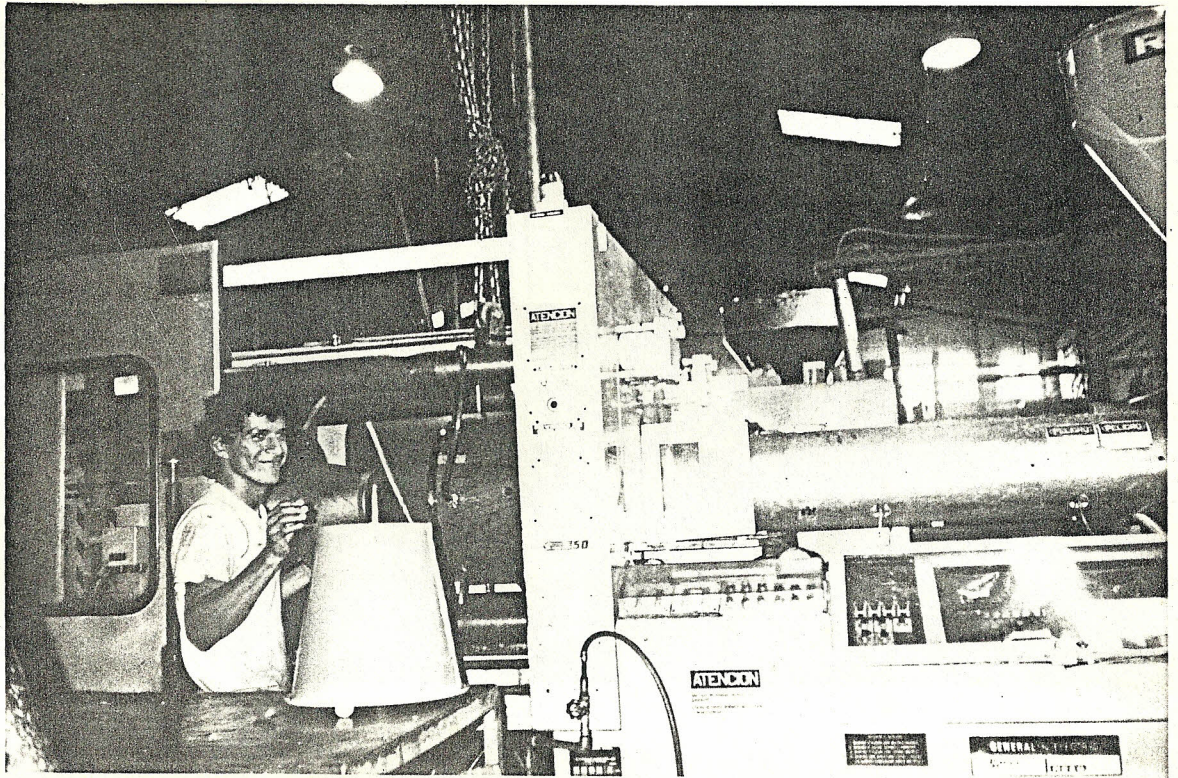
FOTOGRAFIA 8

INYECCION Y MOLDEO



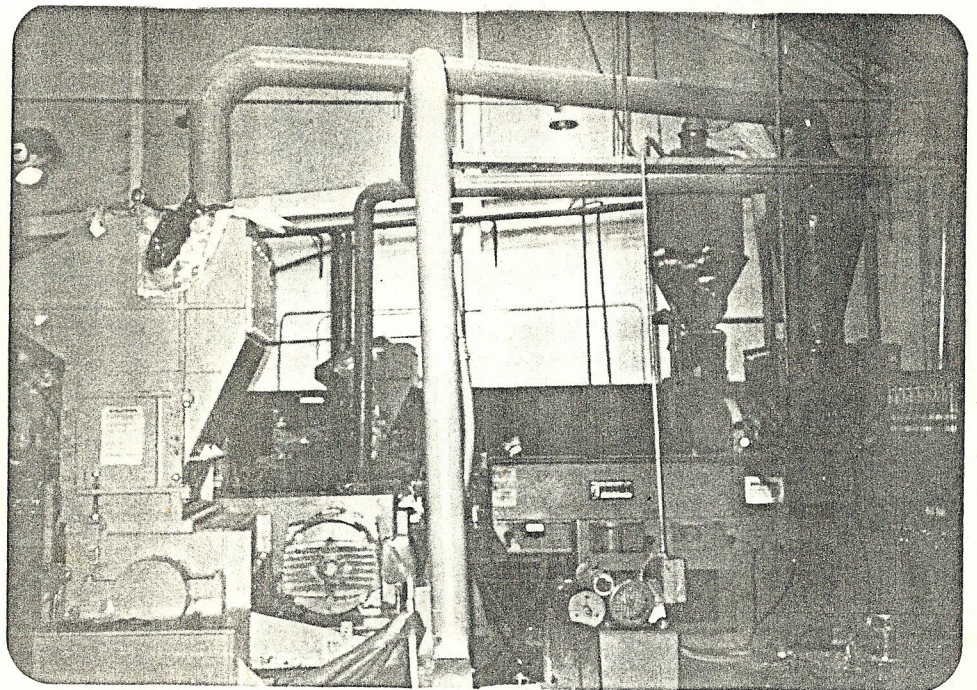
FOTOGRAFIA 9

PRODUCTO TERMINADO



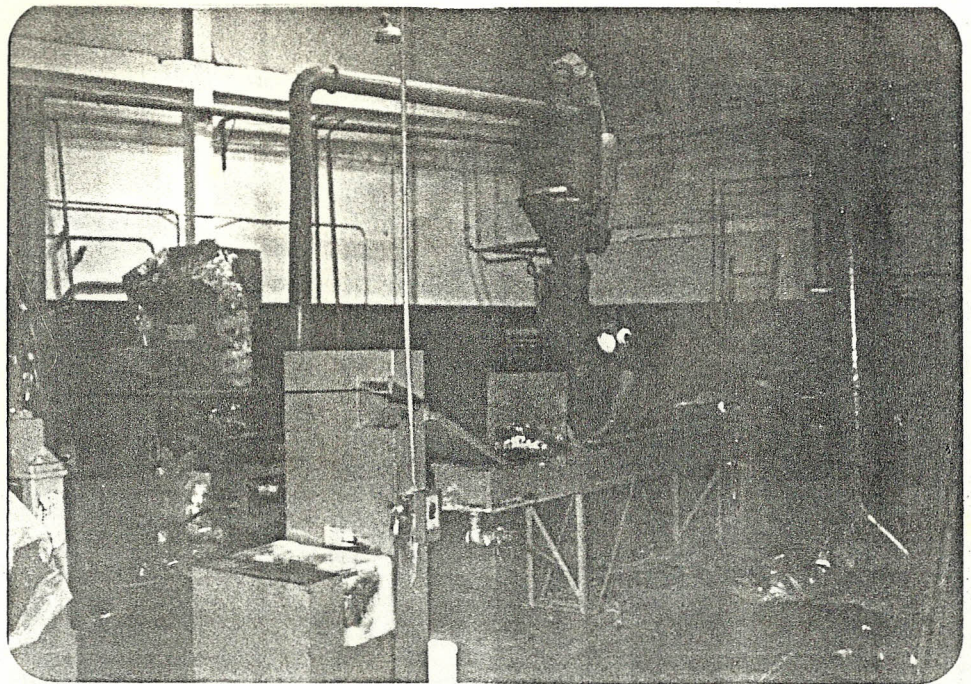
FOTOGRAFIA 10

MAQUINAS EXTRUSORAS



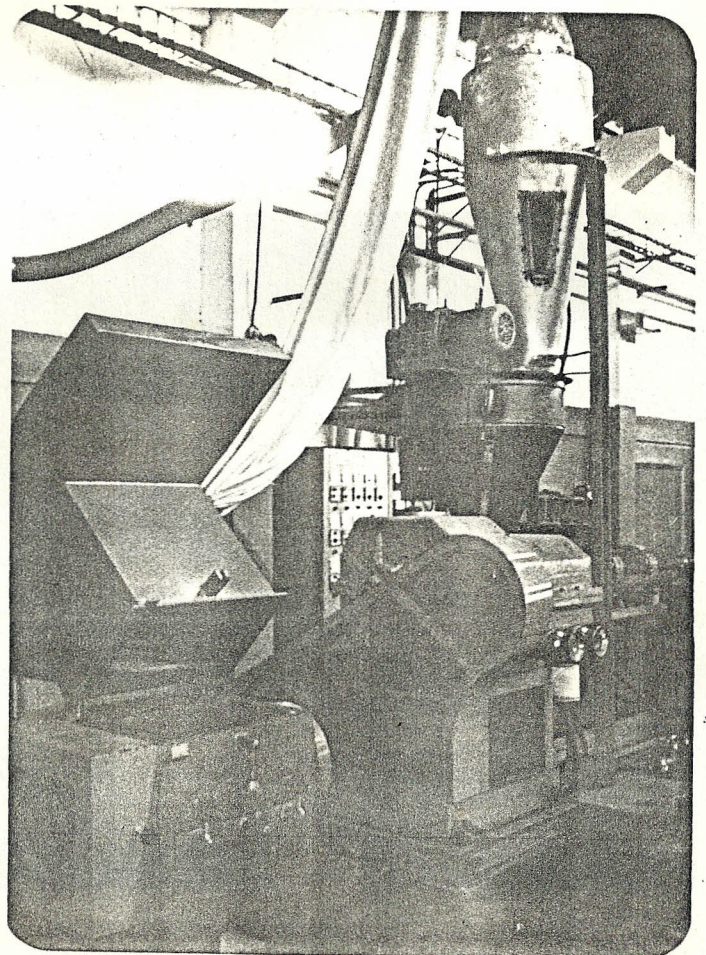
FOTOGRAFIA 11

CAMAS DE ENFRIAMIENTO



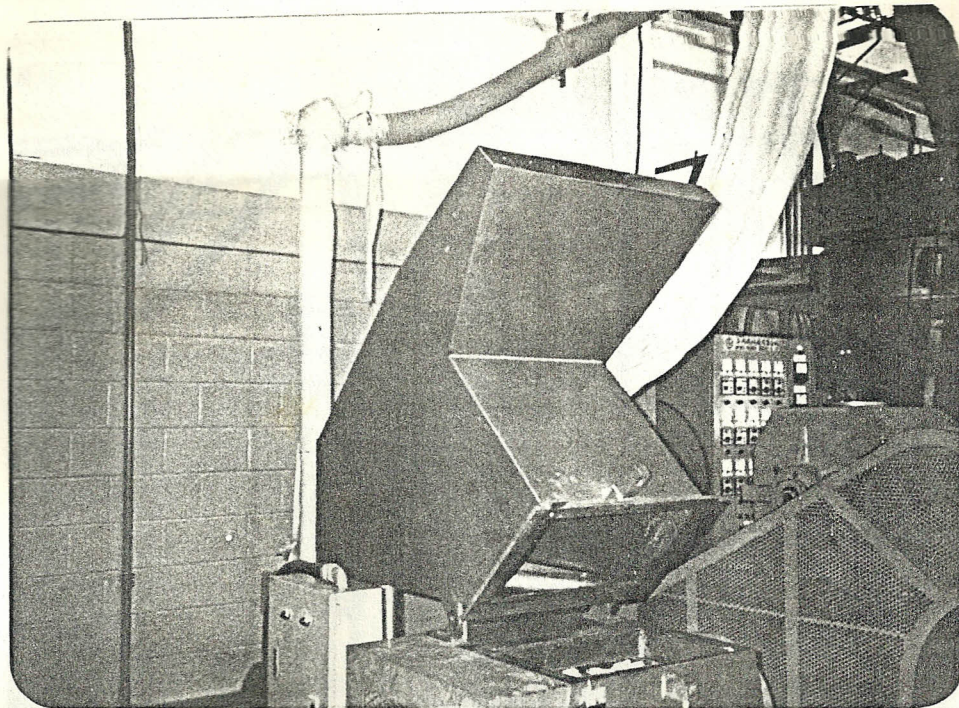
FOTOGRAFIA 12

TRITURACION Y EXTRUSION



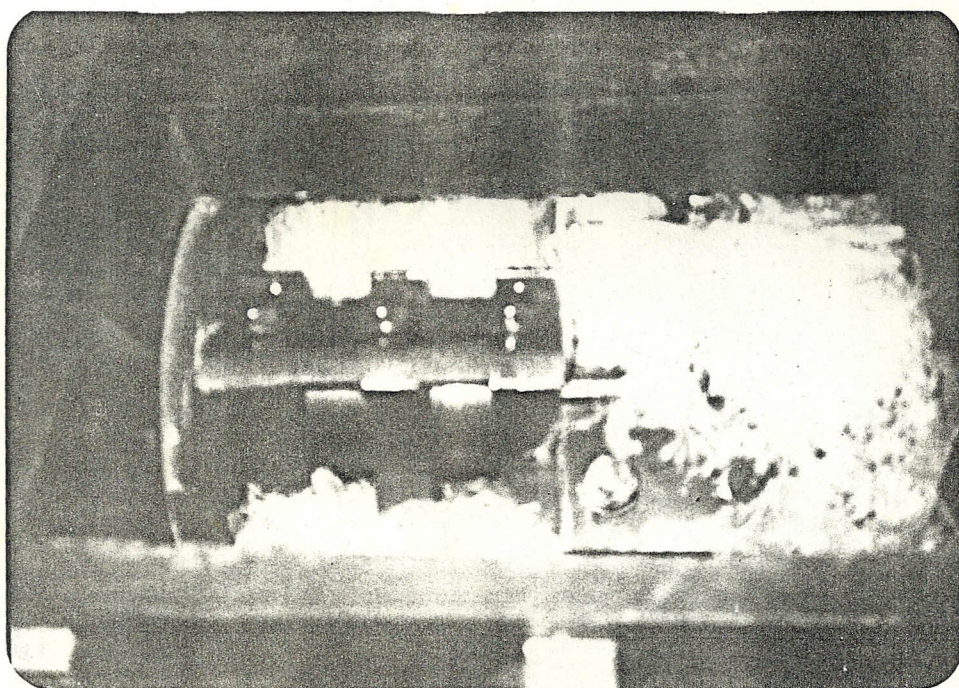
FOTOGRAFIA 13

TRITURADORA



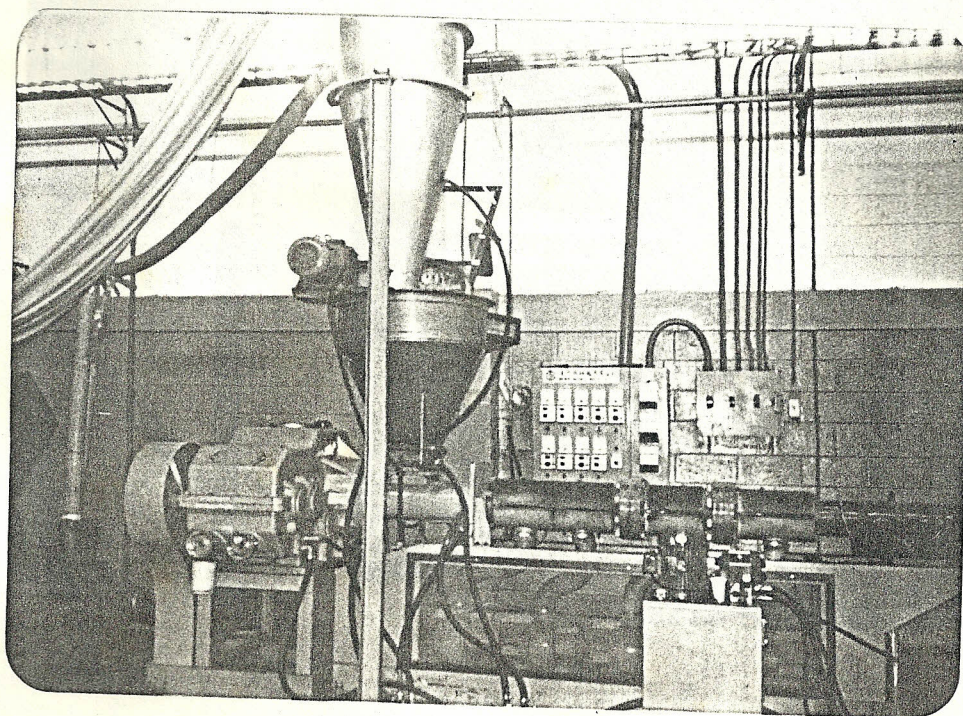
FOTOGRAFIA 14

TRITURACION



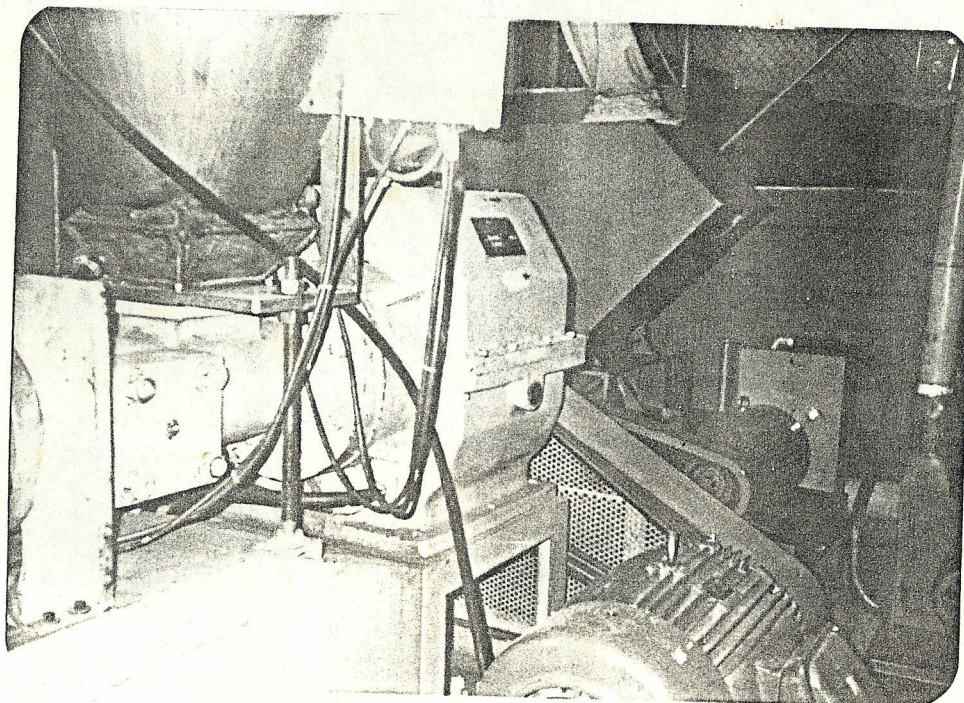
FOTOGRAFIA 15

MAQUINA EXTRUSORA



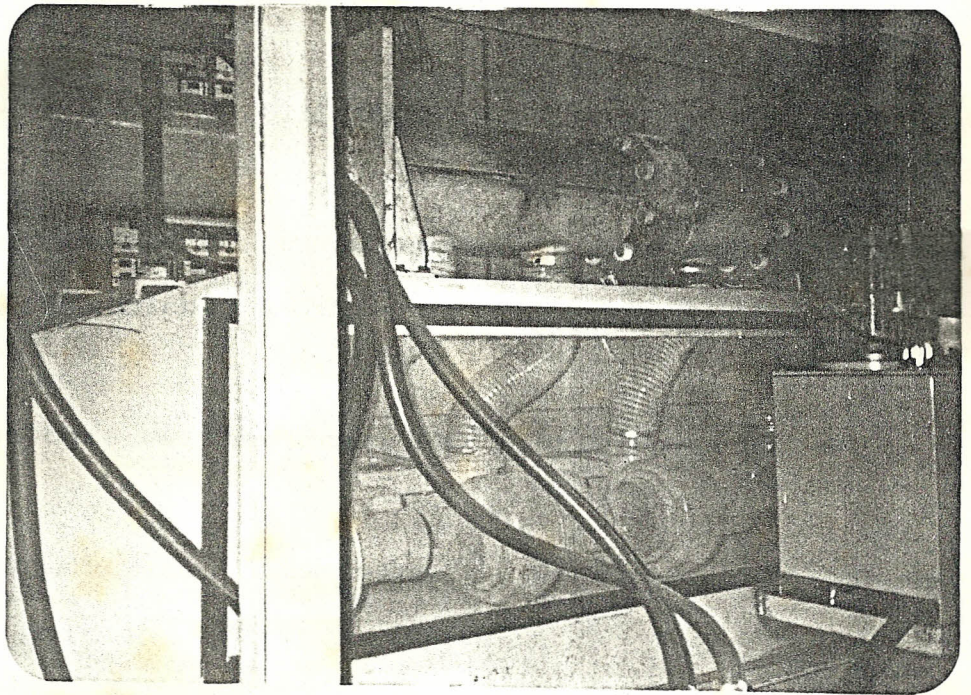
FOTOGRAFIA 16

SISTEMA DE TRANSMISION



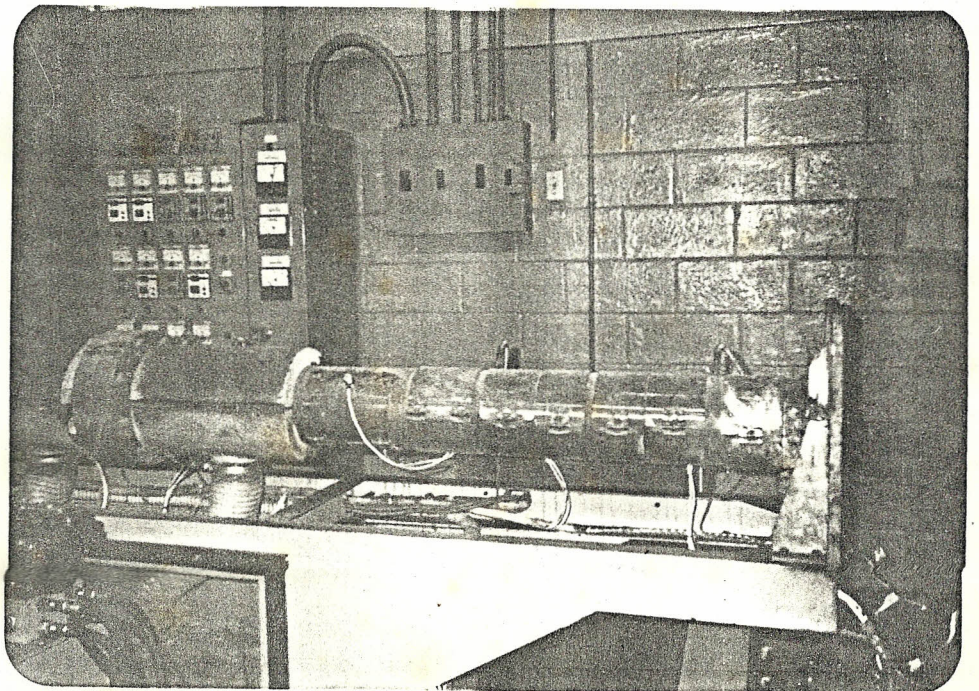
FOTOGRAFÍA 17

SISTEMA DE ENFRÍAMIENTO



FOTOGRAFÍA 18

SISTEMA DE CALENTAMIENTO



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Transformación de Plásticos. U.K. Sabgorodny, Gustavo Gili, Barcelona, 1978.
- 2.- Tecnología de Plásticos. W. Mink, 10ma edición.
- 3.- Resistencia de Materiales. Fendinind, L. Singer. 3era edición, Editorial Havla.
- 4.- Introducción a la Metalurgia Física. Sidney H. Avner.
- 5.- Principios de Transferencia de Calor. F. Kreith. ESPOL.