

40 253

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICOS PARA FABRICAR TUBERIA DE POLIETILENO DE 13 mm. A 51mm. DE DIAMETRO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Mecánico Electricista
P R E S E N T A
JULIO DOMINGUEZ GUTIERREZ

Asesor de Tesis: Ing. Armando Ortiz Prado
MEXICO, D. F. 1990

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION	1
--------------	---

CAPITULO I IMPORTANCIA Y DESARROLLO DE LOS PLASTICOS EN LA ACTUALIDAD

I.1.- Definición, origen y desarrollo histórico del plástico.	4
I.2.- Clasificación del plástico.	7
I.3.- Ventajas y desventajas del plástico con respecto a otros materiales de ingeniería.	9
I.4.- Panorama nacional e internacional del sector plástico.	12
I.5.- Breve descripción de los procesos y equipo utilizados para la transformación del plástico.	17
I.5.1.- Moldeo por inyección.	18
I.5.2.- Moldeo por soplado.	21
I.5.3.- Extrusión de plásticos.	24
I.5.4.- Moldeo por compresión.	27
I.5.5.- Moldeo por transferencia.	28
I.5.6.- Termoformado de láminas plásticas.	29

CAPITULO II PROCESO DE EXTRUSION

II.1.- Breve descripción física y operativa de los principales componentes de una máquina extrusora de plásticos.	33
II.1.1.- Sistema matriz del extrusor.	33
II.1.2.- Reductor.	38
II.1.3.- Sistema de rodamientos para el husillo.	40
II.1.4.- Cilindro y Garganta.	41

11.1.5.- Tolva.	43
11.1.6.- Husillo.	45
11.1.7.- Filtro y plato rompedor.	48
11.1.8.- Dado.	49
11.1.9.- Sistemas de calefacción y enfriamiento.	51
11.1.10.- Equipo Auxiliar.	53
11.2.- Diferentes etapas para la transformación del plástico en el proceso de extrusión y tipos de productos extruidos.	54

CAPITULO III
DISEÑO DE CONCEPTO DE LA MAQUINA.

III.1.- Determinación del producto extruido.	57
III.2.- Características específicas de la máquina.	59
III.3.- Diseño de cada uno de los sistemas.	60
III.3.1.- Sistema de extrusión.	60
III.3.1.1.- husillo.	61
III.3.1.2.- Cilindro.	73
III.3.1.3.- Dado, Filtro y Plato Rompedor.	75
III.3.1.4.- Rodamientos para el husillo.	77
III.3.2.- Sistema Motriz.	79
III.3.2.1.- Motor y Reductor.	79
III.3.3.- Sistema de Alimentación.	80
III.3.3.1.- Tolva de Alimentación.	80
III.3.4.- Sistema de calefacción y enfriamiento.	81
III.3.4.1.- Resistencias.	81
III.3.4.2.- Enfriamiento.	86

III.3.5.- Control de temperatura. _ _ _ _ _ 88

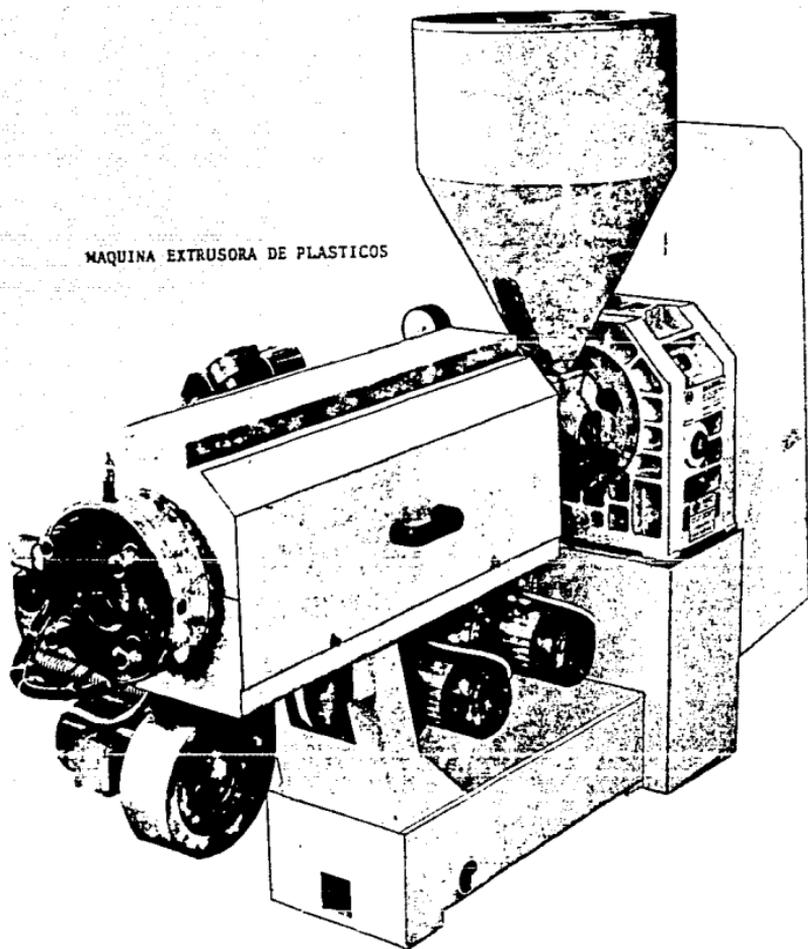
III.3.5.1.- Pirómetros y Termopares. _ _ _ _ _ 88

CAPITULO IV

IV.1.- Comentarios y Conclusiones. _ _ _ _ _ 92

BIBLIOGRAFIA _ _ _ _ _ 94

MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICOS



INTRODUCCION

El tema de esta tesis profesional se ha desarrollado pensando en el aprovechamiento que se puede obtener de artículos de plástico. Existe un gran auge en la industria de los plásticos en la actualidad en cuanto a la funcionalidad de los artículos producidos. Sin embargo, existen dos factores por los cuales se ha pensado en el diseño conceptual de una máquina de plásticos que trabaje con una proporción de materia prima reciclada. El primer factor es que la mayor parte de costo en un artículo terminado es el de la materia prima. El segundo factor es la conciencia que se tiene hoy en día por el deterioro ecológico.

Por sus características y versatilidad, el plástico ha ido desplazando poco a poco a materiales como los metales, el vidrio y la madera. Hoy en día, puede uno voltear a ver a donde quiera y encontrará objetos formados de plástico.

En México, actualmente el consumo anual per cápita es de 12 kg. por habitante, cuando en 1970 era solamente 0.5 kg. por habitante. El nivel de capacidad instalada nacional creció en la década de los setentas a una tasa de 15% promedio anual. De 1980 a 1984 el crecimiento fue de 50% de ese año al presente se ha duplicado la planta productiva.

Esto habla del gran crecimiento de la industria de los plásticos en un tiempo relativamente corto.

Sin embargo, el mayor problema que existe en el entorno de los plásticos, es que se trata de materiales no bio-degradables, contribuyen en forma importante a la acumulación de contaminantes ambientales a nivel mundial.

Hoy en día existe gran conciencia respecto al deterioro ecológico del medio ambiente. Aprovechando que la mayoría de los plásticos se pueden reciclar, se ha pensado en el estudio de una máquina capaz de producir artículos de utilidad, pero formados con una cierta proporción de material reciclado.

La tubería conduit de polietileno no requiere de una apariencia física excelente, pero sin embargo, producida con cierta cantidad de material de segunda, puede reunir las características apropiadas para su funcionalidad.

Es por lo anterior, que el objetivo de esta tesis es el estudio del proceso de extrusión para diseñar conceptualmente una máquina capaz de producir tubería conduit de polietileno de hasta 50.8 mm. de diámetro utilizando una proporción de material reciclado.

CAPITULO I

IMPORTANCIA Y DESARROLLO DE LOS PLASTICOS EN LA ACTUALIDAD.

I.1.- Definición, origen y desarrollo histórico del plástico.

A través de los años, el plástico ha ido adquiriendo creciente aceptación a nivel mundial, llegando a desplazar, con muchas ventajas, a otras materias primas como el vidrio y los metales. Esto se ha debido a su gran versatilidad, a sus características especiales y a sus múltiples usos en los diversos sectores de la actividad económica.

El plástico se define como una sustancia cuya estructura, llamada polímero, está formada por la unión de moléculas llamadas meros.

La industria de los plásticos es el último eslabón en la cadena de transformación de los productos derivados del petróleo.

Los plásticos provienen de la industria petroquímica básica, la cual genera uno o varios derivados que establecen una secuencia productiva ya que se emplean como materia prima para una amplia gama de productos.

Los petroquímicos básicos y sus principales derivados de los cuales parten diversas cadenas son:

METANO	OLEFINAS	AROMATICOS
metanol	etileno	benceno
amoníaco	propileno	tolueno
	butadieno	xilenos

Para obtener cierto plástico, se realizan varias transformaciones con uno o más petroquímicos básicos. Así por ejemplo, los poliuretanos se obtienen de transformaciones al tolueno y al óxido de polipropileno.

Desde el punto de vista cronológico, los plásticos empezaron a emplearse cuando se encontró que las resinas naturales (betún, goma, laca, ambar) podrían servir para elaborar diversos objetos de uso práctico como telas, cestos y pelotas.

Los orígenes del estudio científico y el desarrollo industrial de los polímeros se remontan a la primera mitad del siglo XIX, con el trabajo de Charles Goodyear (1839) en Estados Unidos y Hancock (1843) en Inglaterra, quienes independientemente vulcanizaron el hule natural por la introducción del azufre, mejorando así sus propiedades elásticas considerablemente. Los trabajos que siguieron a este descubrimiento se centraron en mejorar algunas propiedades de los polímeros naturales.

El plástico sintético más antiguo es el "celuloide" inventado por John Wesley Hyatt en Nueva York en 1868, que se elabora con alcanfor y nitrato de celulosa. Este invento dio origen a los primeros materiales utilizados en la industria cinematográfica. Posteriormente se fabricó el plástico conocido como acetato, usado como aislante de conductores eléctricos.

En la primera década del siglo XX, en 1907 para ser exactos, Leo Hendrick Baekeland sintetizó una resina conocida hoy en día como "baquelita" al calentar fenol y formaldehído en presencia de un catalizador. Este se convierte en un plástico usual para aislantes eléctricos y asas para utensilios de cocina. Junto con este nuevo producto, surgieron las resinas fenólicas, de melamina, de poliamidas (nylon) y alquídicas.

En 1917, a causa de la Primera Guerra Mundial, se logró un avance considerable en la síntesis de un hule sintético a partir del dimetil butadieno.

Poco antes de la Segunda Guerra Mundial se comercializó uno de los plásticos de mayor importancia: el poliestireno, que en 1930 empezó a producirse industrialmente en Alemania. Otro plástico importante es el cloruro de polivinilo (PVC), manufacturándose inicialmente en el año de 1937, también en Alemania.

La relación industria-ciencia es notoria en esta época: por ejemplo, el polietileno se descubrió alrededor de 1932 por ICI. En 1934, en DUPONT sintetizaron el nylon, y a fines de los treinta se utilizó y comenzó a moldearse. En 1941 obtuvieron el polimetacrilato, y tanto el polivinilo como el polietileno mencionados anteriormente, se empezaron a producir a escala comercial. En 1941 se descubrió accidentalmente el politetrafluoretileno, llamado después "teflón", el cual se industrializó en 1945.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la investigación y comercialización de los plásticos se incrementó considerablemente, al igual que sus aplicaciones, siendo durante los años cincuenta cuando se asentaron las bases de la ciencia moderna de los polímeros.

Los plásticos más recientes son los llamados plásticos de polimerización. Estos, en su mayoría, contienen en su molécula enlace acilénico, que se presta para la formación de cadenas moleculares. A este grupo pertenecen las resinas acrílicas.

Así pues, en un periodo relativamente corto, nacen más de 40 materiales que se comercializan cada vez más, en forma más acelerada. Es por esto, que así como existió la edad de piedra y la edad de los metales, a este siglo se le conoce como edad del plástico.

1.2.- Clasificación del plástico.

Los materiales plásticos pueden ser clasificados de acuerdo a su comportamiento con la temperatura en aquellos que pueden ser reciclados y formados cuantas veces se desee, o aquellos que pueden ser formados solamente una vez. Un material que repetidamente se reblandece cuando se calienta, y se vuelve a endurecer cuando se enfría, es llamado TERMOPLASTICO. Este comportamiento hace a los termoplásticos relativamente fáciles de moldear. Están constituidos frecuentemente

por macromoléculas lineales obtenidas por polimerización y algunas veces por macromoléculas tridimensionales muy pequeñas. Poseen una plasticidad notable, especialmente bajo la acción de una temperatura suficientemente elevada. La deformación plástica consiste en un deslizamiento de las macromoléculas unas respecto a las otras, que aparece cuando el esfuerzo ejercido origina la ruptura de los enlaces laterales más débiles que los enlaces covalentes de las cadenas. El fenómeno es reversible con un enfriamiento y puede reproducirse un gran número de veces sin alteración química de la materia.

Los materiales del segundo grupo son llamados TERMOFIJOS o TERMOESTABLES, y son aquéllos en los cuales, por medio de la aplicación de calor y presión dentro de un molde, se termina el proceso de polimerización, al mismo tiempo que se va endureciendo, dando así la forma final requerida. Como la polimerización se realiza con el moldeo, básicamente se forma una molécula en red, por lo que se puede decir que no hay movimiento intermolecular. Esta es la razón de que al volver a calentar el material no se reblandezca.

A pesar de que los termoplásticos generalmente son más simples de fabricar que los termofijos, la mayor ventaja de éstos es tener más estabilidad dimensional, especialmente a altas temperaturas durante periodos prolongados. Sin embargo, la facilidad de fabricación de

los termoplásticos, el bajo costo de la mayoría de ellos y los grandes avances para mejorar sus propiedades, los hacen formar la mayor parte de la producción total de los plásticos.

Entre los termoplásticos más importantes, encontramos los siguientes :

- Polietilenos
- Cloruro de Polivinilo.
- Polipropileno
- Poliésteres.

Por su parte, entre los termofijos más importantes tenemos a los siguientes :

- Los fenólicos.
- Poliester insaturado
- Las resinas epóxicas

I.3.- Ventajas y desventajas de los plásticos con respecto a otros materiales de ingeniería.

El continuo desarrollo de nuevos materiales plásticos ha ampliado el campo industrial de sus aplicaciones. La industria de la construcción, la automotriz, la aeronáutica, la electrónica, así como la de embalaje y la agricultura, son ejemplo de los más grandes mercados industriales del plástico. Bajo costo, durabilidad, propiedades aislantes, ligereza, resistencia química y facilidad de fabricación, hacen de

los productos plásticos fuertes competidores de otros materiales de ingeniería como los metales, el vidrio y la madera, entre otros.

La versatilidad de fabricación de los plásticos es una de sus enormes ventajas, especialmente en términos económicos. Todos los métodos de fabricación de productos plásticos consisten de dos etapas básicas: temperatura, para alcanzar el estado de plastificación y presión para forzar a la materia prima a penetrar dentro de un molde o hacerla pasar a través de un dado. En el caso de los termoplásticos se requiere además del enfriamiento para su endurecimiento.

Otra gran ventaja de los plásticos es la ilimitada cantidad y complejidad de las piezas que pueden ser fabricadas rápidamente y con un relativo grado de exactitud dimensional. De un solo molde pueden fabricarse miles de piezas idénticas por lo que en la mayoría de los casos no se requiere de un proceso de acabado después de haber salido del molde. Por ejemplo, el color deseado de las piezas es homogeneizado durante la mezcla de los componentes del material y puede asegurarse que la superficie de todas las piezas presentará el mismo acabado superficial del molde, eliminando la necesidad de pintar o dar un acabado posterior.

Una de las ventajas más importantes de los plásticos y que puede apreciarse en casi todas sus

aplicaciones, es su ligereza. Tomando en cuenta que en la fabricación de piezas, sea cual sea su tipo, uno de los factores más importantes que deben considerarse es el volumen, el bajo peso específico de los plásticos, comparado con el de los metales, ofrece una enorme ventaja en términos de economía y aplicaciones. La mayoría de los plásticos tienen un peso específico menor a 1.0; algunos son tan ligeros que pueden flotar en el agua, sus pesos específicos van de 0.6 a 0.99.

Otra de las ventajas que podemos mencionar es su resistencia a la corrosión, razón por la cual la industria prefiere en algunos casos el plástico a los metales ferrosos.

El uso del plástico como recubrimiento en algunas aplicaciones de los metales, reduce costos de instalación de nuevos equipos, pérdida de tiempo en reemplazo de partes corroidas y costos de mantenimiento, por un tiempo prolongado. En la industria de la construcción se utiliza en tuberías, tejas y entrepaños así como en pinturas para recubrimientos.

Otra gran ventaja en algunos materiales plásticos, es su transparencia.

Sin embargo, la mayor ventaja de los materiales plásticos, además de tener características de versatilidad en aplicación, es que consumen menor energía para su obtención y transformación que materiales como el metal y el vidrio.

Como desventaja se puede mencionar el que los plásticos son materiales no bio-degradables que contribuyen significativamente al crecimiento de la contaminación del medio ambiente. A pesar de ello, hoy en día existen programas en los que se invita a la gente a separar vidrio, papel, plásticos y metales para reciclarlos.

1.4.- Panorama nacional e internacional del sector plástico.

La industria de los plásticos en México es relativamente joven. Se inició aproximadamente hace 40 años. Sin embargo ha evolucionado de manera acelerada, con ritmos superiores a los del producto nacional, debido a que México es una nación con vastos recursos naturales en hidrocarburos y ha contado con apoyo tecnológico para explotarlos.

Debido a esta creciente demanda, ha sido necesario ampliar la planta productiva de petroquímicos básicos y aún así existen periodos de escasez de resinas de alto tonelaje como el poliestireno, polietileno y polipropileno.

Los avances y tendencias tecnológicas a nivel mundial han desarrollado los plásticos de ingeniería, que día a día han despertado interés nacional pero sin embargo en México solo son formulados con bajos

volúmenes y altos costos. Se considera, que en un futuro no muy lejano se tenga un nivel de demanda competitivo para este tipo de plásticos y se puedan producir a nivel nacional.

El potencial de crecimiento de los plásticos a nivel nacional es enorme, ya que a la fecha el consumo nacional anual per capita es de 12.7 kg. por persona, cuando en algunos países desarrollados este consumo rebasa los 100 kg. anuales por habitante.

En la tabla 1 se puede apreciar la evolución nacional del mercado de resinas plásticas.

El nivel de capacidad instalada nacional creció en la década de los setentas a una tasa de 15% promedio anual, alcanzando un volumen 525,000 toneladas en 1980. De 1980 a 1984 el crecimiento fue de 50% y de ese año al presente se ha duplicado la planta productiva contando en la actualidad con un potencial para producir 1.6 millones de toneladas anuales.

TABLA 1
INDUSTRIA NACIONAL DEL PLASTICO
(TONELADAS)

INDICADOR	1981	1983	1985	1987
PRODUCCION	655,170	668,030	833,320	1,051,436
IMPORTACION	312,180	308,147	299,135	209,550
EXPORTACION	2,120	78,066	137,785	210,986
CONSUMO	965,230	898,111	1,020,320	1,050,000

En la tabla 2 se aprecia que el 60.7% de dicha capacidad instalada corresponde a las resinas que se indican.

TABLA 2
CAPACIDAD INSTALADA

RESINAS	TONELADAS/ANO
POLIETILENO B.D.	329,000
CLORURO DE POLIVINILDO.	302,000
POLIESTIRENO.	164,020
POLIETILENO A.D.	100,000
POLIURETANOS.	66,500
TOTAL.	971,520

Durante el periodo comprendido entre 1976 y 1981, la producción nacional de resinas creció a una tasa anual promedio de 14.7% alcanzando 655,170 toneladas. De 1982 a 1984 la producción sufrió una caída del orden de 6% anual, sin embargo de 1984 a 1987 ha mostrado signos de recuperación.

En la tabla 3 se puede apreciar la producción de las principales resinas en México.

En la gráfica 1 se puede observar la participación productiva de cada una de estas resinas durante el año de 1987.

GRAFICA 1
PRODUCCION NACIONAL DE RESINAS EN 1987

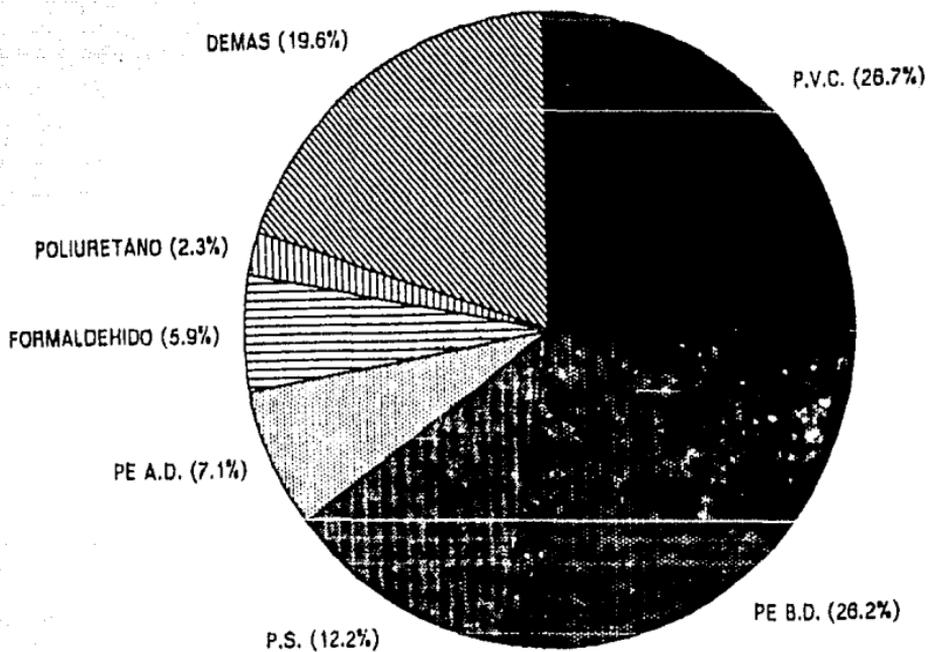


TABLA 3
 PRODUCCION DE LAS PRINCIPALES RESINAS EN MEXICO
 (MILES DE TONELADAS)

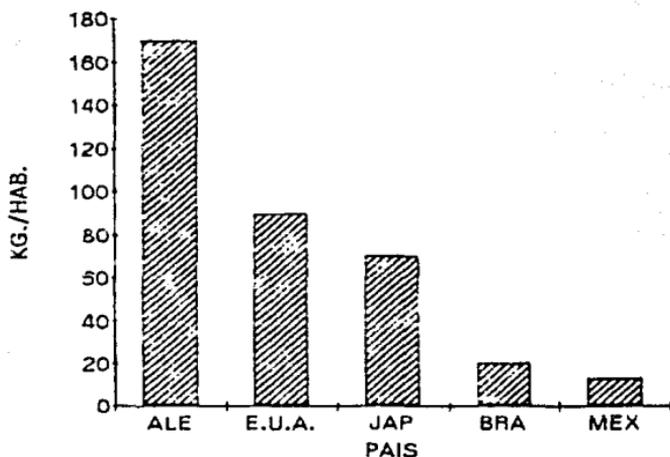
RESINA	1981	1983	1985	1987
P.V.C.	131.5	190.0	262.9	280.6
Polietileno B.D.	91.2	88.3	160.0	275.0
Poliestireno	89.7	87.9	94.2	128.2
Polietileno A.D.	78.1	82.2	67.8	75.1
Urea-Formaldehido	37.1	46.4	56.0	62.4
Poliuretanos	51.0	24.8	26.5	24.1
Las demás	176.6	148.4	166.0	206.0

En el panorama internacional la capacidad instalada para fabricar resinas estimada es de 110 millones de toneladas al año de las cuales 53% corresponden a plásticos de alto volumen. El consumo mundial se estima en 68 millones de toneladas durante 1987.

El crecimiento del consumo de plástico por habitante en los países desarrollados ha sido enorme llegando incluso en algunos países a rebasar los 100 kg/hab.

En la gráfica 2 se puede apreciar el consumo de plásticos por habitante en algunos países durante el año de 1987.

GRAFICA 2
CONSUMO PER CAPITA EN 1987.



El consumo por habitante en Estados Unidos fue de 90 kg. durante ese año, lo que hace pensar que por su cercanía geográfica con nuestro país lo convierte en un cliente potencial para nuestras exportaciones. En México el consumo per cápita durante ese año fue de 12 kg/hab. situándose aproximadamente en el lugar 30 del mundo.

1.5.- Breve descripción de los procesos y equipos utilizados para la transformación del plástico.

En el punto anterior se mencionaron los tres pasos básicos que seguía un plástico para la fabricación de un

producto. Sin embargo, existen diversos procesos para la manufactura de diversos productos terminados, según las características deseadas para dicho artículo. A continuación se presenta una descripción básica de los procesos más utilizados.

1.5.1.- Moldeo por inyección.

Este proceso se aplica principalmente a materiales termoplásticos y consiste en calentar el material hasta que alcanza su temperatura de plastificación para después forzarlo a entrar a un molde, donde se enfría para formar el artículo deseado.

Las máquinas para inyección de plástico pueden ser de dos tipos: el primero consiste básicamente de un tornillo sinfin o husillo que gira intermitentemente dentro de un cilindro. Al girar, el husillo transporta a la materia prima, en forma granular desde la tolva o alimentador, a través del cilindro, donde se calienta por medio de unas resistencias eléctricas distribuidas a lo largo de éste. La fricción entre el material y la pared del cilindro también ayuda a que el material alcance su temperatura de plastificación. Por medio de la presión ejercida por el husillo, el material es forzado a fluir a través de una boquilla colocada al final del cilindro, que comunica a éste con el molde. El molde es bipartido y generalmente enfriado por agua, de

manera que el material, al ser inyectado a través de la boquilla, es enfriado rápidamente. En el segundo tipo, la presión de inyección es ejercida por un pistón.

El proceso es cíclico, y trabaja de tal manera que, mientras una partida de material está saliendo del molde ya conformada, la otra se está calentando dentro del cilindro para inyectarse posteriormente. En la figura I.1 se pueden apreciar las partes básicas de una inyectora de plástico de husillo.

Durante el ciclo, las tres funciones básicas son las siguientes: inyección del plástico en estado de plastificación, refrigeración del plástico dentro del molde y carga del material dentro del cilindro (que se realiza al mismo tiempo que se enfría la pieza dentro del molde).

El diseño del molde es un proceso extremadamente delicado. La dificultad está en asegurar que las cavidades sean llenadas uniformemente. El plástico, una vez que ha pasado por la boquilla de inyección, fluye por el bebedero o colada hasta llegar a la cavidad del molde, que al abrir, permite la extracción de la pieza ya terminada; ésta puede ser separada de la colada rompiendo el punto de inyección. Un buen diseño de molde hace que no se requiera acabado extra para la pieza. En los materiales termoplásticos, la colada o bebedero puede ser molida y reciclada, por lo que

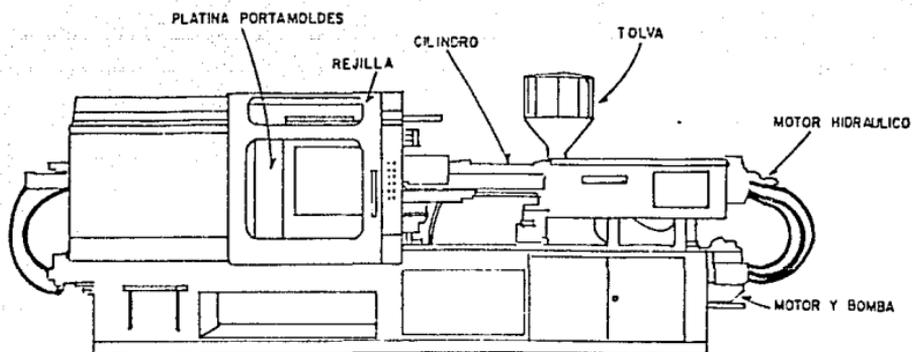
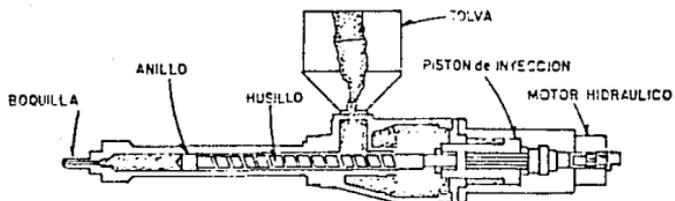


FIGURA I.1 MAQUINA INYECTORA DE PLASTICOS.



las mermas son mínimas. Además existen moldes de colada caliente, en donde la colada permanece en estado de plastificación y es aprovechada para la inyección sucesiva.

El moldeo por inyección de materiales termofijos es posible. La diferencia con respecto a los termoplásticos radica en la boquilla de inyección. El plástico es mantenido en el cilindro a una temperatura tal que pueda fluir sin alcanzar su grado de polimerización. Mientras es forzado a pasar por la boquilla, es calentado a la temperatura de curado. La boquilla entonces se vuelve a enfriar para que el material que queda en ella no se polimerice mientras se realiza la nueva inyección. La boquilla, por lo tanto, requiere de un sistema de control de temperatura. El molde es calentado para completar la polimerización y el producto se extrae caliente.

1.5.2- Moldeo por soplado.

Existen dos tipos de procesos para el moldeo por soplado. La extrusión-soplo y la inyección-soplo. En el primero, se comienza con un proceso de extrusión, descrito anteriormente, cuyo dado es un anillo que produce una barra continua de material termoplástico, que es prensada por un molde. A este molde se aplica

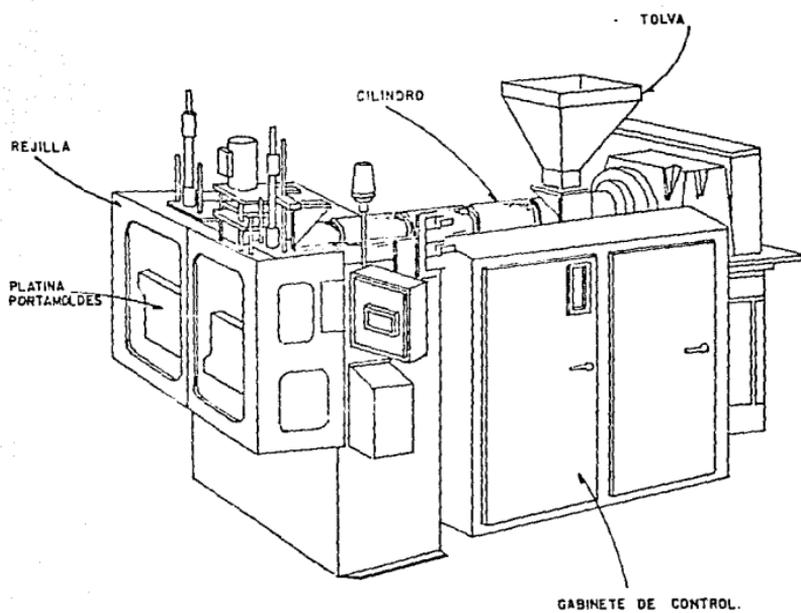
aire a presión, el cual fuerza al plástico a expandirse hacia las paredes de este. Dentro del molde, el plástico enfria alcanzando un grado de rigidez. Al terminar el tiempo de refrigeración, el molde se abre en dos mitades, liberando así al producto terminado. El ciclo completo se repite, aunque el extrusor produce el tubo de plástico continuamente. También se utiliza el proceso de inyección-soplo, en el que se inyecta una preforma, a la cual se aplica temperatura para llegar al molde en estado de plastificación, y recibir aire a presión para expandirse hacia las paredes.

Los moldes utilizados en el proceso de soplado son diferentes a los usados en la inyección, ya que los primeros sólo constan de cavidades para la formación de las piezas y los últimos requieren además de corazones que forman el contorno interior de la pieza.

La aplicación principal de este proceso son las botellas de plástico, en donde sería imposible extraer el corazón de acero a través del cuello de la botella.

En la fig. 1.2 se aprecian los principales componentes de una sopladora.

FIGURA 1.2 MAQUINA SOPLADORA DE PLASTICOS.



I.5.3.- Extrusión de plásticos.

En la extrusión de materiales, el termoplástico o el termofijo es calentado a su temperatura de plastificación y forzado a través de un dado para dar un perfil específico que se conserva por la polimerización del material, en el caso de los termofijos, o por un enfriamiento posterior, en el caso de los termoplásticos. Este proceso se aplica principalmente a termoplásticos, por lo que se describirá primero para estos materiales.

Un extrusor básico consiste de un cilindro, un alimentador, un tornillo sin fin o husillo y un dado (ver fig. I.3). Las máquinas utilizadas para la extrusión de perfiles normalmente tienen diámetros inferiores a 30 cm. La relación longitud-diámetro varía, pero lo usual es de 20:1 a 25:1.

El diseño del husillo es complejo, ya que recibe el material, lo plastifica y finalmente lo fuerza a pasar a través de un dado. Sistemas de coextrusión también son usados.

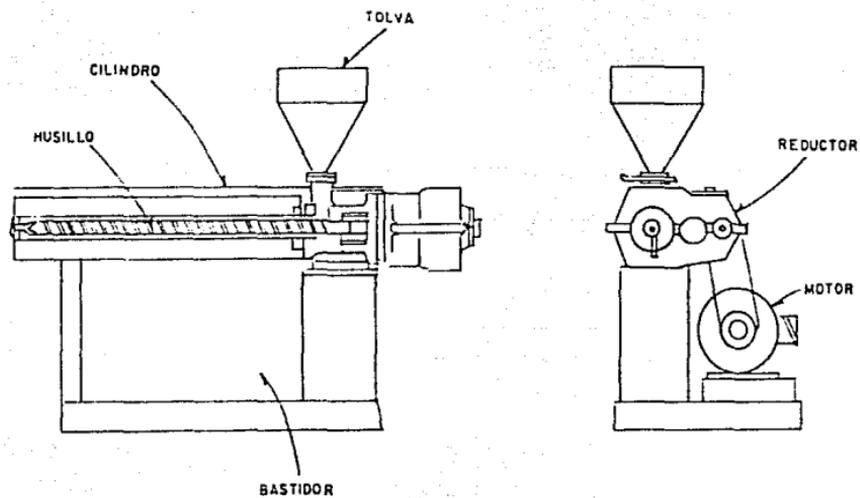
Las máquinas extrusoras se usan para la producción de formas de sección continua como barras y tubos, así como en procesos de recubrimiento de alambre. Para los productos termoplásticos se requiere un sistema de

enfriamiento que generalmente consiste en ventiladores o baños de agua.

Películas y hojas de plástico también pueden ser extruidas, obteniendo espesores inferiores a dos décimas de milímetro y anchos de dos metros o más en algunos casos. En procesos antiguos, el plástico extruido era pasado a través de un baño de agua para enfriarlo antes de que saliera del dado. Si la velocidad de extrusión es alta, es difícil secar la película o la hoja antes de ser enrollada en el colector. El baño de agua puede ser sustituido por una serie de rodillos. La trayectoria que sigue el material es una serie de eses. Los rodillos pueden tener diferentes temperaturas para obtener un enfriamiento progresivo, de manera que el plástico se vaya enfriando conforme vaya pasando por ellos, y éstos a su vez le imparten un acabado. Una vez enfriados, la película o la hoja terminadas, se enrollan a tensión. Este tipo de máquina puede ser utilizada para recubrimientos. La hoja de plástico caliente es presionada sobre el material a recubrir pasándolos juntos por rodillos al salir del dado.

Otra alternativa de producción de película es el proceso de película inflada. El extrusor produce un tubo, que es expandido por aire a presión para su enfriamiento, para después ser enrollado como película de doble espesor. Su aplicación principal es para la producción de bolsas de polietileno.

FIGURA I.3 MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICOS.



1.5.4.- Moldeo por compresión.

Este método consiste en forzar la materia prima en el molde, bajo la acción de presión y temperatura. Se puede usar para materiales termoplásticos así como para termofijos, encontrando su principal aplicación en los últimos, ya que existen procesos más baratos para el moldeo de termoplásticos. Por eso la siguiente descripción se hará para los termoestables.

La resina se mezcla con el catalizador y otros aditivos si es que éstos se requieren. La resina puede estar en forma de polvo o comprimida (como si fuera una tableta). Como las proporciones de mezcla exacta son importantes, el uso de la tableta ayuda a conservar dicha exactitud. Más aún, si el comprimido se hace con una preforma de la pieza final, se aumenta un paso en la producción pero también se aumenta la eficiencia final del proceso.

El molde es bipartido. La mezcla se coloca en la parte inferior. El molde se calienta y la sección superior baja sobre la inferior, haciendo que la mezcla llene el interior del molde. La velocidad de cierre disminuye y la presión de cierre aumenta hasta que el molde queda completamente cerrado. La presión y temperatura se mantienen el tiempo necesario para

asegurar la completa polimerización de la resina. Algunas veces el molde puede ser abierto para permitir la salida de alguna burbuja. El tiempo de polimerización es crítico, ya que si éste no es exacto se producen propiedades insatisfactorias. Una vez concluida la polimerización, se baja la presión y la pieza puede ser extraída del molde. La temperatura, presión y tiempo de polimerización dependen de la naturaleza del plástico, del tamaño y de la forma de la pieza. La aplicación del moldeo por compresión para materiales termoplásticos es similar a la descrita para los termofijos, con la desventaja de que se requiere enfriar el molde para extraer la pieza.

I.5.5.- Moldeo por transferencia.

Esta es una modificación del moldeo por compresión, por lo que su aplicación principal es para materiales termofijos. El proceso consiste en calentar la resina en una antecámara, de manera que fluya. Dentro de ésta cámara se desliza un pistón aplicando presión y haciendo pasar a la resina por un pequeño orificio que comunica a la antecámara con el molde. El pistón mantiene la presión hasta que la polimerización es concluida. Se levantan pistón y antecámara para poder extraer la pieza del molde.

El calentamiento de la antecámara y la inyección del material producen una temperatura mucho más uniforme que la que se podría alcanzar en el moldeo por compresión. Durante el paso de una cámara a otra, se lleva a cabo parte de la reacción reduciendo el tiempo de curado con respecto al mismo material moldeado por compresión. Otra ventaja es que como el molde no aplica presión sobre la tableta, existe mucho menos desgaste en éste. La principal desventaja de este proceso es el material que queda en el orificio y en la antecámara, que como ya completó la polimerización, se desperdicia.

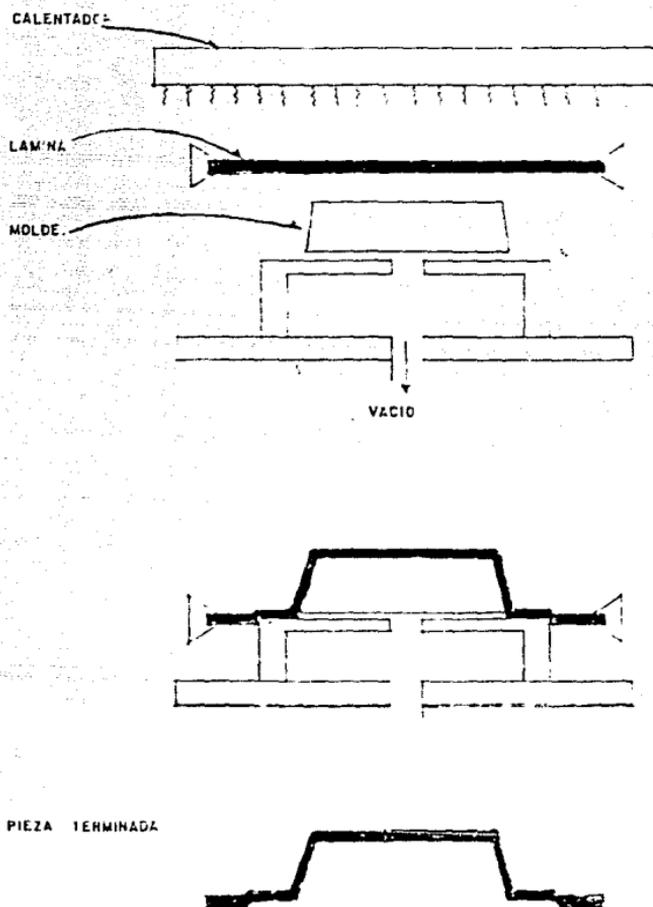
I.5.6.- Termoformado de láminas plásticas.

Las láminas termoplásticas pueden moldearse bajo la acción de calor y presión. Existen diversas técnicas para lograrlo. La más común será descrita a continuación.

Moldeo al vacío (molde abierto). Este proceso no utiliza un molde completo, es decir, de dos secciones, sino de una sola contra la cual se conforma la lámina. El termoplástico caliente es absorbido hacia el molde, conformándose a la superficie de éste. La presión atmosférica es generalmente suficiente para darle a la hoja caliente la forma deseada. Es posible modificar la forma de la hoja con variaciones en la temperatura y

presión sobre la misma. Existen serias limitaciones en los contornos hechos por este método. Los radios en los extremos de la pieza deben de ser amplios para evitar fisuras en el material. La principal ventaja es que el plástico no tiene contacto con ninguna otra superficie mientras está caliente. lo que minimiza las posibilidades de alterar las propiedades ópticas del material. La hoja se sujeta con prensas antes de ser calentada. El calentamiento se lleva a cabo con rayos infrarrojos o con calentadores eléctricos montados sobre la hoja, los cuales son retirados durante el proceso de moldeo, permitiendo al material tomar su nueva forma. Esta técnica puede apreciarse mejor en la figura I.4.

FIGURA 1.4
TERMOFORMADO DE LAMINAS PLASTICAS



CAPITULO II
PROCESO DE EXTRUSION.

II.1.- Descripción física y operativa del equipo.

En este punto, se describirán los principales componentes de un extrusor y su funcionamiento.

II.1.1.- Sistema motriz del extrusor.

La función del sistema motriz es hacer girar al husillo del extrusor a una velocidad deseada. Debe de ser capaz de mantener una velocidad constante, ya que cualquier fluctuación puede causar cambios en la forma del producto extruido. El sistema motriz debe de proporcionar la cantidad necesaria de torque a la flecha del husillo. Un tercer requerimiento en la mayoría de los extrusores es el poder variar la velocidad del husillo en un rango relativamente amplio para poder extruir un gran número de polímeros con la misma máquina. El rango normal de operación fluctúa entre 80 y 120 R.P.M., llegando en algunos casos hasta 200 R.P.M.

A través del tiempo, varios sistemas motrices han sido utilizados. Los principales son los siguientes: motores de corriente alterna, motores de corriente directa y sistemas hidráulicos.

II.1.1.1.- Motores de corriente alterna.

Los dos sistemas de corriente alterna utilizados en los extrusores son los de transmisión ajustable o los de frecuencia ajustable. Los de transmisión ajustable consisten de un acoplamiento mecánico para variar la velocidad, o de un embrague electromagnético acoplado.

A) Motores con ajuste mecánico de velocidad.

Los tres tipos de ajuste mecánico de velocidad más importantes son los engranes, las bandas y las cadenas.

Las bandas se montan sobre poleas ajustables. La distancia entre centros de las poleas puede ser variada provocando un cambio en la fricción entre la superficie de la polea y la banda. La velocidad en estos sistemas, generalmente se varía cambiando los diámetros de las poleas conductora y conducida de acuerdo a la reducción requerida. Los motores con transmisión por medio de bandas se utilizan para sistemas de hasta 100 H.P. La máxima variación de velocidades es de una proporción de 10:1 y una velocidad típica de 4000 R.P.M. Los impulsores de bandas tienen una eficiencia razonable, toleran golpes de carga y proporcionan una suavidad óptima de transmisión. Las desventajas son la generación de calor, posibles resbalones y un control de velocidad relativamente pobre en comparación con otros. Además las bandas están sujetas a deterioro y por lo tanto se requiere de un mantenimiento intensivo; las bandas

generalmente tienen que ser reemplazadas cada 2000 horas de uso.

Los motores con transmisión por medio de cadena son más durables y transmiten un mayor torque que los de bandas. El control de velocidad es mejor que en el de bandas y pueden operar a mayores temperaturas. Como desventaja se puede mencionar que este tipo de transmisión es más costoso y proporciona muy poca protección a los golpes ocasionados por la carga.

La eficiencia tanto en el sistema de cadenas como bandas es de aproximadamente 90%.

B) Sistema de embrague electromagnético.

En este tipo de transmisión no se utiliza una conexión mecánica entre la flecha de entrada y la de salida por lo que se elimina en parte el desgaste y las pérdidas por fricción. Su aplicación principal se encuentra en motores mayores de 50 H.P. debido a su bajo costo y a que es más preciso. El acoplamiento entre las flechas de entrada y salida es debido a las fuerzas magnéticas. En la industria de la extrusión el embrague de corriente eddy es el más usual y el que se utiliza hasta la fecha. La popularidad de esta transmisión radica en su simplicidad. Básicamente, el impulsor de corriente eddy consiste de un motor de corriente alterna que mueve a un tambor de acero. Adentro del tambor se

encuentra un rotor embobinado, separado por un pequeño espacio anular del tambor. Cuando un nivel bajo de corriente es aplicado al rotor, éste es arrastrado por la rotación del tambor, pero a una velocidad menor. Cuando el voltaje del rotor se reduce, se produce un deslizamiento entre el rotor y el tambor que aumenta conforme disminuye el voltaje. Controlando el voltaje en el rotor se puede controlar la velocidad.

Las características típicas de operación de un sistema de corriente eddy, son las siguientes :

-Rango de velocidad de 30:1 a un torque constante.

-Capacidad para proporcionar gran torque en condiciones estables.

La eficiencia del embrague de corriente de eddy es proporcional a la diferencia entre la velocidad de entrada y la de salida, por lo que su operación con relaciones de velocidad considerables es muy cara debido al consumo de corriente, en tales casos se puede hacer una combinación de sistemas.

C) Motores con ajuste de frecuencia.

Los motores con ajuste de frecuencia consisten de un motor de corriente alterna jaula de ardilla conectado a una fuente de poder de estado sólido que proporciona una variedad de frecuencias al motor de corriente alterna. El motor de corriente alterna jaula de ardilla

tiene diversas ventajas: bajo costo, construcción compacta y bajo mantenimiento ya que no tiene conmutador ni escobillas. El costo de este sistema está determinado por la fuente de poder de estado sólido. La fuente de poder convierte corriente alterna en corriente directa para después invertir la energía de corriente directa, proporcionando así la frecuencia y voltaje requeridos para la variación de velocidad en el motor de corriente alterna. La proporción de voltaje-frecuencia debe de ser constante para mantener una capacidad de torque invariable al variar la velocidad del motor. Casi cualquier característica de velocidad-torque se puede obtener al variar la proporción de voltaje frecuencia. La eficiencia en este tipo de sistemas es muy alta. La confiabilidad es máxima debido a que no existen funciones mecánicas.

II.1.1.2.- Motores de corriente directa.

En conjunto, este tipo de sistema es de menor costo que los sistemas de ajuste de frecuencia, a pesar de que el costo del motor de C.D. es mucho mayor que el de C.A. Sin embargo, la principal desventaja que se tiene en los motores de C.D. es el mantenimiento que se tiene que dar a conmutadores y escobillas.

El motor de C.D. puede llegar a una proporción de velocidad de hasta 100:1 y puede mantener un torque constante.

Para este tipo de motores, también se utilizan sistemas electrónicos para proporcionar la corriente directa, pero se usan menos componentes, lo que implica una mayor confiabilidad y un menor costo.

II.1.1.3.- Motores Hidráulicos.

Un motor hidráulico consiste generalmente de un motor de corriente alterna que mueve a una bomba hidráulica que a su vez impulsa a un motor hidráulico por medio de aceite a presión. Una de las ventajas de este sistema es un gran torque y potencia. El cambio en la velocidad se regula por medio de válvulas hidráulicas que permiten mayor o menor presión de aceite hacia el motor.

II.1.2.- Reductor.

El sistema impulsor (llámese motor de C.D. o A.C., o sistemas hidráulicos) da velocidades muy elevadas, más de lo necesario para la extrusión. Por lo tanto, para hacer girar al husillo del extrusor, a la velocidad y potencia requeridas, se hace uso de un reductor de

velocidad, obviamente acoplado entre el sistema motriz y el husillo.

Una proporción típica de reducción puede considerarse dentro del rango de 15:1 a 20:1.

La mayoría de los extrusores, incluyendo algunos de los más sofisticados, utilizan, para este fin, sistemas de bandas y engranes. Este sistema facilita el cambio de rango de velocidad, en un momento determinado. Sin embargo, la conexión directa a la caja de engranes (sin utilizar bandas entre el motor y el reductor) transmite el movimiento en forma más precisa y además puede lograrse un aislamiento mecánico utilizando acoplamientos flexibles entre el reductor y el husillo. Las ventajas de este tipo de aislamientos mecánicos, incluyen entre otras, la alineación muy precisa entre los componentes y la protección contra cargas de impacto que pudieran presentarse.

Los engranes más utilizados en los reductores son los de dientes en forma de V, ya que prácticamente se eliminan las cargas axiales sobre ellos y su eficiencia es de aproximadamente 97%. La gran ventaja del reductor de engranes sobre los de bandas o cadenas, es el ahorro en el consumo de energía, así como un menor mantenimiento. Necesitan, por supuesto, lubricación continua, ya sea por inmersión o circulación forzada de aceite. Muchas máquinas, en la actualidad, tienen

engranes intercambiables que permiten un cambio en el rango de velocidad.

El balance entre los rangos de velocidad, potencia disponible y tamaño del husillo, debidamente calculado, fundamenta la necesidad de un reductor de velocidades (sin importar su tipo) en una máquina extrusora.

11.1.3.- Sistema de rodamientos para el husillo.

Entendamos por rodamientos al sistema que permite el giro del husillo. Sus componentes principales son el elemento de giro que puede ser un cojinete de deslizamiento o un cojinete de rodadura (bujes o rodamientos respectivamente) y el elemento de soporte.

Generalmente están localizados en el extremo opuesto al dado, en el husillo. Esta permite el giro del husillo y la transmisión de la potencia del motor. Requiere ser diseñada para soportar, principalmente, las cargas axiales generadas por la presión del plástico en el extremo del dado. La fuerza de cálculo, se obtiene multiplicando la presión del dado por la sección transversal del husillo. La duración calculada de los rodamientos, debe ser similar a la de la vida útil de la máquina.

El diseño de los rodamientos para extrusores de un solo husillo, es relativamente sencillo, debido a que el tamaño del rodamiento puede aumentarse para obtener la

capacidad de carga requerida. Esta situación es completamente distinta para el caso de extrusores de doble husillo debido a la limitante de espacio impuesta por la separación entre los dos husillos. Recientemente se ha solucionado este problema con arreglos de dobles rodamientos axiales, logrando así soportar la carga de presiones iguales y hasta un poco mayores que las conseguidas en máquinas de husillo simple.

El uso de cojinetes de deslizamiento es prácticamente nulo, debido a que a bajas revoluciones su capacidad de carga es muy deficiente.

11.1.4.- Cilindro y Garganta.

El cilindro, conocido también como "barril" o "cañón", es la parte del extrusor que contiene al husillo. El parámetro dimensional que caracteriza a un cilindro, es la relación que existe entre su longitud (L) y su diámetro interno (D), expresado en forma aritmética como el cociente L/D . A medida que la longitud es mayor, ofrece un calentamiento más uniforme. Las máquinas más comunes tienen un cociente L/D de 20 a 24 y las más sofisticadas llegan a tener un $L/D = 30$.

El cilindro debe de estar construido con un metal muy duro y resistente al desgaste. Se utilizan aceros tratados superficialmente para reunir estas características.

El cilindro debe resistir presiones de hasta 70 MPa sin deformarse. En casi todos los casos, la superficie interior del cilindro es objeto de un tratamiento electrolítico o químico, aumentando así su dureza para minimizar el desgaste y aumentar la vida útil. El método más utilizado es la nitruración. El espesor total de la capa nitrurada debe de ser de aproximadamente 0.4 mm como mínimo (0.015").

Otra forma de obtener una superficie dura es haciendo una fundición centrífuga de una aleación dentro del cilindro. Esta capa tiene un espesor de 1.5 a 2 mm, logrando aumentar la vida útil del cilindro de 4 a 8 veces.

Cabe puntualizar, además, que la superficie del cilindro (principalmente la interior), debe estar perfectamente pulida, totalmente libre de rayones o surcos. Por otro lado, se aconseja que todo el cilindro de un extrusor esté hecho de una sola pieza para evitar escurrimientos del material, o cualquier otro tipo de fuga.

El cilindro presenta un orificio de alimentación o GARGANTA que permite el acceso del material sólido que viene de la tolva, al interior del cilindro, introduciendolo a los canales del husillo. En algunos extrusores, la garganta está hecha en el mismo cilindro, es decir, que ambas partes forman una sola pieza, del mismo material. Esto acarrea ciertos inconvenientes ya

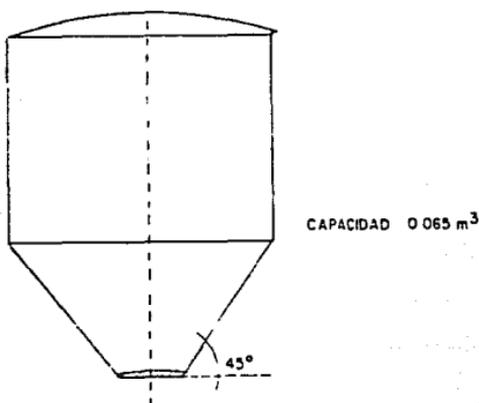
que el calor transmitido por las paredes del cilindro, hacia la garganta, comienza a plastificar al polimero en esta seccion, obstruyendo la entrada del material, e incluso impidiendo el deslizamiento del material sólido hacia el dado por el husillo. En estos casos, se logra mantener a la garganta a una temperatura adecuada, enfriándola por agua. Desgraciadamente esta seccion de enfriamiento del cilindro colinda con la zona de calentamiento que le sigue, por lo que las eficiencias de ambas secciones son significativamente más bajas que en otras.

La forma geométrica de la garganta debe garantizar un flujo eficiente del material, de la tolva al husillo. La forma de la garganta es comúnmente circular o cuadrada, pero es recomendable que sea de la misma forma que la salida de la tolva.

II.1.5.- Tolva.

La tolva es el elemento principal de alimentación del extrusor. En su forma más común, es una simple "caja" hecha de lámina, colocada precisamente sobre la garganta de alimentación del cilindro, y que introduce a la materia prima sólida al interior del cilindro, generalmente por gravedad (ver figura 2.1). Sin embargo, la tolva puede no ser tan sencilla, dependiendo del plástico que se maneje.

Si el material necesita ser precalentado, o en caso de estar húmedo, ser secado, la tolva está acondicionada con un dispositivo que suministra aire caliente y seco al material. Por otro lado, en muchas ocasiones la materia prima es polvo muy fino de muy baja densidad aparente. En estos casos, la tolva debe disponer de algún mecanismo que pudiera ser un vibrador o un agitador, que rompa los "puentes" formados por el polvo y que impiden que el material caiga por su propio peso. Los agitadores sirven a su vez para mezclar pigmentos o cargas con el material. En varias ocasiones, un ligero golpe a la tolva es suficiente para romper los puentes.



TOLVA DE ALIMENTACION

Figura 2.1

Una propiedad importante del material para el diseño de la tolva, es el ángulo de la fricción interna. El ángulo de las paredes de la tolva con respecto a la horizontal, como regla empírica, debe ser mayor que el ángulo de fricción interna. Si el ángulo de fricción interna del material es muy grande, hara puentes en cualquier tolva, por lo que será necesaria la alimentación forzada que consiste en aplicar presión al material, sin embargo este caso es muy raro.

II.1.6.- Husillo.

El husillo o tornillo, está considerado como el corazón de un extrusor, y como el elemento que tiene el mayor campo dentro del diseño de esta maquina. A pesar de los enormes esfuerzos realizados hasta la fecha para encontrar un tornillo "universal" que sirva para todos los materiales, es indudable la necesidad de diseñar un tornillo para cada caso.

El husillo se puede definir como una barra, cuyo diámetro varía a lo largo de las diferentes secciones del cilindro y alrededor del cual existen una o mas cuerdas. El diámetro exterior de un husillo, medido de la punta de la cuerda, a la punta de la cuerda en el extremo opuesto, es por lo general constante. (ver figura 2.2).

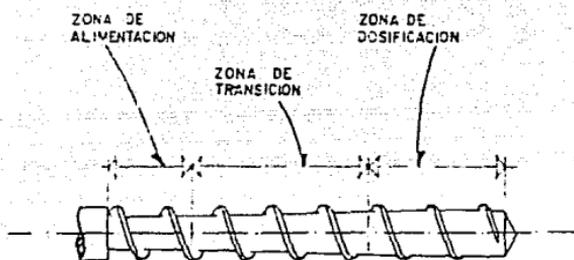


Figura 2.2

De acuerdo a las diferentes etapas por las que atraviesa el material a lo largo de un extrusor, para ser finalmente extruido, se puede dividir al husillo en tres secciones o zonas principales. La sección del tornillo que va inmediatamente después del reductor, es la zona de alimentación. Esta se caracteriza por tener la mayor profundidad de canal entre cuerdas. A continuación, sigue la zona de transición o plastificación. Es en esta zona donde se presenta la más intensa fricción del material, partícula con partícula, con la superficie del cilindro y con la del tornillo, y como consecuencia, la plastificación del sólido. Seguida de esta zona viene la zona de bombeo o de dosificación del material plastificado. Aquí, se incrementa la presión, se homogeneiza el fluido y alcanza la temperatura adecuada para ser extruido. La relación entre la profundidad de canal de plástico en la zona de alimentación con respecto a la de bombeo, puede ser tan pequeña como 2:1, para materiales como LDPE, o tan grande como 4:1, para algunos nylons.

Los dientes del tornillo son los que le permiten desplazar al material a través de todo el cilindro. Presentan un ángulo de inclinación que puede variar de 15 a 20°. El valor más común es de 17.6°.

La distancia entre cuerdas es aproximadamente igual al diámetro interior del cilindro. Debido a las

contracciones y expansiones térmicas del metal, el husillo no debe entrar justo al cilindro. La distancia radial entre el extremo del diente y la superficie del cilindro (a temperatura ambiente) es del orden de 2 décimas de mm.

El husillo está fabricado de aceros de baja aleación. Las cuerdas deben estar endurecidas para prevenir rupturas. Esto se logra por medio de algún tratamiento térmico o electrolítico. En algunos casos especiales, se cubre el tornillo con capas de aleaciones níquel-cromo para evitar la corrosión.

II.1.7.- Filtro y plato rompedor.

Al final del cilindro, antes del dado, se encuentra un filtro, el cual ayuda a uniformizar el flujo y obviamente evita que partículas extrañas (sólidas) entren a la sección del dado. Este filtro es un conjunto de pantallas o mallas de alambre de acero inoxidable, de las cuales la más pesada debe ser la primera en recibir el flujo, evitando así, que las más débiles se rompan por la presión de extrusión. En algunos casos se utilizan polímeros altamente contaminados, por lo que el filtro debe ser cambiado regularmente. En estos casos se utiliza un cambiador automático para evitar desarmar la máquina y poder sustituir el filtro.

Entre el extremo del cilindro y el dado, podemos encontrar el plato rompedor, el cual tiene como función principal eliminar la inercia espiral que el plástico lleva al ser transportado por el husillo, uniformizando más el material plastificado, sirviendo además como soporte del paquete de filtros, y en algunos casos, como sello mecánico.

El plato rompedor es un disco de acero, con un espesor de aproximadamente el 20% del diámetro del cilindro; presenta perforaciones de 3.2 ó 6.4 mm (1/8" ó 1/4") de diámetro y en el caso de que la extrusión sea de lámina o película, los orificios son sustituidos por ranuras paralelas.

La presencia del plato rompedor y del paquete del filtro, incrementa la presión al menos en 17.5 kg/cm² (250 psi), con tendencia a elevarse aún más si se utilizan mallas más cerradas y platos más robustos. Sin embargo, no es recomendable este procedimiento para elevar la presión, ya que las mallas más finas se pandean muy fácilmente, requieren ser cambiadas muy seguido y no pueden ajustarse durante la operación.

II.1.8.- Dado.

Instalado al frente del extrusor, se encuentra el dado. Puede ser un simple anillo para producir tubería, o puede ser tan complejo que presente cavidades tales

que sirva para la fabricación de complicados perfiles de ventanas; puede usarse para forrar cable; puede ser un anillo de diámetro muy grande, de sección muy pequeña para permitir la inyección de aire al centro del anillo, fabricando película; también puede tener muchos hoyos pequeños a través de los cuales se extruyen filamentos para la industria textil.

De acuerdo a lo anterior, los dados utilizados pueden clasificarse, por su forma, en dados para perfiles sólidos o huecos. Más adelante, al llegar al diseño de concepto de la máquina, se describirá con más detalle la forma y el funcionamiento del dado. En la figura 2.3 se aprecia un ensamble de dado para fabricar tubería.

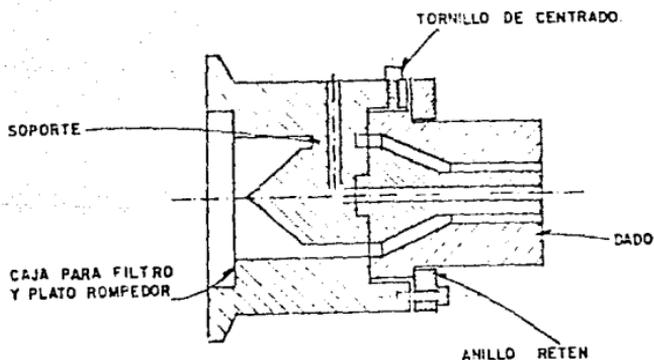


Figura 2.3

11.1.9.- Sistemas de calefacción y enfriamiento.

Se requiere de calentamiento en un extrusor para elevar la temperatura de la máquina a la temperatura de operación al iniciar, ó para mantener la temperatura adecuada durante el proceso. El método mas utilizado es el calentamiento eléctrico por medio de resistencias tipo panda colocadas a lo largo del cilindro. Estas ofrecen ventajas como bajo costo, facilidad de mantenimiento y limpieza y un amplio rango de temperaturas al ser controladas por pirómetros.

Los elementos eléctricos se colocan a lo largo del cilindro agrupados por zonas. Los extrusores pequeños tienen de dos a cuatro zonas, mientras que los extrusores más grandes llevan de cinco a seis zonas. En la mayoría de los casos, cada zona tiene un control independiente de manera que se pueda obtener un perfil de temperatura a lo largo del cilindro adecuado al material de que se trate.

Las resistencias pueden ser de diversos materiales. Las más simples son de alambre aislado, con tiras de mica, sujetas entre hojas de acero flexibles. Son compactas y baratas, pero también son frágiles y no muy confiables. Su capacidad máxima es de 50 kW/m² y una temperatura máxima de 500 C. Nuevos tipos de mica han

incrementado su capacidad hasta 65 kW/m². La eficiencia y la vida útil de estas resistencias dependen en mucho de un buen contacto entre el elemento calentador y el cilindro en toda el area de contacto. Existen pastas que aumentan la transferencia de calor entre el elemento y el cilindro.

Los calentadores cerámicos normalmente duran más que los de mica y tienen capacidades de 60 kW/m² ó mayores, y resistencia térmica hasta de 750 C. La desventaja principal es que no son flexibles pero muy voluminosas. Existen diseños delgados bipartidos que se unen alrededor de todo el cilindro.

Otro tipo de elemento calefactor es el que está hecho en fundición de aluminio, semicircular o plano. Tiene muy buena conductividad térmica, son confiables y tienen una buena vida útil. Tienen una capacidad de potencia de 55 kW/m² y capacidad térmica de hasta 400 °C.

El sistema de enfriamiento se utiliza en algunos extrusores para reducir el exceso de calor generado por la fricción del husillo, ya que éste gira continuamente. El método más utilizado es el de sopladores de ventilador distribuidos a lo largo del cilindro de la maquina, aunque en algunos casos dichos sopladores no son necesarios.

Otra sección que requiere de enfriamiento es la garganta del cilindro para evitar que se plastifique el

polímero dentro de la tolva. Para esto se hace circular agua en la sección de la garganta.

II.1.10.- Equipo Auxiliar.

Para obtener tubería de polietileno con cierto grado de calidad es necesario contar con equipo auxiliar o periférico al extrusor.

Los siguientes equipos auxiliares se pueden mencionar como necesarios:

- Tina de enfriamiento.
- Máquina jaladora.
- Cortador.

1) Tina de enfriamiento:

El polietileno es especialmente difícil de enfriar, ya que el calor generado debe de ser eliminado durante la cristalización. Entre más denso sea el material, mayores serán los requerimientos de enfriamiento. Una longitud típica de tina de enfriamiento para este tipo de tubería es de 2 a 3.5 m.

2) Máquina jaladora:

La máquina jaladora es de suma importancia ya que la velocidad de salida se debe de mantener constante para que el tamaño de la tubería sea siempre constante. Un jalador debe de sostener al tubo firmemente y sin resbalar. Por lo general los jaladores son fabricados

con superficies de contacto de hule de llanta. La velocidad típica de salida de tubería de polietileno de 50 mm de diámetro es aproximadamente de 2 m./min. El sistema motriz del jalador consiste de un motor de corriente alterna con un reductor de velocidad.

3) Cortador:

Es necesario un cortador para seleccionar la longitud de tubería requerida. Este consiste simplemente de una cuchilla que es accionada por un microinterruptor fotoeléctrico o de carretilla.

II.2.- Diferentes etapas para la transformación del plástico en el proceso de extrusión y tipos de productos extruidos.

Durante el proceso de extrusión el polímero pasa por diferentes etapas, de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

1) Tratamiento previo:

En algunos materiales, se requiere de un secado previo con aire caliente para asegurar una superficie uniforme del producto y óptimas condiciones de extrusión. Sin embargo, el polietileno no requiere de este tratamiento ya que no es un material higroscópico y no absorbe la humedad del medio ambiente.

2) Alimentación:

El plástico baja por efecto de gravedad de la tolva hacia el cilindro en estado sólido granulado.

3) Transición:

El material granulado, al avanzar a lo largo del cilindro comienza a alcanzar su temperatura de plastificación, es decir, el material sólido granulado comienza a adquirir un estado de plastificación por efectos de temperatura y presión.

4) Bombeo o Dosificación:

El polímero alcanza a plenitud su temperatura de plastificación y está listo para ser extruido por el dado hacia el exterior del cilindro.

Tipos de productos extruidos:

Los principales productos extruidos se pueden clasificar en seis áreas de aplicación, cada una con su propia tecnología. Estas seis áreas son las siguientes:

- 1) Tubería.
- 2) Lámina.
- 3) Película.
- 4) Recubrimiento de cables.
- 5) Monofilamentos.
- 6) Perfiles diversos.

CAPITULO III

DISEÑO DE CONCEPTO DE LA MAQUINA EXTRUSORA.

III.1.- Determinación del producto extruido.

Para el diseño de cualquier máquina extrusora de plásticos, es de suma importancia determinar el producto que se quiere obtener de ella. Por lo tanto, es necesaria una definición previa de las características finales del producto, como son, forma y tamaño, y de otros datos como la producción requerida (kg/hr), etc.

La selección del material esta en función directa de una necesidad, pudiendo ser esta: técnica, económica (reducción de costos, etc.), física (aligerar peso, mejorar apariencia, etc.), comercial (alta demanda, introducción de un nuevo producto, etc.) ó social (que facilite un mejor aprovechamiento de los recursos, generando un beneficio a la comunidad, etc.), entre otras.

En base a la experiencia, de entre los materiales plasticos más utilizados para el proceso de extrusión, tenemos : P.V.C., polietileno, poliestireno, acrílico y nylon, siendo el polietileno un material muy común para la fabricación de artículos de vida útil muy corta y de amplia circulación. Esto trae como consecuencia una cantidad excesiva de desechos de productos de polietileno y la necesidad de hacer algo con ellos para reducir el deterioro ecológico.

Con estos parámetros, se busca la fabricación de un producto que pueda usar como, materia prima, dichos

desechos. Existen muchos productos de polietileno que por sus características de trabajo, no requieren propiedades físicas de primera calidad, y fabricarlos con material de desecho no tendría repercusiones en su aceptación comercial. Ejemplos de estos productos son: tubo conduit, juguetes, bolsas para basura y empaques en general.

Actualmente existen productos de polietileno fabricados con material de desecho reciclado y peletizado antes de entrar a la extrusora. Uno de los objetivos de esta tesis es diseñar una maquina extrusora que pueda trabajar con material de desecho previamente peletizado.

De entre los productos mencionados, la fabricación de tubería tiene características que pueden ofrecer algunas ventajas.

La tubería de polietileno encuentra su aplicación en la conducción de agua potable, fluidos químicos corrosivos, aceites y gases e instalaciones sanitarias y eléctricas.

Debido a que este trabajo tiene por objetivo un diseño experimental, es conveniente seleccionar una tubería que por su aplicación no requiera de propiedades muy estrictas. De aquí se selecciona la fabricación de tubería de polietileno conduit debido a que su función se reduce a introducir, colocar, guiar, o simplemente apoyar el cableado de cualquier instalación eléctrica y

protegerlo contra esfuerzos mecánicos imprevistos y medios ambientes desfavorables como son los húmedos, corrosivos, oxidantes, etc. Este tipo de tubería de polietileno también puede conducir fluidos a temperatura ambiente.

Para este tipo de tubería se debe de utilizar por lo menos una proporción del 70% de materia prima virgen para que al mismo tiempo que se utiliza material de desecho, el producto final no se vea afectado por degradación excesiva del material.

En base a la experiencia, la tubería de polietileno comercial más utilizada va de 12.7 a 50.8 mm. (1/2" a 2") de diámetro. Una máquina capaz de fabricar tubería de 50.8 mm. de diámetro, tiene la versatilidad suficiente para producir tubería del mismo material en diámetros inferiores, por lo que el producto final extruido que se tomará como parámetro para el diseño de la máquina será tubería de polietileno de 50.8 mm. (2") de diámetro.

III.2.- Características específicas de la máquina.

Tomando en cuenta que el producto final que se va a manufacturar será tubería conduit de polietileno, se considerarán algunos parámetros para el diseño de la máquina de manera empírica, basados en la experiencia

del funcionamiento de algunas máquinas extrusoras, y a partir de ellos se diseñaran los demas sistemas de esta.

Para obtener tubería de polietileno de hasta 50.5 milímetros de diámetro se requiere de una maquina cuyo cilindro tenga 40 mm. de diámetro interior. La relación L/D para este tipo de máquinas es de 24:1. Esta es la relación entre la longitud total del cilindro y el diámetro interior de éste. La potencia requerida en el motor para obtener una producción de 60 kg/hr de polietileno debe de ser de 25 H.P.

Estos datos han sido obtenidos por fabricantes de máquinas por medio de pruebas experimentales llevadas a cabo en cilindros y husillos de diversos tamaños en los cuales se llega a un punto óptimo de operación para extruir polietileno. A partir de estos datos se diseñaran los diferentes sistemas de la maquina.

III.3.- Diseño de cada uno de los sistemas.

Para efectos de diseño de la maquina, se tomarán en cuenta diferentes sistemas, los cuales se analizarán por separado.

Los sistemas a considerar para un adecuado funcionamiento son los siguientes:

III.3.1.- Sistema de Extrusión.

En una máquina extrusora se considera al husillo y cilindro de ésta como el sistema principal o alma de la máquina. Por ésta razón se comenzara con este diseño y a partir de el se relacionarán los demás sistemas.

III.3.1.1.- Husillo.

Antes de comenzar con el diseño del husillo, definiremos sus tres zonas para un mejor entendimiento de lo que pasa con el material. Estas zonas se pueden apreciar en la figura 3.1.

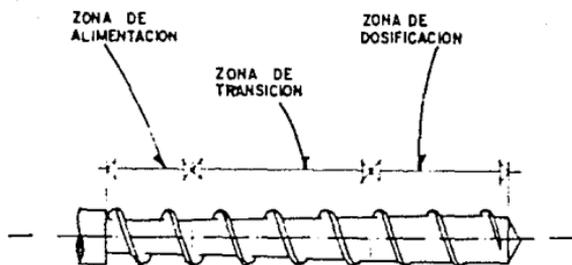


Figura 3.1

En la primera zona o zona de alimentación, el plástico es alimentado en estado sólido granulado, en donde comienza su transporte hacia la parte delantera del cilindro. En la segunda zona o zona de transición, el plástico sólido granulado comienza a alcanzar su temperatura de plastificación, es decir, existe un cambio entre el material sólido granulado y el

plastificado. En la tercera zona o zona de dosificación se transporta exclusivamente material plastificado, listo para ser extruido por el dado.

Para efectos de análisis, los límites de las zonas varían de acuerdo a cada material, pero como regla se pueden tomar los siguientes datos:

- Longitud de la zona de alimentación de 4 a 8 veces el diámetro interior del cilindro.

- Longitud de la zona de dosificación de 6 a 10 veces el diámetro interior del cilindro.

- El resto de la longitud del husillo se considera como zona de transición.

Geometría del Husillo.

El análisis de las zonas de la máquina requiere de un conocimiento de las zonas básicas que describen la geometría del husillo de un extrusor. La geometría de la cuerda del husillo a lo largo de la superficie del mismo, puede ser dibujada desenrollando la cuerda sobre un plano. Esta cuerda formará un triángulo rectángulo como el que aparece en la figura 3.2.

La base del triángulo es la mitad del paso de la cuerda, siempre y cuando la altura del triángulo sea la mitad de la circunferencia sobre la superficie del husillo. El ángulo superior del triángulo es el ángulo de hélice. D_h es el diámetro del husillo.

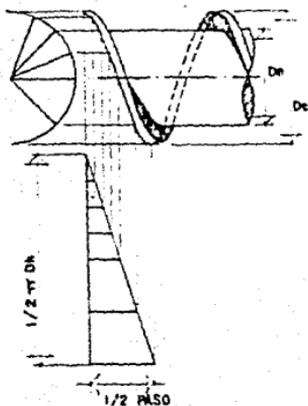


Figura 3.2

Ahora que ya sabemos las diferentes zonas del husillo, así como su geometría, procedamos al diseño de éste.

Consideraciones mecánicas.

Sin tomar en cuenta los detalles de la geometría del husillo, es de gran importancia que éste tenga la resistencia mecánica para soportar los esfuerzos provocados por el proceso de transporte de material.

Esfuerzo de torsión sobre el husillo.

Un requerimiento importante que debe de tener el extrusor es la capacidad de transmitir el torque necesario para poder hacer girar al husillo. El área más crítica con respecto a este punto es la sección de alimentación ya que generalmente el área de sección transversal del husillo en esta sección es la más pequeña y por consiguiente el esfuerzo de torsión también es el más bajo. El torque transmitido al husillo puede ser determinado de la potencia que recibe éste [P] y la velocidad de rotación del mismo [N].

$$T = C \frac{\text{Pot. Husillo}}{N} \quad (3-1)$$

Donde C es una constante de conversión.

Si P está expresada en H.P. y N en rev/min. La constante C deberá de ser igual a 7124 para dar un torque expresado en Newton-metro. Esta fórmula está basada en la relación entre torque, velocidad angular y potencia:

$$\text{Pot.} = T\omega = \frac{2\pi TN}{60} \quad (3-2)$$

Se puede observar que el torque transmitido es directamente proporcional a la potencia e inversamente proporcional a la velocidad del husillo.

La potencia transmitida al husillo se obtiene mediante el siguiente criterio:

$$\text{Pot husillo} = \text{Pot motor} \cdot n_{\text{Motor}} \cdot n_{\text{Transmision}} \dots (3.3)$$

Donde n es la eficiencia.

Una eficiencia razonable en estos sistemas es generalmente del 90%. Por lo que se considerara la potencia transmitida al husillo 81% de la potencia del motor.

El esfuerzo cortante en la flecha resultante del torque T puede ser expresado como:

$$\tau = \frac{2Tr}{\pi R^4} = \frac{Tr}{J} \quad (3-4)$$

Donde J es el momento polar de inercia.

La figura 3.3 muestra la distribución de esfuerzos en una flecha circular de radio R .

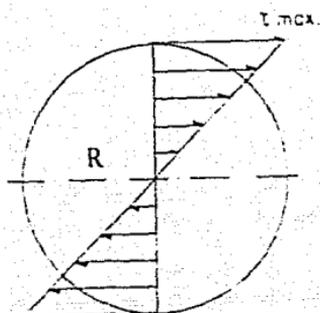


Figura 3.3

El máximo esfuerzo ocurre cuando $r=R$ y por lo tanto el máximo esfuerzo debido a la torsión en la flecha puede ser expresado como:

$$\tau_{\max} = \frac{2T}{\pi R^3} = \frac{TR}{J} \quad (3-5)$$

Para evitar una falla en la flecha del husillo, el máximo esfuerzo debe de ser menor al esfuerzo permisible del material del husillo.

Para que el husillo tenga la suficiente resistencia a la torsión, la siguiente desigualdad se debe de cumplir:

$$R > \left(\frac{2T}{\pi T_m} \right)^{1/3} \quad (3-6)$$

De esta desigualdad se puede obtener la máxima profundidad del canal de plástico en la sección de alimentación:

$$\text{Prof. max} = \frac{1}{2} D - \left(\frac{2T}{\pi T_m} \right)^{1/3} \quad (3-7)$$

Donde D es el diámetro interior del cilindro.

T es el torque en el husillo.

T_m es el esfuerzo permisible del material.

Para nuestra máquina consideraremos N=80 R.F.M, considerada como velocidad media para extruir tubería de polietileno y una potencia en el motor de 25 H.P.

El material a utilizarse en el diseño del husillo será un acero comercial 4140 tratado termicamente, por sus características especiales para la fabricación de partes para maquinaria.

El tratamiento térmico aplicado deberá de proporcionar un esfuerzo de cedencia de 785 Mpa para evitar un desgaste prematuro de las partes mecánicas del sistema de extrusión. Para el cálculo por resistencia de las partes mecánicas se utilizará un factor de seguridad

de 2. Por lo tanto, para calcular el mínimo diámetro permisible del husillo en la zona de alimentación y por consiguiente la máxima profundidad del canal de plástico en el husillo tenemos lo siguiente:

Substituyendo valores en la ecuación 3-1 y considerando una eficiencia en el motor y la transmisión de 80% tenemos:

$$T = \frac{(7124)(25 \text{ H.P.})(0.8)}{80 \text{ R.P.M.}} = 1781 \text{ Nm.}$$

Para obtener el esfuerzo permisible del material, dividimos el valor del esfuerzo de cedencia de éste entre 2 y el factor de seguridad, que también es 2.

$$\tau_m = \frac{785 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{(2)(2)} = 196.25 \text{ MPa}$$

Substituyendo en la ecuación 3-7 los valores encontrados, tenemos:

$$\text{Prof. max.} = \frac{1}{2} (0.06\text{m}) - \left[\frac{2 (2137.2 \text{ Nm})}{\pi (196.25 \times 10^6 \text{ N/m}^2)} \right]^{1/3}$$

$$\text{Prof. max.} = 0.012\text{m} = 12\text{mm}$$

Por lo tanto el mínimo diámetro en el husillo en la zona de alimentación debe de ser:

$$D_h = 0.06\text{m} - (0.012\text{m})^2 = 0.036\text{m} = 36\text{mm.}$$

Para un efecto de compresión del material, la profundidad del canal de plástico va disminuyendo conforme el plástico avanza hacia el dado de extrusión. Sin embargo, este espesor debe de ser de por lo menos 2 mm. para que pueda fluir en forma satisfactoria. Como regla general se puede tomar una relación entre la profundidad del canal de plástico en la zona de alimentación y la zona de dosificación de 3. Por lo tanto, la profundidad del canal de plástico en la parte más cercana al dado de extrusión es la siguiente:

$$\text{Max. prof. (dosificación)} = \frac{\text{Max. prof. (alimentación)}}{3}$$

$$\text{Max. prof. (dosificación)} = \frac{12 \text{ mm.}}{3} = 4 \text{ mm.}$$

Por lo tanto, el diámetro del husillo en la zona de dosificación debe de ser:

$$D_h = 0.06m. - (0.004m.)^2 = .052m. = 52mm.$$

Cálculo del espesor de la cuerda del husillo por resistencia mecánica.

Las cargas sobre la cuerda del husillo ocurren por un diferencial de presión ΔP entre los 2 lados de la

cuerda del husillo. Esta situación se muestra en la figura 3.4.

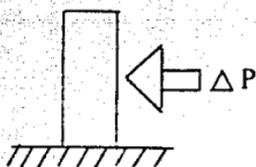


Figura 3.4

Si analizamos esta situación como una viga empotrada en voladizo como la de la figura 3.5, podemos obtener el diseño del ancho de la cuerda por resistencia mecánica.

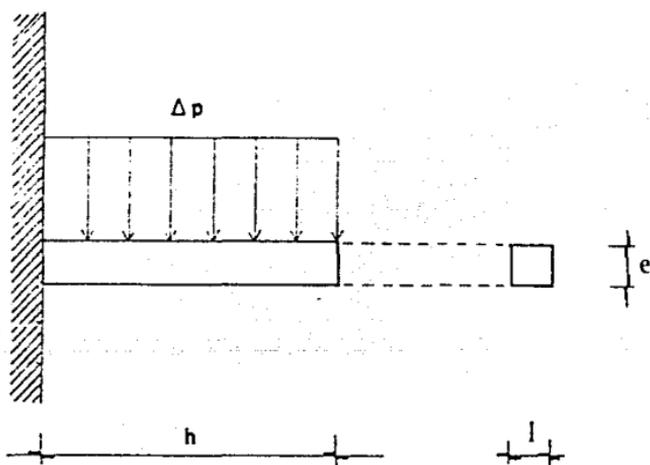


Figura 3.5

El cortante máximo crítico para el material que es acero 4140 tratado es el siguiente:

$$\tau_{m4140} = \frac{\sigma_{y4140}}{2} \dots\dots\dots 3-8.$$

$$\tau_{m4140 \text{ max.}} = \frac{\tau_{m4140}}{F.S.} \dots\dots\dots 3-9.$$

Considerando una longitud de cuerda unitaria se tiene:

$$\tau_m \text{ max.} = \frac{\text{Fuerza cortante}}{\text{Area}} = \frac{\Delta Ph}{el} \dots\dots\dots 3-10.$$

Despejando para el espesor en la ecuación 3-10 y substituyendo la ecuación 3-8 en la 3-9 tenemos:

$$e = \frac{\Delta Ph}{\sigma_{y4140}/(2)F.S.} \dots\dots\dots 3-11.$$

Tomaremos un diferencial de presión de 70 Mpa y la altura de la viga será tomada de la profundidad del canal de plástico en la zona de alimentación, para obtener el máximo espesor. El factor de seguridad será de 2. Así, substituyendo valores en la ecuación 3-11 obtenemos el espesor de la cuerda del husillo.

$$e = \frac{(70 \text{ Mpa.}) (0.012 \text{ m.})}{(785 \text{ MPa.}) / (2) (2)}$$

$$e = .0043 \text{ m.} = 4.3 \text{ mm.}$$

Angulo de Hélice.

El ángulo de la hélice de la cuerda del husillo tendrá un valor óptimo cuando el transporte de material hacia adelante sea máximo. Naturalmente, a 0° o 90° el transporte de material es nulo, por lo que el ángulo de hélice debe de ser un valor que oscile entre 0° y 90° . Es difícil precisar este ángulo analíticamente debido a la diferencias de fricción entre el cilindro y el material sólido, o totalmente plastificado. Experimentalmente se ha determinado que el rango para este angulo está entre 15° y 20° encontrando su valor óptimo en la mayoría de los casos en 17.6° .

Debido a que la relación de longitud entre diámetro interior del cilindro para esta máquina es de 24:1 y el diámetro interior del cilindro es de 0.06 m., la longitud total del husillo será de 1.44 m.

Por lo tanto, el husillo de la máquina tendrá las siguientes características:

Longitud total: 1.44 m.

Diámetro en la zona de alimentación: 36 mm.

Diámetro en la zona de dosificación: 52 mm.

Espesor de la cuerda: 4.3 mm.

Angulo de hélice: 17.6° .

III.3.1.2.- Cilindro de la Máquina.

Por medio de la experiencia, se sabe que para extruir tubería de polietileno de hasta 50.8 mm. de diámetro es necesaria una máquina de 60 milímetros de diámetro interior, con relación L/D de 24:1 y cuya capacidad de producción es de aproximadamente 60 kg/hr.

El cilindro será diseñado para ser construido en acero tratado 4140 con un valor de resistencia al esfuerzo de cedencia de 705 Mpa.

Al diseñar un cilindro para soportar una presión interna, se deben de considerar los siguientes puntos:

1) La clase del material con el que se va a construir el cilindro (si es frágil o ductil).

2) La constitución de los extremos del cilindro (si son abiertos o cerrados).

3) Si el cilindro está clasificado como de pared delgada o de pared gruesa.

Un cilindro se considera de pared gruesa cuando la relación entre el espesor de la pared y el diámetro interior es superior a 0.1. Si es menor o igual a 0.1 se le considera de pared delgada.

Para el cilindro de la extrusora se considerará que es de pared gruesa y el material frágil. Para cilindros de éste tipo sometidos a presión interna tanto de

extremos cerrados como de extremos abiertos se utiliza la ecuación de Lamé:

$$e_c = \frac{D_c}{2} \left[\sqrt{\frac{\tau_m + P}{\tau_m - P}} - 1 \right] \dots\dots\dots 3-12$$

Donde e_c = espesor del cilindro.
 D_c = diámetro interior del cilindro.
 P = Presión interna.
 τ_m = esfuerzo cortante crítico del material.

Para el diseño de una pieza sometida a cierto esfuerzo es necesario aplicar un factor de seguridad.

El esfuerzo de diseño está determinado por el cociente entre la propiedad aplicable del material (en este caso esfuerzo de cedencia) y el factor de seguridad.

Los factores de seguridad basados en el esfuerzo de cedencia se toman frecuentemente entre 1.5 y 4. Para nuestro caso tomaremos 3 como factor de seguridad.

Al aplicar la ecuación de Lamé (3-12) se obtiene:

$$e_c = \frac{0.06 \text{ m.}}{2} \left[\sqrt{\frac{(785 \text{ Mpa.} / (3)(2)) + 70 \text{ Mpa.}}{(785 \text{ Mpa.} / (3)(2)) - 70 \text{ Mpa.}}} - 1 \right]$$

$$e_c = .0245 \text{ m.} = 24.5 \text{ mm.}$$

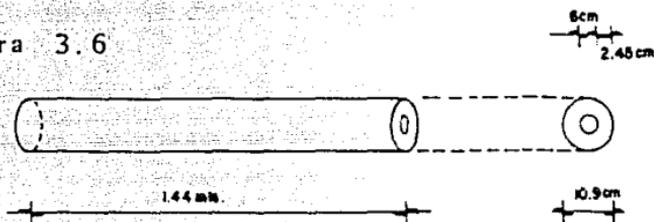
Por lo tanto el espesor de pared que debe de llevar el cilindro debe de ser por lo menos de 24.5 mm.

Debido a que la relación entre lo largo del cilindro y el diámetro interior de éste debe de ser de 24:1. el largo total del cilindro debe de ser:

$$l = (0.06 \text{ m.})24 = 1.44 \text{ m.}$$

Las dimensiones del cilindro se muestran en la figura 3.6.

Figura 3.6



III.3.1.3.- Dado, Filtro y Plato Rompedor.

En las máquinas extrusoras es necesario incorporar un plato rompedor entre el extremo del cilindro y el dado de extrusión. El plato rompedor no es más que un disco de metal con varias perforaciones paralelas al husillo. Este dispositivo tiene dos funciones básicas. La primera función es la de cambiar el flujo espiral que tiene el plástico al salir del husillo por un flujo en línea recta hacia el dado de extrusión. La segunda función es la de soportar al filtro que se utiliza para detener contaminantes. Este filtro es de malla de acero inoxidable, el cual no permite el paso a contaminantes como pequeños pedazos de metal, madera, etc. Estos

filtros son de suma importancia en máquinas que utilizan material reprocesado.

En la extrusión de tubería se utiliza un dado como el de la figura 3.7.

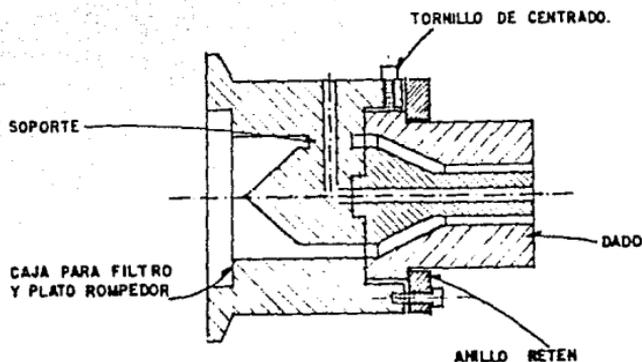


Figura 3.7

Se puede notar la caja diseñada para el filtro y el plato rompedor. También se puede notar a uno de los soportes que fija al torpedo, que da la forma final a la tubería. Existen 2 soportes. Los productos plásticos extruidos huecos presentan líneas de unión debidas a los 2 soportes del torpedo. El plástico, al llegar a cada uno de los soportes se separa y al salir de ellos se recombina otra vez, tomando su forma final. Los soportes deben de ser diseñados de tal tamaño que, al volverse a unir el plástico no presente distorsiones.

Mediante métodos experimentales se ha determinado que los soportes no deben de exceder 6mm de ancho y 25 mm de largo para que el proceso de unión de material se lleve a cabo de una manera satisfactoria. También se ha determinado que el mejor tipo de filtro para los extrusores es malla de alambre y las perforaciones del plato rompedor para este tamaño de cilindro deben de ser de por lo menos 3.2 mm. de diámetro para que exista un flujo uniforme.

Según la norma DGN-E-18-1969 de la Dirección General de Normas, el espesor de la tubería de polietileno de 50.8 mm. de diámetro debe de ser de por lo menos 3.5 mm. y la contracción del polietileno es de 0.035 milímetros en un milímetro, lo que implica un 3.5% de contracción, por lo que el espesor de el canal de plástico en el dado debe de ser de 3.62 mm.

III.3.1.4.- Rodamientos para el husillo.

El ensamble de rodamientos está generalmente localizado donde la flecha del husillo conecta con la flecha del impulsor, que generalmente es la flecha del reductor. Estos rodamientos deben de soportar la carga que provoca la presión del plástico en el dado. Se trata de una fuerza axial que actúa sobre el husillo. La fuerza que se ejerce sobre el husillo se obtiene al multiplicar la presión en el dado por el área de la sección transversal del husillo. Por lo tanto, para

nuestra extrusora de 60 mm. trabajando con una presión en el dado de 40 MPa, estará experimentando una fuerza axial de aproximadamente 113 kN.

La figura 3.8 muestra un arreglo de rodamientos para un husillo sencillo.

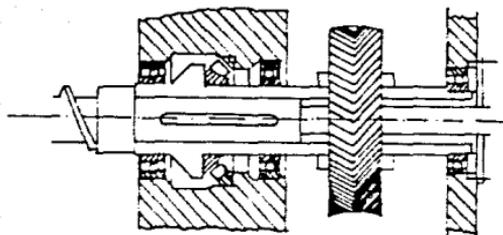


Figura 3.8

En condiciones normales de operación los rodamientos deben de durar toda la vida útil de la máquina. Sin embargo, cuando existen severas fluctuaciones en la presión del dado, la vida de estos se reduce drásticamente.

La duración nominal de un rodamiento viene expresado por la ecuación:

Para rodamientos que funcionan a velocidad constante, la duración nominal en horas de servicio se obtiene de la siguiente ecuación:

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60(n)} \left(\frac{C}{F} \right)^3$$

donde L_{10h} = duración nominal en horas de servicio.

n = velocidad constante de rotación en rev/min.

C = capacidad de carga dinámica en Newtons.

P = carga dinámica equivalente sobre el rodamiento.

p = exponente de la fórmula de la duración, siendo 3 para rodamientos de bolas y $10/3$ para rodamientos de rodillos.

Para nuestro caso, podemos seleccionar un rodamiento rígido de bolas para una velocidad $n = 80$ R.P.M. bajo una carga axial constante de 113 KN. y para una duración L_{10h} mínima de 50,000 horas de servicio.

En tablas para rodamientos de bolas encontramos que C/P para 100 R.P.M y 50,000 horas de servicio es igual a 6.7. Por lo tanto, $C = 113KN(6.7) = 1340$ KN.

Se puede entonces seleccionar de algún catálogo de rodamientos un rodamiento que tenga una capacidad de carga dinámica de 1340 KN y un diámetro interior de 60mm

III.3.2.- Sistema motriz.

III.3.2.1.- Motor y Reductor.

El proceso para fabricación de la tubería de polietileno es de carácter continuo, es decir, el motor impulsor debe de proporcionar una velocidad constante para que no existan irregularidades en la extrusión. Debido a ésto, el motor más adecuado es el de corriente alterna con rotor jaula de ardilla, ya que debido a su

simplicidad de construcción y su robustez, es uno de los motores más comerciales en el mercado. Si se desea alguna pequeña variación en la velocidad de giro del husillo, ésta debe realizarse por medio de un cambio de engranes en el reductor. Sin embargo, una vez adquiridas las condiciones óptimas para la extrusión, la velocidad de giro del husillo se debe mantener constante.

Como se había discutido anteriormente, el motor debe tener una potencia de 25 H.P. para poder producir 60 Kg/hr de material. La velocidad típica nominal es de 1725 R.P.M.. El reductor, por lo tanto, debe tener una velocidad de salida de aproximadamente 80 R.P.M. Este sistema estará gobernado por un circuito eléctrico trifásico de 220 V.

III.3.3.- Sistema de alimentación:

III.3.3.1.- Tolva de Alimentación:

La tolva de alimentación debe ser diseñada de tal manera que la máquina pueda trabajar un tiempo razonable sin tenerla que alimentar. Para nuestra máquina, cuya capacidad de producción es de 60 kg/hr. consideraremos un tiempo de una hora. La forma geométrica más común para estas tolvas es como sigue: la parte superior es de forma cilíndrica y la parte inferior es un cono truncado en el puerto de

alimentación, como aparece en la figura 2.1 en el capítulo 2 (página 44).

La forma de la parte que conecta con el puerto de alimentación no debe de tener esquinas en escuadra para evitar estancamientos de material. Para el polietileno, que es un material que no presenta dificultad de flujo en estado sólido granulado, el ángulo de inclinación de la sección cónica truncada debe de ser de 50°. Sabiendo que la densidad del polietileno es de 920 kg/m³, podemos calcular el volumen que debe de tener la tolva para una producción de 60 kg/hr. Para un tiempo de una hora sin tener que alimentar se requiere una tolva de 60 kg. y su volumen debe de ser:

$$V = m = \frac{60 \text{ kg.}}{920 \text{ kg./m}^3} = 0.065 \text{ m}^3.$$

III.3.4.- Sistema de Calefacción y enfriamiento.

III.3.4.1.- Resistencias tipo banda a lo largo del cilindro.

Para el efecto de plastificación del material, es de suma importancia que exista un control de temperatura a lo largo del cilindro de la máquina. Lo más usual es

un control independiente de temperatura para 3 zonas de calentamiento.

Para conocer la capacidad que demandará el sistema, es necesario hacer un balance de calor (figura 3.9) para determinar el valor de la potencia de las resistencias.

FIGURA 3.9



Es necesario conocer la masa de cada sección (cilindro, canal de plástico y husillo) sus respectivos calores específicos así como la temperatura ambiente y la temperatura de plastificación del polietileno.

Para el cilindro se tiene:

$$\text{Vol.} = \left[\pi \left(\frac{0.109 \text{ m}}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{0.06 \text{ m}}{2} \right)^2 \right] 1.44 \text{ m.}$$

$$\text{Vol.} = 0.009 \text{ m}^3.$$

La densidad del acero 4140 es:

$$\rho = 7877.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{masa} = \rho V.$$

$$\begin{aligned} \text{masa del cilindro} &= (7877.6 \text{ kg/m}^3)(0.009\text{m}^3) \\ &= 70.9 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Para el corazón del husillo tenemos:



$$\text{Vol.} = \frac{(\pi)l}{12} [D^2 + Dd + d^2]$$

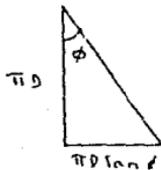
Sustituyendo los valores:

$$\text{Vol.} = \frac{\pi(1.44\text{m})}{12} [0.052^2 + (0.052)(0.036) + 0.036^2]$$

$$\text{Vol.} = 0.0022 \text{ m}^3.$$

$$\begin{aligned} \text{masa corazón husillo} &= (7877.6\text{Kg/m}^3)(0.0022\text{m}^3) \\ &= 17.33 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

Para la cuerda del husillo tomamos una vuelta completa en la sección de alimentación, que es la más profunda y después sacamos un promedio.



$$\begin{aligned} \text{una vuelta de cuerda} &= \sqrt{(\pi D \tan 17.6^\circ)^2 + (\pi D)^2} \\ &= \sqrt{(\pi(0.06\text{m}) \tan 17.6^\circ)^2 + (\pi(0.06\text{m}))^2} \\ &= 0.197 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de 1 vuelta} &= \text{ancho} \times \text{largo} \times \text{profundidad.} \\ &= (0.0043\text{m}) (0.197\text{m}) (0.012\text{m}) \\ &= 1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Tomando un promedio para todas las cuerdas:

$$\text{Volumen de cuerda} = \frac{(1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^3) (24)}{2} = 0.0001 \text{ m}^3.$$

$$\text{Masa de cuerda} = (7877.6 \text{ Kg/m}^3) (0.0001 \text{ m}^3) = 0.96 \text{ Kg}$$

El volumen del canal de plástico se calcula restando el volumen del husillo al volumen del interior del cilindro.

$$\begin{aligned} \text{Vol. canal plástico} &= \pi (0.03\text{m})^2 (1.44\text{m}) - (0.0023\text{m}^3) \\ &= 0.0018 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa del canal de plástico} &= (920\text{Kg/m}^3) (0.0018\text{m}^3) \\ &= 1.63 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

Calculemos ahora la energía calorífica demandada por cada elemento.

Consideraremos a la temperatura ambiente de 20°C, la temperatura de plastificación del polietileno de 160°C, el calor específico del acero de 448 J/kg.K. y el calor específico del polietileno de 2302.3 J/Kg.K.

$$\text{Aplicando la fórmula } Q = mC_p \Delta t$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{e husillo}} &= (18.29\text{Kg}) (448\text{J/kg.K.}) (433-293\text{K}) \\ &= 1,147,148.8 \text{ Joules.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cilindro}} &= (70.9\text{Kg}) (448\text{J/kg.k.}) (433-293\text{K}) \\
 &= 4,446,848 \text{ Joules.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{c.p.}} &= (1.63\text{Kg}) (2302.3\text{J/Kg.K.}) (433-293) \\
 &= 525,384.8 \text{ Joules.}
 \end{aligned}$$

Si consideramos un tiempo de calentamiento de 40 minutos, la potencia demandada por el sistema será la siguiente:

$$P = \frac{1,147,148.8 \text{ J} + 4,446,848 \text{ J} + 525,384.8 \text{ J}}{2400 \text{ segundos}}$$

$$P \text{ total} = 2549 \text{ watts.}$$

Se considera una pérdida por radiación Q_s de solamente el 10% de la energía, ya que el cilindro está cubierto en su parte superior por una tapa aislante al calor. Sin embargo, esta pérdida no se compensa mediante más potencia en las resistencias, ya que como éstas no trabajan todo el tiempo, el único efecto es un mayor consumo de energía, es decir, en lugar de trabajar 45 minutos en una hora, trabajarían 50 minutos de esa hora, como ejemplo.

En teoría se requieren 2549 watts repartidos en 3 zonas de calentamiento. Sin embargo, la práctica difiere un poco, ya que los fabricantes de resistencias toman

como regla, para las resistencias fabricadas en mica y con alambre de Niquel Cromo, una densidad de 3 watts/cm²

Tomando como base ese dato, la potencia requerida para calentar el cilindro sería:

$$\begin{aligned}\text{Superficie del cilindro} &= \pi D l \\ &= \pi (6\text{cm}) (144\text{cm}) \\ &= 2714 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Potencia instalada para el cilindro = 8143 watts repartidos en 3 zonas de calentamiento. Se podría pensar en tres zonas de calentamiento dividiendo el largo del cilindro en 3 partes iguales y dejando espacio para los termopares. $1.44 \text{ m.} / 3 = 0.48 \text{ m.}$

Por lo tanto se podrían tener 3 zonas de calentamiento con 2 resistencias de 45 cm y una potencia comercial de 1200 watts en cada zona, con un circuito de 220 V.

III.3.4.2.- Sistema de enfriamiento.

El sistema de enfriamiento es un mal que en ocasiones es necesario en las maquinas extrusoras ya que se traduce en una pérdida de energía. En la mayoría de los casos este sistema debe de ser minimizado y en algunas ocasiones eliminado. Si en alguna máquina se requiere enfriar demasiado quiere decir que hubo alguna irregularidad en el diseño.

Debido a que la extrusión es un proceso continuo, el husillo se mantiene girando todo el tiempo que la máquina está en operación. Esta energía mecánica es convertida a calor debido a la fricción del plástico con el husillo y el cilindro. En algunas ocasiones hay que eliminar el exceso de calor con aire, mediante convección forzada. Se utiliza un ventilador debajo de cada zona de calentamiento.

Sin embargo se ha determinado mediante pruebas que el trabajo del husillo aporta un 60% de la energía que se requiere, por lo que las resistencias del cilindro solamente contribuyen con un 40% y de ésta manera es muy difícil que exista un problema de calentamiento. Por esta razón no se considerarán ventiladores para ésta extrusora.

La única zona que si debe de llevar enfriamiento es la zona donde se encuentra el orificio que permite el paso del material de la tolva al cilindro, ya que un exceso en temperatura hace que el polímero se plastifique dentro de la tolva bloqueandola.

En esta zona basta hacer circular agua a 20°C por un ducto de aproximadamente 12 mm de diámetro.

III.3.5 Control de temperatura.

3.5.1.- Pirómetros y Termopares.

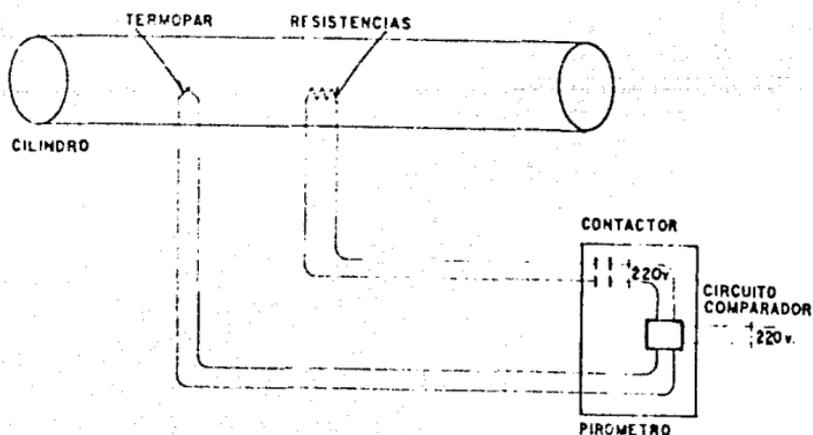
Además de la necesidad de elevar la temperatura del cilindro a su punto de operación, ésta se debe de controlar durante todo el proceso con aparatos precisos que permitan muy pequeñas variaciones.

Este control se lleva a cabo con pirómetros, los cuales son aparatos transductores que sensan la temperatura por medio de un termopar.

El termopar consiste en una unión de dos metales que producen una fuerza electromotriz sensible a los cambios de temperatura. Esta fuerza electromotriz es muy pequeña (del orden de milivolts).

Para entender mejor la función del pirómetro y el termopar se muestra un circuito en la figura 3.10.

FIGURA 3.10



El termopar, por efecto de la temperatura en el cilindro produce una fuerza electromotriz del orden de milivolts, la cual es recibida por el pirómetro y cambiada a señal de temperatura. El pirómetro es calibrado a la temperatura de operación y mediante un circuito, compara la señal de entrada con la señal de calibración. Mientras la temperatura en el cilindro sea más baja que la temperatura de calibración, el pirómetro mantendrá accionados los contactores, que permitirán el paso de la corriente hacia las resistencias y estas elevarán su temperatura. Al llegar a la temperatura de calibración, el pirómetro dejará de accionar los contactores impidiendo el paso de corriente a las resistencias, sin embargo, al bajar la temperatura en el cilindro a una inferior a la temperatura de calibración, los contactores se volverán a accionar, manteniendo así un control.

Existen varios tipos de pirómetros de acuerdo al rango de temperaturas que manejan los termopares.

Los tipos más comunes son los siguientes:

Hierro-Constantán (tipo J).

Cobre-Constantán. (tipo T).

Cromel-Alumel. (tipo K).

Platino-Platino Rodio (tipo R).

El pirómetro que se utiliza en la industria de los plásticos es el tipo J debido a su rango de operación (0

a 550°C). Por lo tanto, los pirómetros a considerarse para esta maquina son los tipo J.

Con este capitulo se concluye la descripción de los principales sistemas que operan en una maquina extrusora de plasticos.

CAPITULO IV

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

IV.1.- Comentarios y conclusiones.

Por medio de esta tesis, aunque no se cuenta con planos para su construcción y descripciones exactas de los equipos, es posible obtener las bases de los principales sistemas necesarios para el funcionamiento de una máquina extrusora de plásticos para fabricar tubería de polietileno de hasta 50.8 mm. de diámetro.

En un país como México, donde el poder adquisitivo de las empresas se ha visto reducido en forma drástica en la última década, es de suma importancia el abatimiento de costos y el aprovechamiento de los recursos con los que se cuenta.

El utilizar una máquina que trabaje con proporciones de materia prima reciclada puede reducir los costos del producto terminado hasta en un 40%. y contribuye a disminuir la contaminación del medio ambiente causada por productos plásticos desechables, ya que existen hoy en día empresas que se dedican a recolectar dichos productos, seleccionándolos para peletizarlos y poner a la venta la resina para su reproceso.

El principal cuidado que se debe de tener con los materiales reciclados, es la filtración de contaminantes que pudieran existir. Sin embargo, se recomienda colocar un imán en la tolva de alimentación para evitar la filtración de materiales ferrosos. Además

debe de llevar un filtro de malla de alambre para detener otros objetos no deseados (basura). Teniendo estos cuidados, se puede obtener un producto terminado que no requiera de una excelente apariencia física pero que reúna sus características de funcionalidad a un costo reducido.

En cuanto a las características específicas de la maquina, se encontró que existe cierta variación con respecto a máquinas fabricadas por especialistas. Esto se debe a las pruebas experimentales que han realizado dichos fabricantes a través de varios años. No obstante, estas bases de diseño, pueden ser de gran utilidad para la industria del reciclado de plásticos en México.

BIBLIOGRAFIA

- Rauwendaal, Chris.
Polimer Extrusion.
Hanser Publishers.
New York, 1986

- Instituto Mexicano del plastico industrial.
Anuario Estadístico del plástico 1988.
Editorial Claridad.
Mexico D.F., 1988.

- Holman, J.P.
Metodos experimentales para ingenieros.
Mc Graw Hill.
Mexico D.F. 1982.

- Griff, Allan.
Plastics Extrusion Technology.
Reinhold Publishing Corporation.
New York, 1968.

- Beer, F y Johnston Russell.
Mecánica de Materiales.
Mc Graw Hill.
Bogotá, 1982

- Hall, S., Holowenco, R. y Laughlin.
Diseño de Máquinas.
Mc Graw Hill.
Mexico D.F., 1982.

- Gerber, Carl
Catalogo general S.K.F.
Alemania, 1982.