

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**  

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**Diseño y Construcción de un Dispositivo  
para Extrusión de Plásticos (PLASTOMETRO)**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.**

Presentan:  
**JUVENAL AYALA RAMIREZ.**  
**JOSAFAT GONZALEZ BLANCO.**

Aesor de Tesis : Ing. Ubaldo E. Márquez Amador.

MEXICO, D.F.

1993.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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

	Pág.
CAPITULO I INTRODUCCION.....	1
CAPITULO II Procesos de Conformado de Plásticos.....	3
II.1 Plásticos Termoplásticos y Termofijos.....	6
II.2 Moldeo de Inyección.....	9
II.3 Moldeo de Soplado.....	14
II.4 Moldeo de Compresión.....	21
II.5 Moldeo de Transferencia.....	26
II.6 Extrusión.....	30
CAPITULO III Diseño de un Equipo de Extrusión de Plásticos.....	38
III.1 Condiciones de Diseño.....	39
III.2 El Cilindro.....	40
III.3 El Dado.....	41
III.4 Sistema de Medición.....	42
CAPITULO IV Fabricación del Plastómetro.....	47
IV.1 Estructura.....	47
IV.2 Cámara.....	50
IV.3 Dado.....	54
IV.4 Pistón.....	55
IV.5 Acoplamiento Superior.....	56
IV.6 Sistema de Calefacción.....	58
IV.7 Medición de control de Temperatura.....	61

	Pág.
<b>CAPITULO V Funcionamiento.....</b>	<b>64</b>
<b>V.1 Procedimiento de Prueba.....</b>	<b>64</b>
<b>V.2 Muestra de Prueba.....</b>	<b>64</b>
<b>V.3 Condiciones de Procedimiento.....</b>	<b>65</b>
<b>V.4 Procedimiento de Operación Manual.....</b>	<b>67</b>
<b>CAPITULO VI CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>80</b>

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El tema de esta tesis profesional es diseñar y construir un equipo experimental llamado plastómetro, con el cual se puedan determinar las características de flujo de los materiales plásticos, que son importantes para el control de calidad, en los procesos de conformado. Adicionalmente este equipo puede usarse con fines didácticos en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, en donde el alumno podrá observar y comprender el principio del proceso de extrusión de plásticos, que es uno de los procesos de mayor uso en la industria.

En el capítulo II se da un panorama general de los procesos de conformado en plásticos, para ubicar y comprender la importancia de éstos en la manufactura de los plásticos.

El capítulo III comprende el diseño del equipo, se mencionan las características que debe cumplir, cada una de las partes del plastómetro.

El capítulo IV es el de la fabricación del plastómetro donde se explica detalladamente el proceso de manufactura de cada uno de los elementos que componen el equipo.

En el capítulo V se explica el proceso de operación del

equipo, así como la forma, en que se pueden realizar pruebas con plásticos.

En la actualidad, el conocimiento del comportamiento de los materiales se está volviendo una necesidad importante para, con esto, poder tener el aprovechamiento máximo y uso óptimo de los materiales plásticos.

Dadas sus características y versatilidad, el plástico ha ido desplazando poco a poco a materiales como los metales, vidrio y la madera. Una de las ventajas importantes es su bajo peso específico, comparado con el de metales, mismo que ofrece una enorme ventaja a nivel económico. Su resistencia a la corrosión es una razón por la cual es preferido más que los materiales ferrosos. Otra de las ventajas de los plásticos es que consumen menor energía para su obtención y transformación que materiales como los metales.

## CAPITULO II

### PROCESOS DE CONFORMADO DE PLASTICOS

#### II.1 PLASTICOS TERMOFIJOS Y PLASTICOS TERMOPLASTICOS.

Los plásticos son compuestos orgánicos de tipo macromoleculares, que se obtienen por transformación química de sustancias naturales o por síntesis química de diferentes sustancias fundamentales (por ejemplo: acetileno, etileno). Para que se puedan llevar a cabo estas síntesis son necesarias otras moléculas que ayuden a la reacción (por ejemplo: con grupos funcionales, grupos amino, carboxilo e hidróxido, dobles enlaces o triples). Estos pueden clasificarse en Termoplásticos y Termofijos.

Se define como Termoplásticos: Aquel polímero que fluye y se funde cuando se calienta. El residuo se puede reconvertir fundiéndolo y reutilizándolo. Pero mantiene la forma en frío y pueden volverse a formar por aumento de calor. 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 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.

TABLA I

Características y usos de los principales plásticos Termoplásticos.

Tipo de Resina	Características Principales	Procesos de Fabricación	Usos Típicos
Polietilenos	Buena resistencia química, a la humedad y eléctrica; baja fricción; plástico de más uso; muchos grados; flexible y rígido.	Trabajado en todos los procesos (resinas con aditivos).	Alojamientos, tuberías, ductos, botellas, cubetas, tanques, aislamiento, objetos caseros, juguetes, revestimientos, películas, empaques, etc.
Polipropilenos	Resistencia química, humedad y eléctrica; grados especiales para resistencia al impacto y servicio a temperaturas altas y bajas.	Extrusión, moldeo, laminado, revestimiento sintetizado (resina con aditivos).	Equipo eléctrico, bisagra, tubería, empaque, molduras de automóvil.
Poliestirenos	Buena resistencia eléctrica y al manchado.	Extrusión, moldeo termoforado, espumado (resina con aditivos).	Tubería, carátulas, juguetes, aislamiento a alta frecuencia, cajas de baterías, placas dentales, vajillas, partes de automóvil y aparatos domésticos, lentes.

Tipo de Resina	Características Principales	Procesos de Fabricación	Usos Típicos
Poliésteres	Buena resistencia química, al agua, abrasión y resistencia eléctrica, tenacidad.	Extrusión y moldeo (resinas, algunas reforzadas).	Bombas, medidores, engranes, canas, rodillos, componentes electromecánicos.
Vinilos: cloruro de polivinilo, acetato, etc.	Muy flexible hasta rígido, buena resistencia a la flama, eléctrica, química, aceite, abrasión y a la intemperie en varios grados; coloreable y atractivo; fácil de procesar.	Extrusión, moldeo, revestimiento, colado, espumado, (resina con aditivos, dispersiones, hojas, películas.)	Pisos y cubiertas de paredes, tapicería, ropa impermeable, laterales de casas, tuberías, juguetes, aislamiento, discos fonográficos, cristal inastillable de seguridad.
Polisulfonas	Estable y resistencia eléctrica.	Extrusión, moldeo, termoformado (resina con aditivos).	Partes eléctricas y para automóvil, alojamiento, tubería aislamiento de cables.
Polímidas	Fuerte rígido y estable con excelente resistencia al calor, abrasión, fluencia y radiación.	Moldeo y sinterizado (polvo, revestimiento, películas, formas sólidas).	Válvulas, aislamiento eléctrico, cientos de partes en cada motor de chorro.

### Plásticos Termofijos (Termofraguantes).

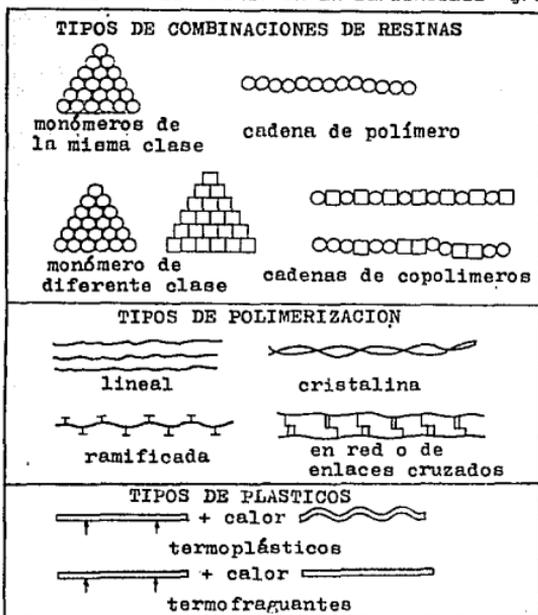
Químicamente, todos los plásticos son polímeros. La menor estructura o molécula, que identifica al producto químico implícito, se llama monómero. Por diversos medios que incluyen calor, luz, presión y agitación, puede lograrse que estos monómeros se unan y que crezcan en moléculas mucho más grandes por el proceso de polimerización. En general, la primera polimerización requiere la conexión de los monómeros en largas cadenas, usualmente con un grado progresivo de solidificación o un incremento en la viscosidad conforme procede la polimerización.

Para la mayor parte de los plásticos las propiedades dependen del grado de polimerización, lo cual explica en mayor grado el amplio rango de propiedades disponibles.

Para el grupo de plásticos conocidos como termofijos tiene lugar un segundo tipo de polimerización, en el cual ocurre un enlace cruzado entre las cadenas adyacentes. Esta reacción termofraguante con frecuencia resulta en un gran incremento de rigidez.

En la fabricación por moldeo de plásticos termofraguantes, la etapa inicial termoplástica es seguida de una reacción termofraguante a temperaturas más altas o con calentamiento prolongado. Los termoplásticos pueden volverse a suavizar por recalentamiento, pero la reacción termofraguante es de naturaleza quí-

mica y es irreversible de modo que una vez que ocurre un calentamiento adicional resulta solamente en un carbonizado gradual y deterioro.



Los monómeros (moléculas) se combinan en largas cadenas semejantes al spaghetti que pueden suavizarse por el aumento de calor y no están interconectadas por enlaces cruzados. Se clasifican como termoplásticos y son susceptibles de formación secundaria. Si se desarrollan enlaces cruzados entre el proceso el resultado es un plástico "termofijo" que no puede suavizarse otra vez.

Figura II.1

### Características y Usos de los Principales Plásticos Teraofijos.

Tipo de Resina	Características Principales	Procesos de Fabricación (materias primas)	Usos típicos
Alquidos	Buen aislamiento eléctrico, estabilidad dimensional, resistencia al impacto.	Moldeo (polvo, líquidos, hojas suaves, cuerdas, trozos, pedazos).	Equipo eléctrico.
Epoxis	Buenas propiedades eléctricas y mecánicas, estable, resistente al calor y químicos, fuertes y adherentes.	Colado, extrusión, moldeo y preservación en tina (polvos, líquidos, espumas).	Adhesivos, tanques y envoltentes, herramientas y dados.
Fenólicos	Rígido, estable, buena resistencia eléctrica y química, colores limitados.	Moldeo y colados (polvos, perdigones, soluciones e impregnados).	Equipo eléctrico, partes de artefactos, paneles laminados, aglutinantes para ruedas de esmerilar.
Alílicos	Alta resistencia a la humedad y química, estabilidad, y resistencia dieléctrica.	Moldeo y extrusión, laminación (polvos, líquidos).	Equipo electrónico, lentes, laminados.
Aminos	Colorido, dureza; resiste arañes, detergentes y muchos líquidos.	Moldeo y laminado (polvos, granulados, líquidos, espumas).	Vajillas, tapas de distribuidor, cubiertas de mostrador, utensilios domésticos.

## II.2. MOLDEO POR INYECCION.

El moldeo por inyección se define como el proceso en el que un polímero sintético o resina se funde hasta su estado líquido y éste se inyecta a alta presión en un molde cerrado, el polímero se enfría dentro del molde y solidifica; finalmente se abre el molde y se extrae la pieza moldeada.

La meta ideal del moldeo por inyección es la de obtener el mayor número posible de piezas moldeadas con la máxima calidad en el mínimo tiempo.

En lo que al material de moldeo se refiere, puede dividirse en dos fases, en la primera se tiene lugar la fusión del material, y en la segunda la inyección del material en el molde.

El material de moldeo, en forma de gránulos o pelets, entra en el cilindro de calefacción a través de una tolva de alimentación situada en la parte posterior del cilindro de calefacción, al mismo tiempo que circula hacia la parte frontal, impulsado sucesivamente por el pistón que se mueve ajustadamente en el propio cilindro de calefacción; este pistón actúa a su vez como el inyector y obliga al material fundido a pasar desde el cilindro de calefacción a las cavidades del molde, realizando así la segunda fase del proceso.

Tanto la fusión como la inyección se realizan en un solo cilindro diseñado para cumplir estos dos fines. Este tipo de

máquinas son muy convencionales.

### II.2.1. Descripción del equipo de inyección.

La máquina convencional ilustrada en la figura II.2.1 es constituida por los elementos básicos siguientes:

- El sistema de alimentación, que mide una cantidad constante de material en cada ciclo.
- El pistón que empuja el material dentro de la cámara de calefacción y le da presión para que entre en el molde o tornillo sinfín.
- Una cámara de calefacción que calienta uniformemente el material a una temperatura suficiente para que pueda fluir al ser sometido a la presión del pistón.
- El molde en el que se inyecta el material.
- El mecanismo de cierre que mantiene en contacto las dos mitades del molde durante el ciclo de inyección.
- Un sistema de controles para que los distintos mecanismos actúen con la secuencia adecuada.

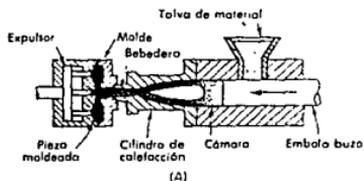


FIGURA II.2.1 ESQUEMA DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN

Este proceso es muy empleado por su gran versatilidad, podemos citar algunas de las múltiples aplicaciones que tiene este proceso que demuestra lo dicho.

En el Área Automotriz. Biseles de instrumentos, cubiertas de panales, bases de brazos, consolas, manijas, parrillas de radiador, salidas de aire acondicionado, plantas de guarnición del tablero de instrumentos.

En el hogar. Vasos, cucharas, envases de varios tamaños y una gran variedad de utensilios en esta rama.

En el Área farmacéutica y cosméticos. Tubos para cremas y pomadas en polietileno; a veces también en polipropileno. Botes de crema de diversas formas y tamaños, en general con tapa roscada. Tubos para lápiz de labios, muchas veces con mecanismos de giro para el avance y retroceso del lápiz propiamente dicho. Cajitas con tapa a presión o de bisagra, para gran número de cosméticos sólidos o en piezas.

Las jeringas para inyección de un solo uso. Para el cilindro que ha de ser transparente, se utiliza con preferencia polipropileno; para el émbolo se emplea muchas veces PUR o caucho de silicona. Tubos para tabletas.

Los recipientes para envases de mercancías. Como mayonesa, salsa de tomate y similares se inyectan en polietileno, ya que se exige resistencia a las caídas y choques, al igual que los botes para congelación, debido a la resistencia a las bajas temperaturas.

Características del molde de inyección. Estos moldes han de resistir una gran cantidad de inyecciones sin sufrir alteraciones en su acabado y forma.

Un análisis detallado antes de construirlo esta más que justificado; lo mismo puede decirse de la calidad de los aceros y materiales que entran en su construcción.

En el momento de proyectar un molde de inyección, las primeras consideraciones han de referir al peso y tamaño de la pieza, así como su diseño, para decidir como deben situarse las cavidades de moldeo, cuantas cavidades debe tener el molde, donde deben colocarse las entradas a las cavidades, como hay que situar los elementos de extracción, como deben ir los planos de partición de la cavidad tal como uso de inserciones metálicas, presencia de roscas, taladros, etc.

El molde de inyección se compone de un conjunto de piezas dentro de las cuales hay una cavidad en la que el polímero se inyecta y enfría como se muestra en la Figura 11.2.3.

La cavidad recibe el nombre de cavidad de moldeo y su forma se ajusta exactamente con la de la pieza que se desea moldear. Generalmente esta cavidad de moldeo se forma con dos piezas o mitades del moldeo, una mitad macho y la otra hembra; la mitad macho recibe el nombre de núcleo y la mitad hembra se conoce

como cavidad. El núcleo y la cavidad están montados en otros platos que llevan los elementos necesarios para la alineación y centrado de estas dos mitades, para su fijación a los platos de la prensa y para la refrigeración y extracción de las piezas moldeadas.

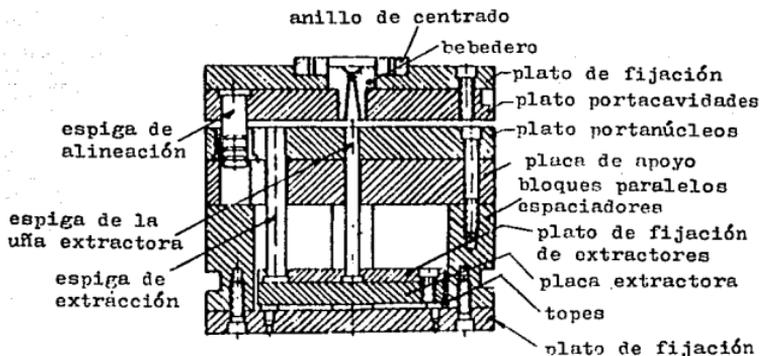


FIGURA II.2.3 ELEMENTOS BASICOS DEL MOLDE

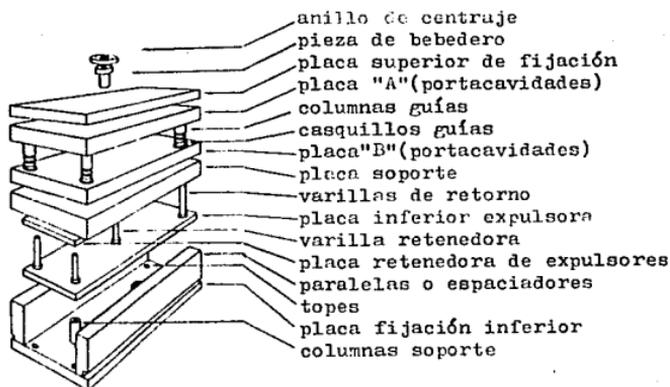


FIGURA II.2.3.1 MOLDE DE INYECCION NORMALIZADO

### II.3 MOLDEO POR SOPLADO.

Moldeo por soplado es un proceso por el cual el material plástico semilíquido o ablandado es forzado por una presión interna a adquirir la forma del molde. Es usado para producir botellas y recipientes de todas clases, y aunque cualquier material termoplástico es capaz de ser moldeado por soplado, casi la totalidad de la producción de plásticos soplados consiste en polietilenos de baja y alta densidad. Se cree generalmente que el proceso es relativamente nuevo, sin embargo, está en uso comercial, de una forma u otra desde 1938. Existen tres métodos comunes de moldeo por soplado.

#### II.3.1 Moldeo por Inyección.

En este proceso el material fluye a través de una máquina de moldeo a inyección convencional y es inyectado a una temperatura controlada en un molde que contiene un núcleo hueco, conocido como vástago de soplado. Este vástago, con el material plástico, semifundido adherido a él, es transferido a un segundo molde, más grande, y se sopla aire a través del vástago de soplado para expandir el material, dándole la forma del segundo molde. Se retira entonces, el vástago de soplado, a través del cuello del moldeado terminado, como se muestra en la Figura II.3.1.

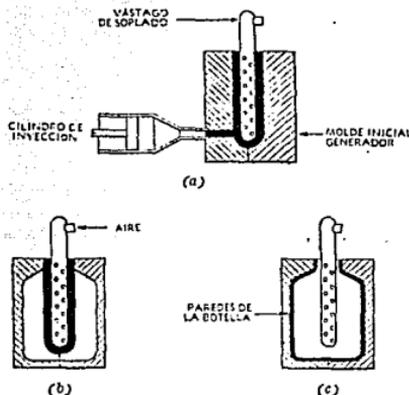


FIGURA II.3.1 PRINCIPIOS DEL METODO DE INYECCION MOLDEO POR SOPLADO

- A) Moldeado sobre el vástago de soplado utilizando un molde generador inicial.
- B) El vástago de soplado se coloca en el molde de soplado y se inyecta aire a través del vástago.
- C) Moldeo del cuerpo en la forma del molde.

El procedimiento de inyección - soplado se emplea para cuerpos huecos de hasta unos cuatro litros, pero comúnmente sólo hasta un litro de capacidad. Sus principales ventajas respecto a la extrusión son:

- Peso más constante de la pieza, debido a que el llenado de un molde de inyección cerrado a alta presión puede realizarse con tolerancias más estrechas que la extrusión de una manguera:
- Dimensiones más constantes de las piezas, ya que la pieza preformada no sólo se configura por su superficie exterior, como las piezas extruídas y sopladas, sino que queda rodeada por paredes metálicas de moldeo, tanto la superficie exterior como la interior.

- En base a lo anterior es más fácil determinar el espesor de pared y la distribución de paredes de los cuerpos huecos, ya que la adecuada configuración del núcleo y la matriz de inyección definen con exactitud la posición y dimensiones, por ejemplo de zonas más gruesas.
- No hay mazarota y otros desperdicios.
- Aumento de tenacidad (resistencia a la caída) del plástico por el alargamiento biaxial producido al soplar; por ello es muy importante para plásticos de por sí quebradizos, como poliestireno y PVC rígido.
- Ausencia de marcas en cuello, estrechamiento y fondo, que son inevitables en las botellas moldeadas por extrusión - soplado, debido al aplastamiento de los trozos de manguera sobresalientes.

A continuación se citarán algunas desventajas de el proceso de inyección-soplado:

- Dado que el núcleo del molde de inyección precisa suficiente estabilidad para evitar que la alta presión de inyección lo desplace hacia un lado, ha de tener un diámetro mínimo de unos 15 mm, y el cuerpo hueco acabado no puede tener una longitud superior a 10 veces el diámetro interior del cuello.
- Para cada pieza se necesitan dos moldes (molde de inyección para la pieza preformada y molde de soplado para el cuerpo hueco), lo que tiene su incidencia en los cálculos.
- El peso de las piezas, su espesor de pared y la distribución

espesores no puede variarse por una simple corrección de la tobera, como en el caso de extrusión soplado, sino que hay que rectificar los moldes.

Por tales razones el procedimiento se emplea más bien para cuerpos reducidos, para cuerpos de cuello ancho y para series de producción no muy pequeñas.

Otro de los métodos es el de extrusión-soplado. Este es el método por el cual se hacen en la actualidad un 90% de los moldes por soplado. Consiste en extruir el material plástico como un tubo, conocido generalmente como molde generador; este se coloca en un molde frío y se le sopla hasta llevarlo a la forma del moldeo final.

Cuando las unidades de moldeo, unidas por la parte superior que operan son extrusores de 2 a 3 pulgadas de diámetro trabajan sin interrupción, pueden producir de 500 a 1000 artículos por hora con un peso aproximado de una onza cada uno. La técnica de moldeo de grandes botellas y recipientes por el método de extrusión se llama proceso mayor de moldeo por soplado.

Las instalaciones de moldeo por extrusión-soplado que ofrece el mercado son muy similares en su forma de trabajo, aunque divergen en construcción, rendimiento y tamaño. Estas diferencias residen por ejemplo en:

- Tamaño de la extrusora (diámetro del husillo, potencia de

- accionamiento, rendimiento de plastificación, etc.).
- La dirección de salida de manguera (vertical en extrusoras verticales, horizontal o también vertical mediante un cabezal angular en la extrusora horizontal).
  - Las dimensiones de las placas portamoldes y por tanto de los propios moldes.
  - La fuerza de cierre.
  - La cantidad de boquillas extrusoras (por lo general una o dos, raramente más).
  - La cantidad de estaciones de moldeo (generalmente una o dos).
  - La dirección de soplado (desde arriba, desde abajo, lateralmente).
  - El grado de automatización.
  - El tipo y dirección de transporte de la manguera a la estación de soplado, etc.

La figura II.3.2. muestra los principios básicos del proceso extrusión-soplado.

A continuación se menciona el tercer método común de moldeo por soplado, este método es el de moldeados generadores preformados para el moldeo por soplado. Es una variación del método II en el cual se produce un tubo por métodos de extrusión convencional, se usa también en este caso, para termoplásticos con cualquier clase de tipo, color, diámetro y sección eficaz.

Con éstos se producen moldes generadores, de los cuales se toma la longitud requerida, se calientan las secciones de este moldeado generador y se sopla hasta darle la forma del nuevo molde que está frío, esta técnica permite al fabricante producir una variedad de moldeados de diferentes colores, a partir del mismo molde. Se evita el moldeo intermitente, que encarece la extrusión por los equipos que permanecen sin uso, y emplea materiales diferentes para ciertas aplicaciones sin recurrir a las operaciones de limpieza, que siempre resultan caras.

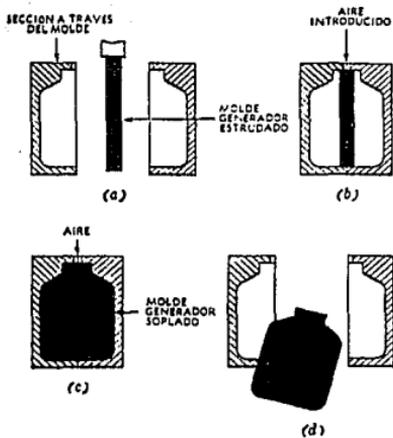


FIGURA II.3.2 PRINCIPIOS BASICOS DEL MOLDEO POR SOPLADO (EXTRUSION)

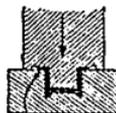
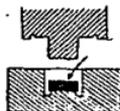
- A) Generador extrudado en molde abierto.  
 B) Se cierra el molde y se inyecta aire a presión en el generador.  
 C) El generador, se sopla para darle la forma del molde.  
 D) La botella terminada es liberada del molde.

## II.4 MOLDEO POR COMPRESION.

### II.4.1 Descripción.

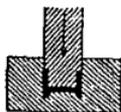
Es el proceso más antiguo y más simple de moldear plásticos, es el moldeo por compresión que se muestra en la Figura II.4.

GRANULOS O PILDORAS  
(algunas veces con  
forma previa)

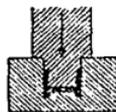


REBABA (requiere cortado)

MOLDE TIPO REBABA  
CONTROL DE LA DIMENSION  
Y LA DENSIDAD



MOLDE TIPO DE EMBOLO DIRECTO  
CONTROL DE LA DENSIDAD DIMEN-  
SION VARIABLE



MOLDE TIPO DE EMBOLO CON  
LIMITE DE CARRERA CONTROL  
DE LA DIMENSION DENSIDAD  
VARIABLE

FIGURA II.4 TIPOS DE MOLDES POR COMPRESION

El material en polvo, gránulos, pildoras o preformado se introduce primero en el molde. seguido de la aplicación de calor y presión, con los plásticos termofraguantes, para los cuales se utiliza el proceso, el primer efecto del calor es suavizar el material a la etapa termoplástica en la cual las partículas se aglutinan y fluyen bajo presión para llenar la cavidad del molde. Con la aplicación prolongada de calor, ocurre la reacción termofraguante y el material se vuelve rígido permanentemente. El molde puede abrirse cuando todavía está caliente y se extrae la parte terminada, aunque algunas veces es beneficioso el enfriamiento parcial para la estabilidad dimensional del producto. El tiempo de fraguado varía desde pocos segundos a varios minutos, dependiendo del material, temperatura, método de calefacción y espesor de la sección. Es posible moldear termoplásticos por compresión; pero después de la cantidad de presión y calefacción del ciclo, debe enfriarse el molde antes de la extracción de la pieza.

#### II.4.2 Equipo y Herramental.

Los moldes usados en el moldeo por compresión constan de una cavidad y de un macho o núcleo se muestra en la Figura II.4.1.

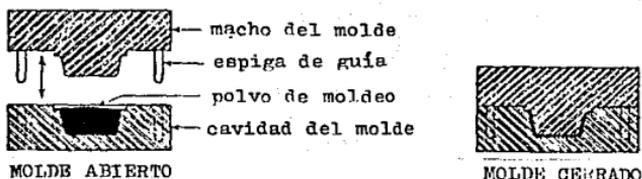


FIGURA II.4.1 En el proceso de moldeo por compresión, el operario de la prensa coloca el material en la cavidad del molde. Al cerrarse el molde el polvo de moldeo se comprime hasta adquirir la forma de la pieza y se mantiene de este modo hasta que endurece.

La debida alineación entre ambas partes se logra mediante unas espigas guía. La cavidad del molde da forma a una superficie de la pieza moldeada y en general es en ella donde se carga el polvo de moldeo. El macho da forma a la otra superficie de la pieza a moldear y sirve para comprimir el polvo de moldeo cuando se cierra el molde.

Por tanto, el polvo de moldeo se ve obligado a ocupar únicamente el espacio libre entre el macho y cavidad durante su endurecimiento. Para facilitar la producción se incorporan numerosos dispositivos a los moldes. Al proyectar el molde se tienen en cuenta frecuentemente las medidas precisas para su calentamiento.

Algunas prensas se equipan con platos de calefacción que transmiten su calor a los moldes. En el proyecto de ciertos moldes, la cavidad y el macho, o las placas de retención superior e inferior (partes 2, 1, 5 y 6 respectivamente en la Fig. II.4.2) van taladrados para permitir la circulación de agua o de vapor con fines de calefacción. Con frecuencia se emplean placas o espigas extractoras (parte II) para expulsar la pieza fuera de la cavidad o del macho.

En general, estos moldes se utilizan sólo con materiales termofijos y con los que se moldean en frío o calientes. Se emplean calientes con los materiales termoendurecibles de fenol, urea, etc. y en frío con los compuestos que se moldean en frío. Los moldes de compresión se utilizan rara vez con materiales termoplásticos debido a que se necesita mucho tiempo para calentar el material hasta su estado plástico ya que luego es preciso refrigerar el molde para que la pieza tome la rigidez antes de desmoldearla.

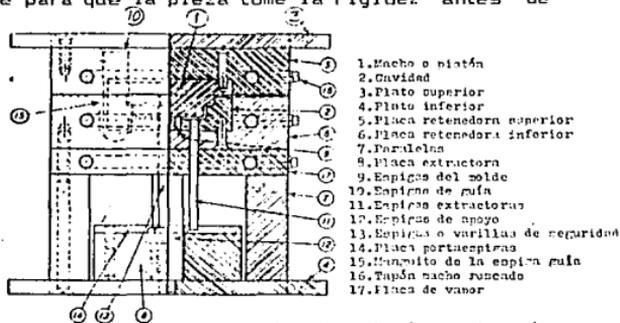


FIGURA II.4.2 Molde de compresión con macho de asiento mostrando detalles de la construcción del molde y los nombres de las partes del molde.

### II.4.3. Diseño de moldes.

El principio básico de moldeo exige un molde que comprima el compuesto hasta la forma deseada y que lo mantenga bajo presión y calor mientras que se produce la reacción química que le hace endurecer.

Esto debe realizarse de la manera más sencilla y menos costosa, diseñando el molde de modo que pueda cargarse fácilmente el compuesto de moldeo y las inserciones así como expulsar la pieza sin deformación. Puesto que el molde está inactivo mientras se carga y desmoldea la pieza, la eficiencia de estas operaciones, la calidad de la pieza y el costo de las operaciones. La calidad de la pieza y el costo de las operaciones dependerán realmente de la calidad del molde.

En realidad un proceso de moldeo consiste en forzar el material dentro de un espacio con una forma determinada utilizando unas presiones de más de  $175 \text{ kg/cm}^2$ , al tiempo que se aplica calor ( $120-195^\circ\text{C}$ ) con objeto de plastificar el compuesto y obligarle a fluir para llenar el contorno del molde. Esta operación puede dar lugar a unas sollicitaciones localizadas en diversas partes del molde, provocando incluso una rotura, si el molde o la pieza no se diseñan adecuadamente.

El material de moldeo puede cargarse en el molde según tres métodos diferentes por lo menos. Se indican por orden de preferencia y uso más generalizado:

1. Preformas o <<pastillas>>.
2. Carga volumétrica mediante bandeja de carga o recipiente graduado.
3. Carga pesada de polvo de moldeo o preformas.

La operación de hacer preformas no produce ningún cambio en el material, sino que sirve para obtener una unidad de carga de peso bien determinado. Las preformas se manejan fácilmente y las pérdidas son despreciables. Utilizando preformas se reduce también el espacio de carga en el molde.

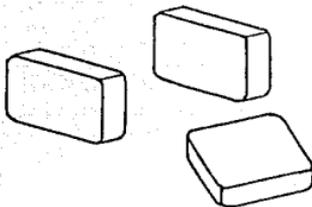
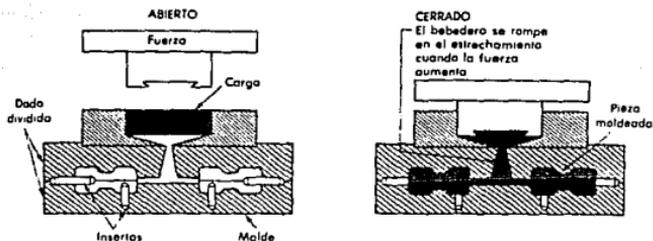


Fig. II.4.3 PREFORMAS DE UN COMPUESTO FENOLICO

## II.5. MOLDEO POR TRANSFERENCIA.

### II.5.1 Descripción.

El moldeo por transferencia se define mejor como una técnica de molde cerrado, de donde se inyecta o transfiere el material a otro molde cerrado, a través de un bebedero o canal de colada como se muestra en la Figura II.5.1.



MOLDE DE TRANSFERENCIA

FIGURA II.5.1

Esencialmente, el moldeo por transferencia es una técnica de moldeo por inyección de un solo ciclo. El proceso se adapta particularmente a materiales termofijos, aunque estos materiales mantienen solamente durante un corto período de tiempo su condición plástica después del precalentado. La técnica se emplea también ampliamente para el moldeo de policloruro de vinilo sin plastificantes, material que tiende a degradarse cuando permanece algún tiempo a la temperatura de plastificación.

La carga de material, previamente pasada se plastifica generalmente en una unidad de precalentamiento dieléctrico. Se coloca a continuación la carga en la cavidad de transferencia, situada en la parte superior del molde cerrado. Un pistón entra en dicha cavidad y presiona el material a entrar en el molde

cerrado a través de un orificio. El pistón de transferencia y el molde se mantienen bajo presión durante un tiempo predeterminado, para permitir el proceso de endurecimiento, como consecuencia de la reacción química inducida térmicamente, para formar una estructura reticulada. Cuando se abre el molde, la pequeña cantidad de material que permanece en la cavidad de transferencia y en el bebedero se retira como material inservible.

### II.5.2 Equipo y Herramental.

Durante la operación de moldeo por compresión, el polvo de moldeo se plastifica por el calor y la presión ejercida cuando el macho se cierra contra la cavidad. Se crea así una fuerza considerable y el flujo de material deformaría y rompería espigas delgadas o secciones complicadas del molde.

El método de transferencia (Figura II.5.2) difiere de éste, en que el material previamente calentado, se carga en una zona exterior de cavidades, y luego se obliga a entrar a estas mediante un pistón de alta presión que se introduce en la cámara de carga para formar el producto moldeado. La presión se mantiene hasta que ha terminado el curado y ha endurecido la pieza.

En el moldeo por transferencia, el material penetra en el molde como un fluido con lo que se disminuye enormemente la fuerza ejercida contra las distintas partes del molde e inserciones.

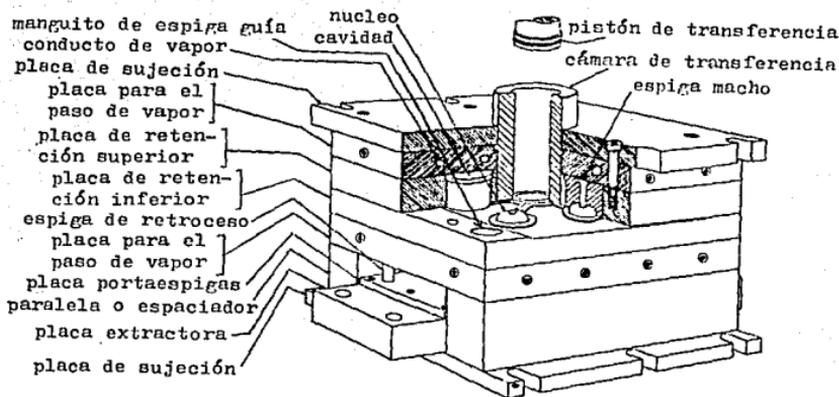


FIGURA II.5.2 MOLDE DE TRANSFERENCIA POR ÉMBOLO

Por transferencia se moldean ventajosamente piezas muy complejas con inserciones largas o complicadas, prisioneros, espigas delgadas o coquillas desmontables o núcleos laterales. Este procedimiento es recomendable especialmente cuando es preciso moldear piezas que tienen secciones gruesas y delgadas al mismo tiempo.

### II.5.3. Moldes.

Los moldes de transferencia forman parte de dos clases diferentes. El tipo más empleado es el molde de transferencia del tipo de émbolo de pistón auxiliar.

Formando cuerpo con él lleva una cámara o tubo de transferencia que va independiente de las cavidades y machos. Esta cámara está abierta por sus dos extremos. La presión de cierre y la de transferencia se aplican mediante pistones independientes: la cámara de carga recibe el compuesto de moldeo y el molde se

mantiene firmemente cerrado en la línea de partición mediante la presión de cierre. A continuación el pistón de transferencia se mueve para aplicar su presión contra el material alojado en la cámara de carga y a través de los canales de alimentación y de las entradas, le hace penetrar en la cavidad. La presión creada en el interior depende totalmente de la presión del pistón de transferencia.

## II.6 EXTRUSION.

### II.6.1 Definición y Descripción del Proceso.

La palabra extrusión viene de los vocablos latinos <<ex>> y <<trudere>> que significan respectivamente <<fuerza>> y <<empujar>>.

Se puede definir la extrusión como el proceso de obtención de longitudes ilimitadas con una sección transversal constante, conformando el material al obligarlo a pasar a través de una boquilla bajo condiciones controladas. El proceso implica dos aspectos, el de transporte de materiales hacia la boquilla y el de conformado al pasar a través esta.

En la industria del plástico se ha desarrollado el proceso de extrusión fundamentalmente para el conformado de materiales termoplásticos, aunque también se extruyen materiales termoestables.

## II.6.2 Clasificación de los Métodos de Extrusión.

Los polímeros se pueden extruir de tres modos diferentes:

- a) Extrusión humedad.
- b) Extrusión seca.
- c) Hilatura.

### a) Extrusión Humedad.

El primer proceso de extrusión de un material termoplástico, se realizó en 1870, y consistió en extruir una barra de sección cilíndrica de nitrato de celulosa, empleando un pistón accionado hidráulicamente; se trataba de un proceso de extrusión humedad-con pistón.

El proceso de extrusión humedad se caracteriza fundamentalmente por emplear disolventes o plastificantes líquidos que permiten extruir los materiales en forma de pasta o solución, los materiales plásticos a los que se aplica este proceso son el nitrato de celulosa y el acetato de celulosa.

### b) Extrusión Seca.

El proceso de extrusión seca es el más utilizado para la extrusión de multitud de perfiles de materiales termoplásticos. El proceso de extrusión seca con extrusora de pistón se emplea para extruir materiales termoestables y politetra fluorotileno (PTFE).

Los materiales termoplásticos se extruyen en máquina de tornillo siguiendo un proceso de este tipo; se usan el calor y el trabajo mecánico para plastificar o ablandar el material pero que no se emplean disolventes.

La extrusión seca se puede hacer en máquinas de pistón calentando el material separadamente o en un cilindro de calefacción; en este sentido las máquinas de inyección pueden considerarse un caso particular de las extrusoras de pistón. Las ventajas de la extrusión seca sobre el proceso húmedo se pueden resumir en la ausencia de disolventes volátiles, lo que significa que no hay peligro de alabeo o deformación de las secciones extruídas, debido a la pérdida de disolvente residual o materiales volátiles.

Sin embargo el proceso más importante de extrusión seca, es decir extrusión que no emplea líquidos disolventes, es el proceso de extrusión en máquinas de tornillo, en las cuales el material es simultáneamente calentado y extruído.

#### c) Hilatura.

La hilatura es el método utilizado para la obtención de fibras artificiales a partir de polímeros fundidos o en solución. El material se hace pasar a través de finos orificios denominados hileras. Los materiales fundidos o en solución, que tienen una viscosidad pequeña, se puede extruir a presiones relativamente bajas con cualquier tipo de bomba convencional. De este modo se

extruyen monofilamentos de rayón, acetato de celulosa, nylon y otras fibras sintéticas; la solución del material fundido de baja viscosidad se filtra y se bombea a una boquilla múltiple que recibe el nombre de hilera; esta hilera está constituida por un gran número de pequeños orificios, a través de los cuales es forzado a pasar el material por la acción de la bomba. La extrusión generalmente tiene lugar de arriba hacia abajo en dirección vertical.

En seguida se muestran las extrusoras de pistón y de tornillo.

#### II.6.2 Extrusoras de Pistón.

Las máquinas de extrusión de pistón obligan al material a pasar a través de la boquilla empujándolo con un pistón accionado por presión hidráulica o mecánica. Se emplean en la extrusión de materiales termoestables.

El funcionamiento de estas máquinas da lugar a un proceso de fabricación fundamentalmente discontinuo.

El extrusor de pistón sencillo que se muestra en la Figura II.6.3.1 se utilizó primero para la extrusión de caucho; se accionaba manualmente un mecanismo de cremallera y piñón, aunque versiones posteriores incorporaron un sistema hidráulico para accionar el pistón, consiguiéndose así una presión casi totalmen-

te constante en la sección de entrada de la boquilla y una salida más uniforme del extrudado.

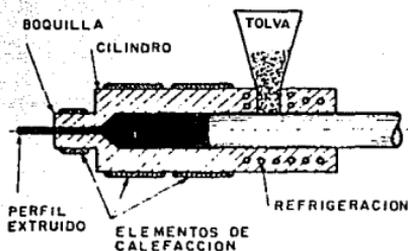


FIGURA II.6.3.1 ESQUEMA DE EXTRUSORA DE PISTON SENCILLO

Las ventajas que pueden señalarse para este tipo de extrusora son el control de la presión (pistón accionado hidráulicamente), que se consigue con gran precisión y con independencia de la temperatura de extrusión, así como no someter el polímero a grandes esfuerzos cortantes, que podrían originar sobrecalentamientos locales indeseables. Las desventajas son, sin embargo, más significativas que las ventajas; el principal inconveniente es la discontinuidad del proceso, la única pieza del equipo que trabaja discontinuamente es el extrusor de pistón.

Otros inconvenientes que se señalan son los tiempos necesarios para calentar los polímeros, demasiado largos, la posibilidad de degradación de las capas del polímero en contacto con la superficie interna caliente del cilindro, la falta de homogeneidad térmica entre capas y el polímero que ocupa la parte central

del cilindro y finalmente la posibilidad de atrapar aire en el seno del extrudado.

Las extrusoras de pistón sencillo se han empleado con cierta fortuna para la extrusión de termoestables (Fig. II.6.3.2).

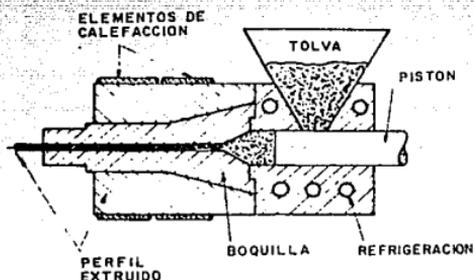


FIGURA II.6.3.2 ESQUEMA DE EXTRUSORA DE PISTON PARA TERMOENDURECIBLES.

Estos materiales, como es bien sabido, pueden fundir y en estado fundido ser inyectados en un molde o extruidos; el proceso es irreversible y no pueden volver a fundir por nuevo calentamiento. Para su extrusión es preciso controlar este proceso de formación de estructuras de red, lo que exhibe calentar muy uniformemente el material hasta que alcance su temperatura de ablandamiento, y en este momento someterlo rápidamente a compresión para darle forma y sólo después calentarlo a elevada temperatura durante un tiempo adicional para que el proceso de formación de estructuras de red pueda tener lugar completamente.

Para extrudados de buena calidad es necesario, además de calentar al polímero, someterlo a elevadas presiones.

#### II.6.4 Extrusoras de Tornillo.

Las extrusoras de tornillo son prácticamente las únicas utilizadas para la extrusión de termoplásticos y, desde luego, empleadas en proporción abrumadora respecto al número total de máquinas empleadas en la actualidad. Estas máquinas se construyen con uno, dos, o más tornillos, con tornillos cilíndricos o cónicos, todos ellos con una gran variedad de diseños. Tal como se muestra en la Figura II.6.4.

#	NOMBRES
1	telva de alimentación
2	tornillo
3	cilindro
A	zona de alimentación
B	zona de compresión
C	zona de dosificación
4	plato rompedor
5	adaptador
6	boquilla
7	transición
8	zona recta de la boquilla
9	elementos de calefacción
10	tornillos

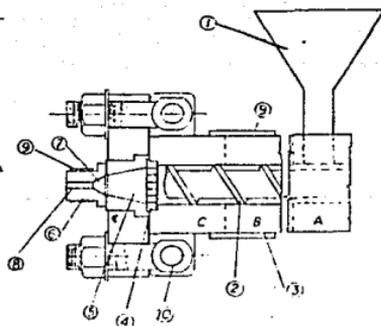


FIGURA II.6.4 ESQUEMA DE UN CABEZAL MOSTRANDO EL TORNILLO DE LA EXTRUSORA, PLATO ROMPEDOR, ADAPTADOR, TRANSICION Y ZONA RECTA DE LA BOQUILLA.

### II.6.5 Aplicaciones.

Las posibilidades que ofrece una extrusora para calentar, plastificar y transportar el material plástico fundido, han situado a esta máquina en una posición de creciente importancia en el campo de la manipulación de los materiales plásticos.

Actualmente, la mayor proporción de los materiales termoplásticos se procesa por extrusión. La extrusión combinada con el empleo de boquillas adecuadamente diseñadas y equipo auxiliar de enfriamiento y arrastre se utiliza para la producción de:

1. Filamentos, tubos, varillas y todo tipo de perfiles.
2. Recubrimiento de cables y alambre.
3. Planchas y películas.
4. Formas continuas tales como canales, barras, T, etc.
5. Moldeo por extrusión y soplado.
6. Preparación de compuestos de moldeo.

### CAPITULO III

#### DISEÑO DE UN EQUIPO DE EXTRUSION DE PLASTICOS

El objetivo de este trabajo es el de diseñar y construir un equipo de extrusión de plásticos para que pueda ser usado con dos finalidades.

Primero que pueda usarse como equipo de prueba, donde pueda determinarse las características de flujo de los materiales, para los diversos materiales plásticos, esto es, las características reológicas de plastificación del polímero para el control de los procesos de conformado. Y segundo, que sea empleado con fines didácticos en donde el alumno pueda ver y comprender el principio bajo el que se realiza este proceso.

De acuerdo al primer objetivo se requiere que las características del equipo sean más exigentes para obtener una mayor precisión en las mediciones, se emplearon la norma del método de prueba ASTM D 1238-88. (Standart test method for flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer), para determinar la rapidez o velocidades de flujo de un termoplástico por extrusión mediante un equipo llamado plastómetro. De esta norma se tomarán las características del equipo y se hará el diseño apegado a la norma, a este equipo se le denominará plastómetro.

El método de prueba básicamente cubre las mediciones de la rapidez de extrusión de resinas plastificadas através de un dado

con una longitud y diámetro específicos bajo condiciones preescritas de temperatura, carga y posición del pistón con el cilindro, así como el tiempo en el momento en que la medición es empezada a hacerse.

El método de prueba es particularmente útil para pruebas de control de calidad de termoplásticos. Mediante este equipo se puede indicar la uniformidad de la rapidez de flujo del polímero, para un proceso individual y que puede ser indicativo de la uniformidad de otras propiedades.

La rapidez de flujo obtenida con el plastómetro de extrusión no es una propiedad fundamental del polímero, es un parámetro definido empíricamente, influenciado críticamente por las propiedades físicas y la estructura molecular del polímero y las condiciones de medición.

Las características reológicas de la plastificación del polímero dependen de un número de variables. Puesto que los valores de las variables que intervienen en esta prueba no se correlacionan directamente con el comportamiento en el proceso. La rapidez de flujo de un material puede ser medida bajo muchas condiciones que mencionaremos.

### III.1 Condiciones de Diseño.

Las condiciones de diseño del equipo de extrusión se tomarán

de las características descritas en la norma, para cumplir con las principales exigencias.

Definiremos como Plastómetro al aparato consistente en un cilindro de acero calentado y controlado termostáticamente, con un dado en la parte inferior y un pistón que vaya siendo cargado en su operación dentro del cilindro. Para evitar obtener resultados diferentes en otros equipos se tratará de hacer cambios relativamente pequeños en el diseño y en el arreglo de las partes del componente.

Es importante por lo tanto hacer el diseño lo más fiel posible a la descripción dada en la norma y por otro lado, deberá de determinarse que la modificación no influya en el resultado.

### III.2 El cilindro.

El cilindro de acero deberá ser de 50.8 mm (2") de diámetro, 162 mm (6 3/8") en longitud con un pulido superficial, una perforación recta de  $9.5504 \pm 0.0076$  mm en diámetro. Deberá ser provisto de perforaciones para sensores térmicos (Termoreguladores, termistores, etc.) y termómetro.

Un plato de 3.2 mm de espesor, con una perforación central que permita el libre paso del producto extruído, deberá ser colocado en la base del cilindro para retener el dado. El cilindro deberá estar soportado por dos tornillos de alta resistencia de 6.4 mm en la parte inferior (radialmente posicionado a ángulos

rectos a la carga aplicada) o por dos barras con cuerda de 10 mm de diámetro en el lado del cilindro para el ataque de un soporte vertical).

### III.3 El dado.

El dado será de acero y de tal diámetro que deberá caer libremente en la parte inferior de la perforación del cilindro 9.5504 mm de diámetro.

El dado deberá tener una perforación de  $2.0955 \pm 0.0051$  mm de diámetro y pulido, éste deberá tener una longitud de  $8 \pm 0.025$  mm.

El barrenado y su acabado son críticos, no deberá tener rayas del taladro visibles u otras marcas de herramienta y no deberá detectarse excentricidad.

El orificio del dado deberá ser acabado por técnicas de pulido conocidas para producir un buen acabado.

Los materiales para dados que se han encontrado satisfactorios, son los de carburo de tungsteno y aleación cobalto-cromo-tungsteno.

### III.4 Pistón.

El pistón deberá tener un buje aislante en su parte superior como una barrena de transferencia de calor del pistón, a la parte superior del pistón deberá ser de  $9.4742 \pm 0.0076$  mm de diámetro y  $6.35 \pm 0.13$  mm en longitud. El diseño del pistón puede tener

medios para reemplazar la base, por ejemplo, tener cuerda y placa inmediatamente arriba de la base. Por arriba de la base deberá tener un diámetro de  $8.89 \pm 0.25$  mm.

El pistón de acero SAE 52100 deberá ser endurecido de 55 a 59 RC, se ha encontrado que es adecuado a temperaturas de trabajo de 200°C.

Si existiera el problema de desgaste o de corrosión es recomendable que el pistón sea de acero inoxidable y el equipo, con una base removible para un fácil reemplazo.

### III.5 Sistema de medición.

La temperatura deberá ser mantenida dentro de lo posible  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  de la temperatura deseada durante la prueba.

A temperaturas más altas o temperaturas mayores de 200°C este grado de control de temperatura puede ser más difícil de obtener.

La temperatura específica deberá mantenerse constante en el material 12.7 mm por arriba del dado.

El dispositivo que indica la temperatura, deberá ser calibrado por medio de un termopar con escala exacta o un sensor de resistencia de platino teniendo un rango de sensibilidad corta. El termopar deberá ser encamisado con una cubierta metálica teniendo un diámetro aproximado de 1.6 mm con su unión caliente rodeada al fin de la camisa.

El sensor del cilindro de esta, se encuentra a 12.7 mm por arriba de la cara superior del dado.

El sensor de temperatura deberá ser usado con un potenciómetro teniendo una sensibilidad de 0.005mV o un termómetro que tenga sensibilidad de 0.1°C.

Es deseable que se calibre el termopar o el sensor de temperatura, o el sensor de platino y el equipo de lectura con un termómetro de referencia (termómetro de resistencia).

También será útil hacer comparaciones del sensor de temperatura y un termómetro similar calibrado usando la perforación del termómetro conteniendo un medio de transferencia.

### III.6 Sistema de calefacción.

El calor deberá ser suministrado por un calentador de banda eléctrica, el cual cubrirá la longitud entera del cilindro.

El calentador más el sistema de control deberá ser capaz de mantener puntos fijos de temperatura dentro de los requeridos a  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  si el calentador contiene dos elementos concéntricos de 100W tan cerca como sea posible de un 90% de la potencia requerida para mantener el cilindro a una temperatura específica, debe ser suministrada continuamente por los dos calefactores externos, seis décimos de esta cantidad de potencia deberá ser suministrada por el elemento interno como se requiera para la temperatura especificada. El cilindro con el calefactor deberá

estar recubierto por 38 mm de vidrio espumado (colchoneta aislante).

Una placa de 3.2 mm de espesor deberá ser colocada en la parte inferior del cilindro para minimizar la pérdida de calor (placa de teflón).

### III.7 Controlador de Temperatura.

El tipo de control y sensor deberá ser capaz de realizar las mediciones y tolerancias de control anteriormente descritas.

#### .I.8 Termómetro.

Los termómetros que contengan graduaciones de 4°C con divisiones de 0.2°C pueden ser usados para indicar la temperatura. La temperatura del material arriba del dado a 12.7 mm deberá ser calibrado por referencia a un termopar.

### III.9 Nivelación.

Deberá realizarse un alineamiento vertical de la perforación del plastómetro de extrusión, esto es necesario para minimizar cargas perdidas, resultado de la fricción del pistón y las paredes.

Los accesorios preferibles en el equipo son:

Una sujeción de dados.

Una herramienta para cortar muestras extruídas.

Cronómetro.

Equipo de limpieza.

Balanza de precisión.

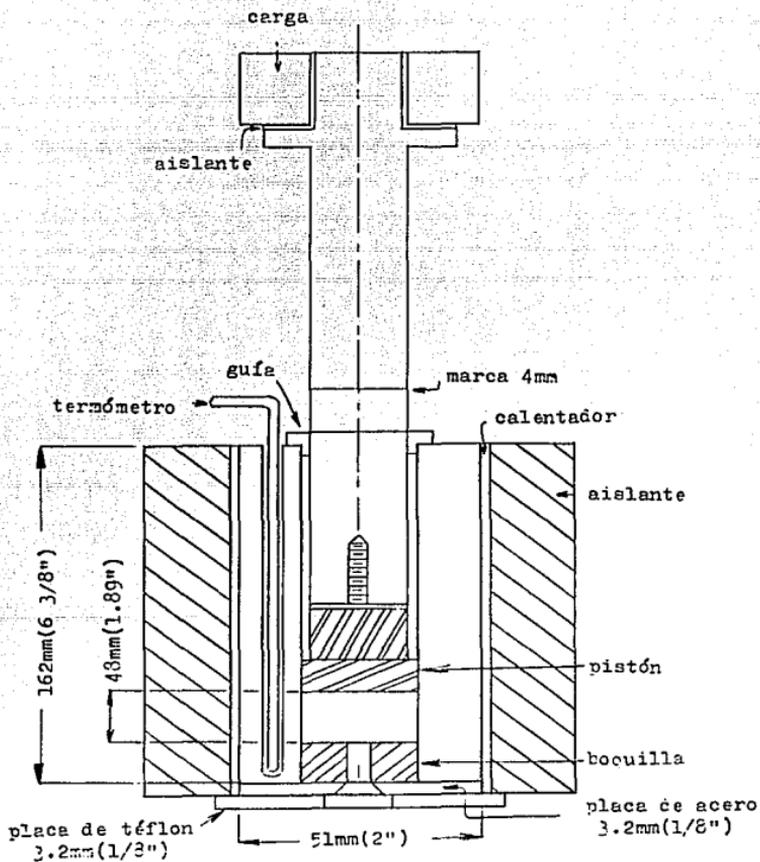


Fig. III.1 Arreglo general del extrusor "Plastómetro".

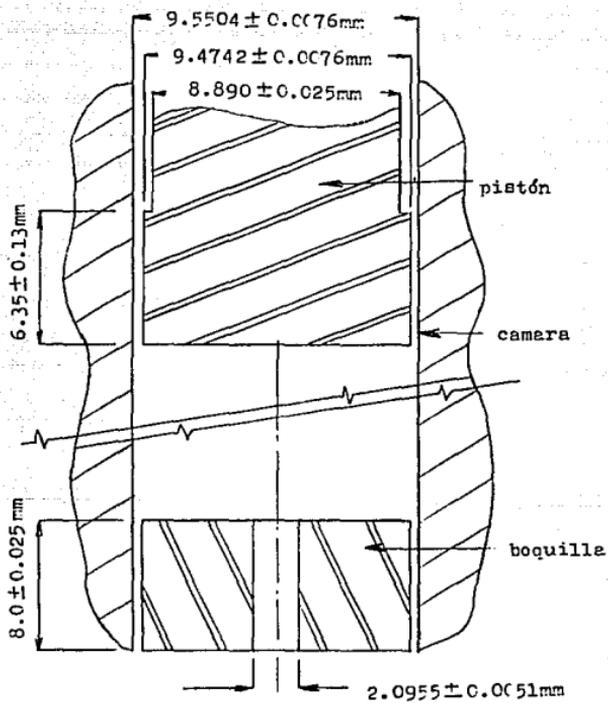


Fig. III.2 Detalle del extrusor "Plastómetro".

## CAPITULO IV

### FABRICACION DEL PLASTOMETRO

En este capítulo se detallará la construcción del plastómetro, los procesos de manufactura, cálculos y variaciones, en el diseño. Para la fabricación del dispositivo se han tomado como base las especificaciones de la norma del capítulo anterior, respetando en cada uno de los elementos, sus dimensiones, tolerancias y acabados.

Con respecto a los materiales, se han seleccionado los más apropiados, con las características mecánicas y de composición química similares, a los señalados por la norma.

#### IV.1 Estructura.

Para la colocación del plastómetro, se ha construido una estructura metálica, que estará fija a la máquina de pruebas mecánicas INSTRON. Esta estructura consta de 2 placas de 1/4" de espesor acero al carbón de 6" X 4", maquinadas por ambas caras y totalmente escuadradas, de cuatro ángulos de 1/8" x 1" x 1" Ac. al carbón (comercialmente acero estructural ASTM A-36), soldados en cada uno de los extremos, y de un perno roscado de 1 1/4" -12 UNF por 2" de longitud, de material 1018 y templado. Está estructura se instalará en la parte inferior de la máquina INSTRON y la cual se muestra en la Figura IV.1.1.

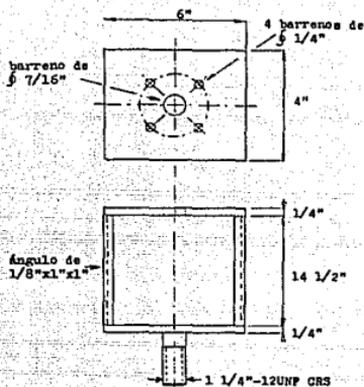
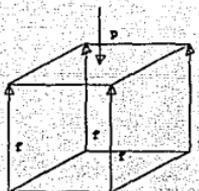


Figura IV.1.1.

Esta estructura se diseña para soportar una tonelada de peso. Por lo que si se soporta por cuatro barras como ilustra la figura.



Se tiene que  $P = 4f$   $\therefore f = P/4$

Para  $P = 1000 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ N}$

Calculando  $f$   $f = \frac{P}{4} = \frac{9810 \text{ N}}{4} = 2452.5 \text{ N}$

El esfuerzo que soporta cada ángulo es igual a:

$$\sqrt{\text{fuerza}} = 2452.5 \text{ N}$$

Area de la sección transversal del ángulo  $1.5096 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$= 16.246 \text{ MPa}$$

Del manual para el acero estructural ASTM-A36 la resistencia a la fluencia es de 250 MPa (tracción).

Como el valor real obtenido para el esfuerzo es menor que el valor del esfuerzo admisible para este tipo de acero, se concluye que la estructura puede soportar la carga de una tonelada.

Es muy importante que se mantenga una simetría en la estructura, la línea de acción de la carga, debe coincidir con el eje de simetría del perno roscado 1 1/4" - 12 UNF. Para cumplir con esta alineación se fabricó una flecha, según Figura IV.1.3.

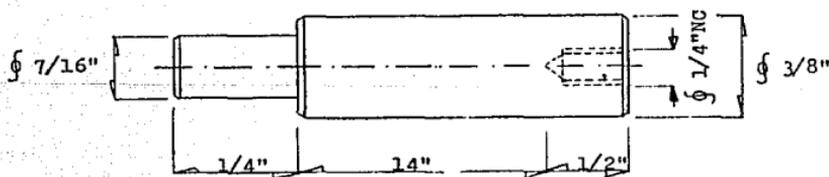


Figura IV.1.3

Esta flecha unirá los centros de las placas, con la placa superior ajustará y con la placa inferior será atornillada. A continuación se soldan los cuatro ángulos con las placas, con electrodo E 6013; 3/32"  $\phi$ .

En la figura IV.1.4. se muestra el ensamble de la flecha a la estructura.

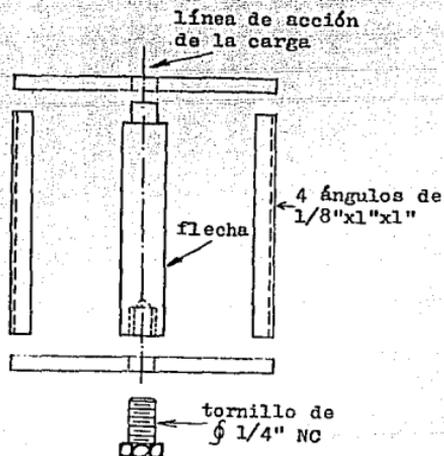


FIGURA IV.1.4

Con este dispositivo se impide que el calor generado por la aplicación de la soldadura deforme la estructura.

#### IV.2 Cámara.

Para la fabricación de la cámara, se ha escogido el acero AISI H 13, que tiene los siguientes elementos de aleación: 0.37 % C, 0.35 % Mn, 1 % Si, 5.25 % Cr. y 1.3 % Mo, que hacen que

sea un acero para trabajo en caliente, con alta resistencia a la corrosión en elevadas temperaturas.

Teniendo en cuenta que en el plastómetro no se tendrán temperaturas por arriba de los 315°C, y que este material puede trabajar hasta los 400°C con un máximo de confiabilidad, fue motivo suficiente para elegirlo. A continuación se indica el proceso de manufactura y las dimensiones finales de la cámara en la figura IV.2.1.

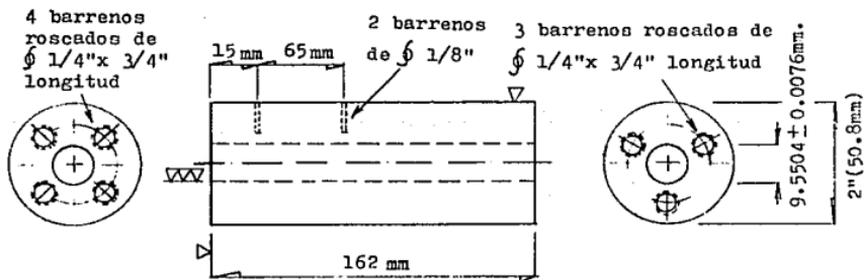


Figura IV.2.1

N	MAQUINA EMPLEADA	OPERACION	DIMENSIONES
1	Torno	Careado y desbaste cilíndrico	2" $\phi$ x 162 mm. longitud.
2	Torno	Barrenado de orificio central en 2 operaciones.	9.128mm $\phi$ (con sobre material para maquinado posterior).
3	Taladro	Trazo y barrenado de 1/4" $\phi$ y 1/8" $\phi$	-----
4	Horno eléctrico	Templado a una temperatura de 840°C.	Para obtener una dureza de 63 RC.
5	Máquina de electro-erosión	Barrenado de orificio central a dimensiones finales.	$\phi$ 9.5504mm $\pm$ 0.0076mm
6	Torno	Pulido final con pasta de diamante	$\phi$ 9.5504mm $\pm$ 0.0076mm

Uno de los problemas que se presentaron fue el de obtener el orificio central de 9.5504  $\phi$   $\pm$  0.0076 mm y darle un buen acabado, ya que el barreno central es considerablemente largo y pequeño en diámetro, y se carecía de brocas convencionales de esa longitud, por lo que se optó en realizar en 2 operaciones, barrenar de un

lado y luego del otro, con una broca  $23/64''$  (9.128mm), dejando sobrematerial para el maquinado final.

Al cilindro se le realizaron cuatro barrenos roscados de  $1/4''$  x  $3/4''$  de longitud, en la cara superior para sujetar el cilindro a la estructura y en la cara inferior se realizaron tres barrenos roscados de  $1/4''$  x  $3/4''$  de longitud, para sujetar al dado a través de dos placas una de asbesto y otra de acero al carbón. También se le hicieron 2 barrenados laterales de  $1/8''$  para la colocación de termopares.

Ya que el orificio central es pequeño en diámetro y largo en longitud, y se carecía de una herramienta especial, para obtener su dimensión final, se optó por buscar otros procesos de manufactura adecuados para obtener este barreno, el cual debe tener un acabado superficial especial, debe estar totalmente pulido y estar libre de rayaduras.

Para realizarse el barreno central, se optó por el maquinado por electroerosión. Antes de realizar esta operación la pieza se templó a una temperatura de  $840^{\circ}\text{C}$  en aceite, para obtener una dureza de 63 RC.

La cámara fue enviada para realizarse el electroerosionado. Finalmente al barreno central, se le realizó un pulido muy fino con pasta de diamante y un paño, en el torno a unas 500 r.p.m. La

finalidad de esta operación era quitar pequeñas asperezas en la superficie.

#### IV.3 DADO.

Para la fabricación del dado se utilizó acero H 13, a continuación se muestran sus dimensiones y el proceso de manufactura del dado. Figura IV.3.1.

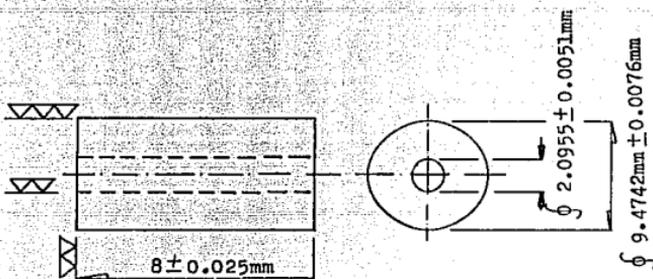


Figura IV.3.1

N	MAQUINA EMPLEADA	OPERACION	DIMENSIONES
1	Torno	Refrentado y desbaste cilíndrico de aproximación	$9.5 \text{ mm} \phi \times 8.0 \text{ mm} \pm 0.025 \text{ mm}$
2	Máquina de electroerosión.	Barronado de $\phi$ 2.09 mm	$9.5 \text{ mm} \phi \text{ ext}; 2.09 \text{ mm} \phi \text{ int} \times 8.0 \text{ mm} \pm 0.025 \text{ mm}$
3	Torno	Pulido final con pasta de diamante	$9.4742 \text{ mm} \pm 0.0076 \text{ mm} \times 8.0 \text{ mm} \pm 0.025 \text{ mm}$

#### IV.4 PISTON.

En la fabricación del pistón se utilizó acero H 13, a continuación se muestran sus dimensiones y el proceso de manufactura del pistón. Figura IV.4.1

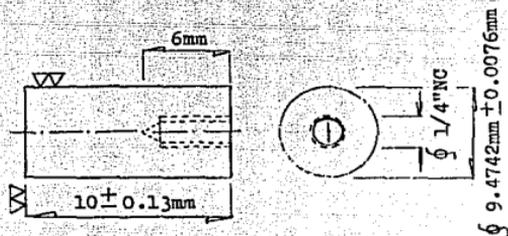


Figura IV.4.1

N	MAQUINA EMPLEADA	OPERACION	DIMENSIONES
1	Torno	Careado y desbaste cilíndrico de aproximación.	$9.5 \text{ mm } \phi \times 10 \text{ mm. long.}$
2	Torno	Barrenado y machueleadado a un $1/4 \text{ NC}$ $\phi$ x $6 \text{ mm.}$ de longitud.	- - - - -
3	Horno eléctrico	Templado a $840^\circ \text{C}$ para obtener 63 RC	- - - - -
4	Torno	Pulido con pasta de diamante.	$\phi 9.4742 \pm 0.0076 \text{ mm.}$

En este caso se ha endurecido el pistón, ya que va estar en contacto con la cámara y en movimiento. El pistón tendrá un buen

acabado exterior, para minimizar la fricción con la cámara, y consta de un barreno roscado para poderse acoplar al vastago.

#### IV.5 ACOPLAMIENTO SUPERIOR.

Este conjunto de partes, va colocado en la parte superior de la máquina INSTRON, su función es la de transmitir el movimiento al pistón, para poderse deslizar dentro de la cámara.

Este conjunto debe estar siempre alineado y no sufrir pandeo. A continuación se muestra el acoplamiento superior con la cámara de extrusión. Fig. IV.5.1.

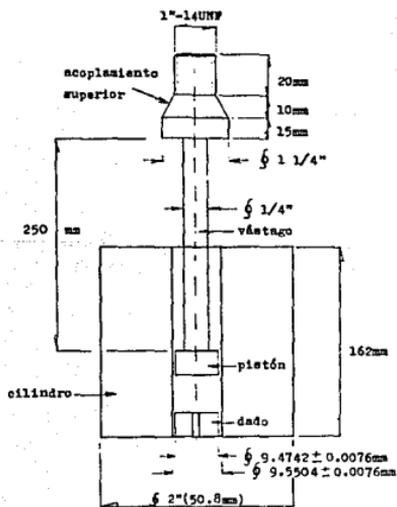
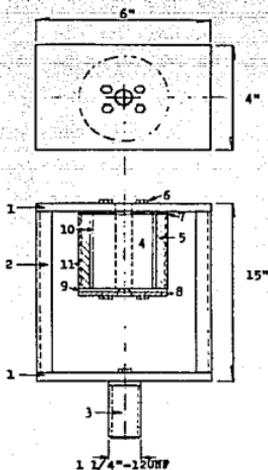


Fig. IV.5.1 Detalle del extrusor "Plastómetro".

En la siguiente figura se muestra a la cámara de extrusión, con el soporte, según figura IV.5.2.



N	CANT.	DESCRIPCION
1	2	Placa de 1/4 esp. ac. al carbón.
2	4	Angulo 1/8"x1"x1" ac. al carbón.
3	1	Redondo 1 1/4"-12 U.N.F. C.R.S.
4	1	Cámara (cilindro $\phi$ ext. 2").
5	1	Recubrimiento de fibra de vidrio.
6	4	Tornillo cab. hex. $\phi$ 1/4"x1".
7	1	Corcho 1/8" esp. (aislante)
8	1	Placa de Asbesto 1/4" esp.
9	1	Placa de 1/8" esp. ac. al carbón
10	3	Calentadores tipo lámina.
11	1	Cinta de teflón

Figura IV.5.2 ESTRUCTURA DEL EXTRUSOR "PLASTOMETRO"

#### IV.6 SISTEMA DE CALEFACCION.

El sistema de calefacción de la cámara de extrusión debe estar aislada para evitar la pérdida de calor hacia el medio ambiente. La cámara está aislada en la parte superior con corcho, el cual ayuda a que la cámara tenga un pequeño movimiento de oscilación, para ajustar la linealidad de la cámara a la dirección de la carga. En la parte inferior del cilindro va colocada una placa de asbesto. Se ha recubierto a la cámara con fibra de vidrio y cinta de teflón, tal como se muestra en la siguiente figura IV.6.1.

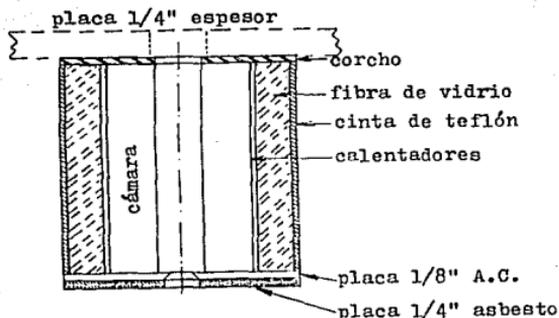


Figura IV.6.1 .

Para la plastificación del material es necesario conocer la capacidad que demandará el sistema, haciendo un balance de energía para determinar la potencia de las resistencias. Figura IV.6.2.

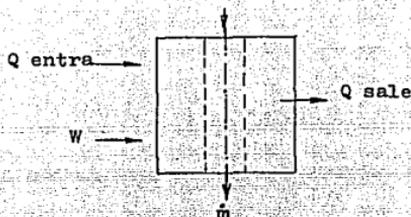


Figura IV.6.2

Es necesario conocer la masa de cada sección (cilindro, pistón y barra plástica), sus respectivos calores específicos, así como la temperatura ambiente; en este caso se ha omitido la masa del vástago, ya que al final se ha cuantificado el porcentaje de pérdida de calor. Calcularemos para el caso del polietileno, que es en general el material plástico más utilizado.

\* Para el cilindro se tiene:

$$\text{Voluen} = \frac{\pi (0.0508)^2 (0.162)}{4} - \frac{\pi (0.00955)^2 (0.162)}{4} = 3.2834 \times 10^{-4} - 1.1604 \times 10^{-5} = 3.1673 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

La densidad del acero H13 es PH13 = 7833 kg/m<sup>3</sup>

$$m = \text{PH13.Vol.} = (7833 \text{ kg/m}^3) (3.1673 \times 10^{-4} \text{ m}^3) = 2.48 \text{ kg.}$$

\* Para el pistón se tiene:

$$\text{Voluen} = \frac{\pi (0.0094)^2 (0.00635)}{4} = 4.4726 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$m = \rho_{\text{AISI}} \text{Vol} = (7833) (4.4726 \times 10^{-7}) = 0.0035 \text{ kg.}$$

† Para la barra plástica:

$$\text{Volumen} = \frac{\pi (0.00947)^2 (0.146)}{4} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{polietileno}} = 920 \text{ kg/m}^3$$

$$m = \rho_{\text{polietileno}} \text{Vol.} = (920) (1.5 \times 10^{-3}) = 9.46 \times 10^{-3} \text{ kg.}$$

Calculando la energía demandada por cada elemento, se considera que la temperatura ambiente es de 20°C, la temperatura de plastificación del polietileno de 160°C, el calor específico del polietileno de 2302.3 J/KgK y el del acero AISI H 13 de 448 J/Kg K.

Aplicando la formula  $Q = m C_p \Delta T$ .

$$Q_{\text{cilindro}} = m C_{p_{\text{cilindro}}} \Delta T = (2.48 \text{ kg}) \left( \frac{460 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (433^\circ\text{K} - 293^\circ\text{K}) = 159712 \text{ J}$$

$$Q_{\text{pistón}} = m C_{p_{\text{pistón}}} \Delta T = (0.0035 \text{ kg}) \left( \frac{460 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (433^\circ\text{K} - 293^\circ\text{K}) = 225.4 \text{ J}$$

$$Q_{\text{Barra plástica}} = m C_{p_{\text{polietileno}}} \Delta T = (9.46 \times 10^{-3} \text{ kg}) \left( \frac{2302.3 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (433^\circ\text{K} - 293^\circ\text{K}) = 3049.16 \text{ J}$$

Si consideramos un tiempo de calentamiento de 10 minutos, la potencia demandada por el sistema será la siguiente:

$$P = \frac{159712J + 225.43 + 3049.16J}{600 \text{ seg}} = 271.6 \text{ Watts}$$

Sin embargo el sistema no está totalmente aislado y existe una pérdida de energía. 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, si es que hay una pérdida de energía suministrada del 10%, como ejemplo.

Se han instalado en el cilindro 3 resistencias de 100 watts c/u. que sumando nos darían 300 watts, estas se han colocado a 120° grados cada una, estas resistencias son de alambre aislado, con tiras de mica, sujetas entre hojas de lámina de acero flexible.

#### IV.7 MEDICION Y CONTROL DE TEMPERATURA.

Para llevar a cabo pruebas con el plastómetro, es necesario tener un control de temperatura adecuado, que nos permita obtener resultados confiables.

El cilindro consta de dos cavidades para instalar sensores de temperatura, en este caso termopares, éstos están colocados en

la parte inferior del cilindro a 15 mm y 80 mm de la base.

Estos controles de temperatura se llevan a cabo con un termopar. El principio del termopar consiste en unir dos metales diferentes, cuando se calienta la unión se generará un pequeño voltaje eléctrico entre las partes frías de los metales, generalmente son hierro puro y el otro es una aleación de níquel y cobre llamada constantan. Figura IV.7.1

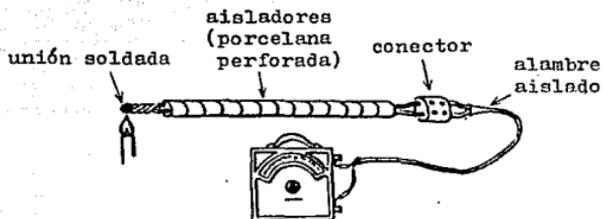


Figura IV.7.1 Termopar

Cuando la unión soldada se calienta, un voltímetro sensible medirá un voltaje a través de los extremos fríos de los dos alambres, el voltaje se incrementa con la temperatura y estos incrementos son del orden de milivolts, se muestra el circuito del sistema en la siguiente figura IV.7.2.

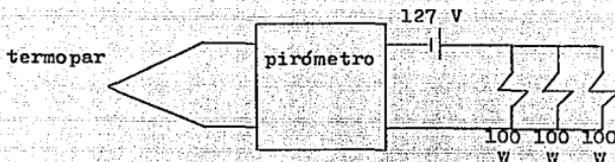


Figura IV.7.2

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 cerrado el circuito, que permitirá el paso de la corriente hacia las resistencias y estas elevarán su temperatura. Al llegar a la temperatura de calibración, el pirómetro dejará de estar en circuito cerrado y pasará a circuito abierto, impidiendo el paso de la corriente a las resistencias, sin embargo, al bajar la temperatura en el cilindro a una inferior a la temperatura de calibración, se cerrará el circuito, así manteniendo el control de temperatura.

## CAPITULO V FUNCIONAMIENTO

### V.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

El procedimiento de prueba es particularmente útil para pruebas de control de calidad en termoplásticos. Este consiste en una operación con interrupción manual basada en el tiempo usado para que los materiales tengan una rapidez de flujo entre 0.15 a 50 g/10 min.

La posición del pistón durante el tiempo de medición es del pie del pistón al extremo, es de 51 mm y 20 mm (2" a 0.78 pulgadas) arriba del dado durante la medición.

### V.2 Muestra de prueba.

La muestra de prueba, puede ser de cualquier forma que pueda ser introducido dentro de la cámara del cilindro por ejemplo: polvo, gránulos, fragmentos o balas moldeadas, es deseable darle preforma (pellets).

Muchos materiales termoplásticos no requieren de previa preparación para probarse. Los materiales que contienen componentes volátiles son químicamente reactivos o tienen otras características especiales, muchos probablemente requieran de condiciones apropiadas en su procedimiento.

La humedad no sólo afecta la reproducción o medición de la velocidad de flujo, en algunos tipos de materiales, la degradación es acelerada por la humedad a las altas temperaturas usadas en las pruebas.

### V.3 Condiciones de Procedimiento.

Las condiciones standard para pruebas son dadas en la Tabla 1. El sistema alfabético usado previamente para designar las condiciones de prueba se exponen en la tabla únicamente para referencia. Las condiciones de prueba serán expuestas como: Condición \_\_\_\_ / \_\_\_\_, donde es dado primero la temperatura en grados celcius, seguido por el peso en Kg. por ejemplo: Condición 190/2.16 (en tabla 1 letra E).

TABLA 1  
Condiciones standares de prueba, temperatura y carga.

Unicamente para referencia	Condición		Temperatura °C	Carga total incluyendo pistón, Kg.	Presión Aprox.	
	Designación standar				Kpa	psi
A	125/0.325		125	0.325	44.8	6.5
B	125/2.16		125	2.16	298.2	43.25
C	150/2.16		150	2.16	298.2	43.25
D	190/0.325		190	0.325	44.8	6.5
E	190/2.16		190	2.16	298.2	43.25
F	190/21.60		190	21.60	2982.2	432.5
G	200/5.0		200	5.0	689.5	100.0
H	230/1.2		230	1.2	165.4	24.0
I	230/3.8		230	3.8	524.0	76.0
J	265/12.5		265	12.5	1723.7	250.0
K	275/0.325		275	0.325	44.8	6.5
L	230/2.16		230	2.16	298.2	43.25
M	190/1.05		190	1.05	144.7	21.0
N	190/10.0		190	10.0	1379.0	200.0
O	300/1.2		300	1.2	165.4	24.0
P	190/5.0		190	5.0	689.5	100.0
Q	235/1.0		235	1.0	138.2	20.05
R	235/2.16		235	2.16	298.2	43.25
S	235/5.0		235	5.0	689.5	100.0
T	250/2.16		250	2.16	298.2	43.25
U	310/12.5		310	12.5	1723.7	250.0
V	210/2.16		210	2.16	298.2	43.25
W	285/2.16		285	2.16	298.2	43.25
X	315/5.0		315	5.0	689.5	100.0

Las siguientes condiciones han sido encontradas satisfactorias para los materiales listados:

<u>Material</u>	<u>Condición.</u>	
Acetales (copolímero y homopolímero)	190/2.16	190/1.05
Acrílicos	230/1.2	230/3.8
Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno	200/5.0	230/3.8
Celulosa esteres	190/0.325	190/2.16
	190/21.60	210/2.16
Nylón	275/0.325	235/1.0
	235/2.16	235/5.0
Policlorotrifluoretileno	265/2.5	
Poliétileno	125/0.325	125/2.16
	190/0.325	190/2.16
	190/21.60	190/10.0
	310/12.5	
Policarbonato	300/1.2	
Polipropileno	230/2.16	
Poliestireno	200/5.0	230/1.2
	230/3.8	190/5.0
Politereftalatos	250/2.16	210/2.16
	285/2.16	
Poli(vinil acetal)	150/2.16	
Poli(fenileno sulfuro)	315/5.0	
Termoplástico Elastomero-Eter-Ester	190/2.16	210/2.16
	230/2.16	240/2.16

Si se usa más de una condición y el material es polietileno, la determinación de la velocidad de flujo promedio (FRR) ha sido encontrada a ser útil. FRR es un número inversamente proporcional derivado de la división de la velocidad de flujo en condición 190/10 por la velocidad de flujo en condición 190/2.16.

#### V.4 Procedimiento de operación manual.

Seleccionar condiciones de temperatura y carga de la tabla 1 de acuerdo con las especificaciones anteriores que la velocidad de flujo sea, entre 0.15 g/10 min. a 50 g/10 min.

Asegurar que el agujero de salida de extrusión del plastómetro esté alineado correctamente en dirección vertical.

El aparato deberá estar limpio. Las partes son limpiadas más fácilmente mientras están calientes. El cilindro, pistón y dado deberán estar a la temperatura de prueba por lo menos 15 minutos antes de comenzar la prueba. Cuando el equipo es usado repetidamente, no será necesario calentar el pistón y el dado durante 15 minutos.

Para el procedimiento de ajuste de temperatura cuidar que la limpieza o el previo uso no afecte las dimensiones. Hacer revisiones frecuentemente para determinar si el diámetro del dado está dentro de la tolerancia.

Remover el pistón y colocarlo en una superficie aislada. Cargar el cilindro en un minuto con una porción pesada de la muestra de acuerdo con la velocidad de flujo esperada, como se da en la tabla 2. Coloque el pistón y comience y precalentamiento por 6 a 8 minutos.

TABLA 2  
Condiciones experimentales, peso y tiempo

Fluidez [g/10min]	Peso sugerido en el cilindro [g]	Intervalo de Tiempo [min.]	Factor de rapidez de Flujo [g/10min]
0.15 a 1	2.5 a 3.0	6.0	1.67
> 1.0 a 3.5	3.0 a 5.0	3.0	3.33
> 3.5 a 10	5.0 a 8.0	1.0	10.00
>10 a 25	4.0 a 8.0	0.50	20.00
>25 a 50	4.0 a 8.0	0.25	40.00

La experiencia ha demostrado que para la mejor reproducción del experimento, el pistón deberá operar desde la misma parte del cilindro para cada medición.

El pistón es marcado para que el punto de comienzo para cada extrusión sea aproximadamente el mismo.

Exceso de material por encima del mínimo requerido para la actual porción del flujo medido el resto es proporcionado cargar

do los pesos mostrados en la tabla 2. Esto es necesario para llevar a cabo un vacío libre y flujo equilibrado antes de comenzar la velocidad de medición. Para una menor velocidad de los materiales será necesario forzar manualmente un poco del exceso del material fuera del cilindro para obtener una marca escrita de la propia posición dentro del tiempo especificado de precalentamiento.

Puede haber casos donde 6 u 8 minutos de precalentamiento no sean suficientes, seis es el tiempo mínimo de precalentamiento. Son permisibles periodos más largos de precalentamiento cuando se considere necesario.

Para fluidos de 10 a 50g/10 min. La carga en mostrada en la Tabla 2, este puede ser un procedimiento largo como el mostrado anteriormente pero con ciertas modificaciones. En este caso, durante los primeros seis minutos de tiempo de precalentamiento, otro pistón o dado podrán utilizarse.

El pistón deberá ser tan largo, que abarque desde la marca del soporte del pistón, esta marca está a 25 mm arriba del soporte, hasta el tope del cilindro.

La purga deberá ser menor de 1 gramo en relación al peso utilizado.

Antes de colocar el peso se procederá a insertar el dado.

El dado nominalmente de 2.0955mm (0.0825in) de diámetro interior y  $8.0 \pm 0.025$ mm (0.315in) de longitud.

Al final del dado deberá llevar un aislante para evitar pérdidas de calor en esta parte. Antes del precalentamiento se procederá a insertar un tapón para evitar escurrimiento debido a el calentamiento.

Se debe tener cuidado en remover el tapón para evitar el contacto con lo fundido.

Para todos los experimentos se deberá colocar el pistón en la posición de referencia.

Cuando se está cerca de los seis u ocho minutos con la carga, si no se logran las condiciones deseadas se procederá a descargar y ajustar manualmente la posición durante el precalentamiento; se requiere para esto el tope descrito o marca del cilindro esto es, el límite de inicio hasta el límite final de extrusión. Si se tienen burbujas visibles, descargar la carga completamente y hacer el experimento de nuevo.

Descargar el remanente de lo extruido hasta el tope, para que se proceda a limpiarlo. El cilindro se limpiará con un paño y solvente, de la misma forma se procede para la limpieza del dado. Un método conveniente es por descomposición química, por

el calor de los residuos en una atmósfera de nitrógeno, colocar el dado en un horno tubular a  $550 \pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Este procedimiento de limpieza es preferible a la flama o por solvente, que son menos perjudiciales para el dado. En ciertos casos donde los materiales tienen similares características y se hacen experimentos consecutivos la limpieza del dado es innecesaria.

Frecuentemente se tienen errores técnicos, de aparatos o de condiciones experimentales esto causa discrepancia en el tipo de fluido a determinar. La existencia de dichos errores son fáciles de determinar por medio de la repetición del experimento.

El tipo de fluido es valuado para obtener tolerancias y poder determinarlo usando una estadística de experimentos programados, con múltiples determinaciones. Por ejemplo el polietileno está disponible en la National Bureau de Standards.

Se sugieren el peso para materiales con densidad de alrededor de  $0.7 \text{ g/cm}^3$  (Tabla 2).

**CALCULOS:** Se conoce el diámetro de la cámara que es de 9.5504 mm y se determina una longitud de 25.4 mm con esto se procede a calcular el volumen.

$$V = AL = \frac{\pi d^2 L}{4}$$

donde  $r$  es el llamado Pi

$d$  es el diámetro de la cámara

$L$  es la longitud de 25.4 mm

Lo cual nos da el volumen de 1.804 cm<sup>3</sup>

Teniendo esto se procede a encontrar la densidad tomando una muestra del peso y éste dividiendo entre el volumen encontrado.

$$\text{Densidad} = \text{Peso} / \text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{1.804 \text{cm}^3}$$

Este peso es el extruido de la resina.

CALCULO DE LA RAPIDEZ DE FLUJO.

$$Rf = (427 \times L \times d) / t$$

donde

$L$  = longitud calibrada de la cámara [cm]

$d$  = densidad de la resina calculada anteriormente [gr/cm<sup>3</sup>]

$t$  = tiempo que recorre el pistón la longitud [seg]

427 = Area promedio del pistón y el orificio del cilindro X 600 [ca<sup>2</sup>]

A continuación se muestran fotografías del equipo instalado a la máquina INSTRON y en operación.

En la figura V.I se tiene al plastómetro acoplado a la parte inferior de la máquina.



Fig. V.1 Máquina de pruebas mecánicas INSTRON y el plastómetro.

En la figura V.2 se muestra a la materia prima en forma de granúlos (pellets), los cuales se introducen dentro de la cámara para su posterior fusión y salida de la boquilla como producto.

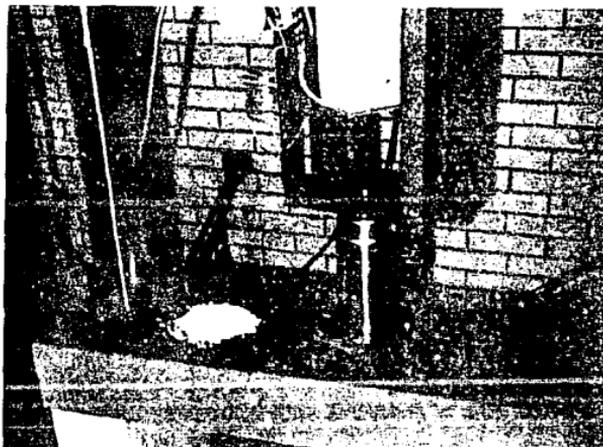


Fig. V.2 Materia Prima.

El acoplamiento superior ya instalado a la máquina INSTRON es introducido dentro de la cámara. Se eleva a temperatura según las condiciones de prueba de la tabla 1. Ya que se tienen las condiciones deseadas, se inicia el proceso de extrusión. En la figura V.3 se muestra al pistón dentro de la cámara.

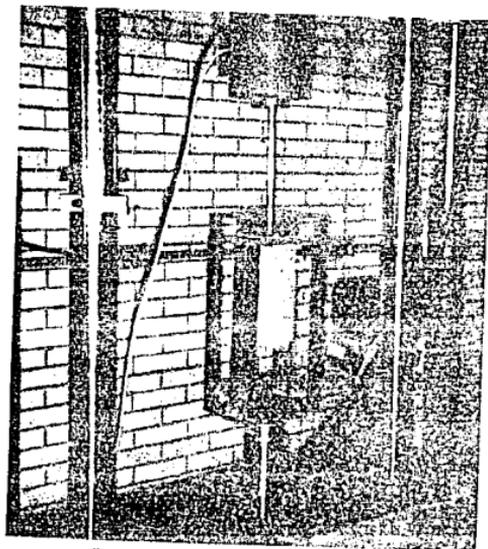


Fig. V.3 Plastómetro

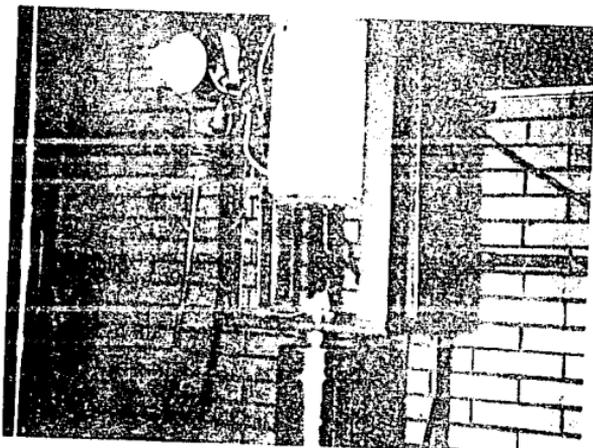


Figura V.4 En proceso de extrusión.

Ya iniciado el proceso de extrusión, con la temperatura y carga deseada, el producto comienza a salir por la boquilla, según se muestra en la figura V.4.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

La finalidad de esta tesis, fue construir un dispositivo, en el cual se midieran ciertas propiedades de los plásticos.

Actualmente el número de materiales plásticos disponibles para procesarse por extrusión crece continuamente, así como la cantidad de productos terminados y semiterminados que se pueden fabricar por este método. La extrusión es probablemente el proceso más versátil en la industria de los plásticos.

Este método de prueba puede ser útil para pruebas de control de calidad, en las que se puedan conocer las características de flujo de la materia prima adquirida, dado que las propiedades de flujo de la masa plastificante en el proceso de extrusión, varían grandemente no solamente entre los diferentes grados, de un mismo material en particular, sino dentro de un mismo grado que se supone se encuentra uniforme y, con frecuencia, varían de bolsa a bolsa, en un lote particular de un solo material. Esta variación aumenta la dificultad en la extrusión y también puede afectar las propiedades físicas del producto final. Por lo tanto, es útil poder determinar rápidamente las propiedades de flujo de la materia plastificante, de los nuevos lotes de material antes de que se usen, de tal manera que se puedan hacer los ajustes necesarios. Para pruebas reológicas se puede usar el plastómetro, dado que funciona determinando la presión requerida para forzar

el material fundido a una temperatura conocida, a través de un orificio patrón, esta información obtenida nos dice el comportamiento que puede tener el material al ser extruido, y hacer los cambios necesarios en el proceso.

En la fabricación de alguno de los elementos que componen al equipo, se realizaron pequeños cambios, sin que esta afectara la funcionalidad del plastómetro. Se diseñaron algunos de estos elementos y se tuvieron que apegar en lo más posible a las necesidades existentes en el mercado, respetando en cada uno, las características exigidas por la norma ASTM D 1238-88. El ajuste de los elementos que componen a la cámara fue muy importante, ya que se tiene que deslizar libremente sin rozamiento, esta característica condujo a dar un buen acabado al interior de la cámara, la cual tiene un diámetro muy pequeño quedificultad realizar tal operación; el pistón y el dado tenían que cumplir con unas dimensiones y tolerancias específicas para deslizarse sin dificultad. El sistema de calefacción es un sistema que nos permite tener temperaturas adecuadas dentro de la cámara con un bajo margen de error. El alineamiento del vástago del pistón es muy importante, debe revisarse siempre para evitar errores en la medición de carga aplicada.

En esta tesis se tienen las bases para realización de prácticas de laboratorio, ya que se menciona un método de prueba, que determina la rapidez de flujo del material plástico.

El objetivo de esta tesis que es el diseño y construcción de un dispositivo de extrusión de plásticos, se alcanzó y este trabajo puede servir de base para el estudio de los plásticos que se procesan por extrusión.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## BIBLIOGRAFIA

Materiales y procesos de manufactura para ingenieros  
Lawrence E. Doyle  
Prentice Hill  
Mexico, D.F. 1985

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

Transferencia de calor  
J. P. Holman  
CECSA  
Mexico, D.F. 1987

Standard test method for flow rates of thermoplastic by  
extrusion plastomer, ASTM Designation D 1238-88

Plásticos, Formulación y Moldeo  
Herber R. Simonds  
CECSA  
Mexico, D.F. 1982

Instituto Mexicano del Plástico Industrial  
Anuario estadístico del plástico 1988  
CLARIDAD  
Mexico D.F. 1988

Química y Tecnología de los Plásticos  
Walter E. Driver  
CECSA  
Mexico D.F. 1991

Tecnología de los Oficios Metalúrgicos  
A. Leyenseiter  
RÉVERTE  
España, Madrid, 1979