

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE  
TERMOPLÁSTICOS PARA FINES DIDÁCTICOS”

PRESENTADO POR  
PEDRO ANTONIO MARTÍNEZ PINEDA  
DAVID LEONEL MOLINA FUENTES  
AMILCAR LEONEL RIVERA PORTILLO

PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO

CIUDAD UNIVERSITARIA , OCTUBRE DE 2002

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :  
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :  
Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :  
Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :  
Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA MECANICA

DIRECTOR :  
Ing. José Francisco Zuleta Morataya

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:  
INGENIERO MECÁNICO

Título :  
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE  
INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS PARA FINES DIDÁCTICOS”

Presentado por :  
PEDRO ANTONIO MARTÍNEZ PINEDA  
DAVID LEONEL MOLINA FUENTES  
AMILCAR LEONEL RIVERA PORTILLO

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :  
Ing. Rigoberto Velásquez Paz

Docente Director :  
Ing. Juan Antonio Flores Díaz

San Salvador, octubre de 2002

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Ing. Rigoberto Velásquez Paz

Ing. Juan Antonio Flores Díaz

## **Agradecimientos**

Agradecemos a los ingenieros Rigoberto Velásquez Paz y Juan Antonio Flores Díaz por toda la colaboración, conocimientos, tiempo y esfuerzo que aportaron para la realización de este Trabajo de Graduación, a la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica por el apoyo brindado, al personal docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Laboratorio de Metal Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura a las empresas que nos brindaron soporte técnico.

Reciban todos nuestros sinceros agradecimientos.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a:

A Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo: por haberme creado y permitido alcanzar este triunfo, por amarme, orientarme y ser la fuerza que mueve mi ser.

A Maria Santísima: por estar siempre pendiente de mí e interceder en todas mis necesidades.

A mi esposa: Maria Luisa por su amor, apoyo y fortaleza para lograr mis metas

A mis hijas: Karla Michelle por ser la inspiración que me impulsa cada día.

Lourdes Maria (†) por ser mi angelito que me cuida siempre.

A mi madre: Toyita por todo su amor y confiar en mi, siempre guiándome hacia Dios.

A mi padre: Pedro (†) porque era su sueño.

A mis hermanos: Marta Eugenia, Neftalí, Jorge, Enrique y Mario German

A mis amigos y hermanos en Cristo Jesús

Pedro Antonio

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a:

A Dios: Por guiarme, darme la fuerza y esperanza para salir adelante

A mis padres: Olimpia Fuentes y Davy Ifrael Molina, por su sacrificio y el amor que me dan todos los días.

A mis hermanos: Claudia, Erick y Edwin por su apoyo y cariño.

A mi familia: A mis tíos, tías, primos, primas y de manera muy especial a mis abuelos David y Leonardo (†) a mis abuelas Concepción y Purificación (†).

A todos mis amigos que me ayudaron a alcanzar esta meta.

David Leonel

Dedicatoria:

Dedico este trabajo

a:

A Dios: Por darme la fuerza, la salud y la confianza para poder vencer cualquier obstáculo.

A mi madre: Maria Margarita Rivera Portillo, por su sacrificio y el amor incondicional permanente que me tiene.

A mi abuela: Rosa Delia Portillo viuda de Rivera, por su apoyo y comprensión.

A mi abuelo: José Luis Rivera (†), porque era su sueño.

A mi hermano: Saúl Ernesto Rivera Portillo, por darme su apoyo, siempre esta cuando lo necesito.

A mi familia: A mis tías, tíos y primos

A mis compañeros y

amigos: Siempre estuvieron cuando los necesite

Amilcar Leonel



## Introducción

El uso de los materiales plásticos se ha incrementado debido a que están siendo utilizados para fabricar gran variedad de partes o elementos de máquina que, tradicionalmente, son construidos con materiales metálicos (acero y aleaciones de cobre y aluminio), cerámicos, madera, u otros, debido a que los plásticos presentan características tales como: bajo peso relativo, aislante eléctrico y térmico, bajo punto de fusión, no se corroen y alta elasticidad; así como las ventajas siguientes: fácil moldeo, bajo costo de producción, adaptabilidad a la producción en serie, buen acabado superficial y, principalmente, que los materiales termoplásticos pueden ser reciclados.

Los materiales plásticos pueden ser procesados por diversos métodos uno de ellos es el moldeo por inyección, siendo importante en estos procesos tener en consideración la presión de inyección, la temperatura de plastificación del material, así como la forma y tamaño de las piezas a fabricar.

En este Trabajo de Graduación se diseñará y construirá una máquina de inyección de termoplásticos, con una capacidad máxima de inyección de 40 gramos. Para ello se realizará una investigación sobre los materiales plásticos, procesos de moldeo y particularidades del proceso de inyección, lo cual fundamentará el diseño a realizar.

Además, se diseñará y se fabricará un molde para realizar las pruebas y verificar el correcto funcionamiento de la máquina, utilizando un material termoplástico determinado de acuerdo a los parámetros de diseño (capacidad máxima de inyección, presión de inyección, fuerza de cierre de molde, área máxima proyectada, temperatura de inyección) de la misma.

## **Objetivos**

### **General:**

Diseñar, construir y verificar el correcto funcionamiento de un modelo de máquina inyectora de materiales termoplásticos de baja capacidad, para fines didácticos.

### **Específicos:**

Realizar una investigación de campo sobre materiales termoplásticos usados en la industria nacional.

Diseñar un modelo de máquina inyectora de termoplásticos que cumpla con las condiciones de operación para ser utilizada en materiales que satisfagan los parámetros de presión y temperatura establecidos.

Construir el modelo de la máquina y un molde de inyección para fabricar piezas, que permita verificar el correcto funcionamiento de la misma.

Índice	Pagina
Introducción .....	I
Objetivos .....	II
1 Marco teórico.....	1
1.1 Teoría básica de polímeros.....	1
1.1.1 Polímeros .....	1
1.1.1.1 Estructura tetraédrica de los carbonatos.....	1
1.1.1.2 Funcionalidad.....	2
1.1.2 Clasificación de los polímeros.....	3
1.1.2.1 Mecanismo de polimerización .....	3
1.1.2.2 Clasificación por el comportamiento.....	4
1.1.2.3 Resumen sobre la clasificación de los polímeros.....	6
1.1.3 Características de los plásticos.....	6
1.1.3.1 Características térmicas.....	6
1.1.3.2 Características mecánicas.....	7
1.1.3.3 Propiedades eléctricas de los plásticos.....	7
1.1.3.4 Características ópticas de los plásticos.....	7
1.1.4 Ensayos realizados a los termoplásticos.....	8
1.1.4.1 Resistencia a la flexión (ASTM D 790).....	8
1.1.4.2 Resistencia a la compresión (ASTM D 695).....	8
1.1.4.3 Modulo de elasticidad a tracción (ASTM D 638).....	8
1.1.4.4 Dureza Rockwell (ASTM D785).....	9
1.1.4.5 Resistividad eléctrica (MΩ-cm) (ASTM 257).....	9
1.1.4.6 Resistencia aislante (MΩ-cm) (ASTM D 257).....	9
1.1.4.7 Pérdida de peso .....	9
1.1.5 Aditivos utilizados en polímeros .....	10
1.1.5.1 Pigmentos.....	10
1.1.5.2 Estabilizantes .....	10
1.1.5.3 Agentes antiestáticos .....	11
1.1.5.4 Retardante de la combustión o llama .....	11
1.1.5.5 Plastificantes .....	11

1.1.5.6 Rellenos .....	11
1.1.5.7 Agentes espumantes .....	12
1.1.5.8 Refuerzos .....	12
1.1.6 Aplicaciones .....	12
1.1.6.1 Ventajas y limitaciones .....	12
1.1.6.2 Aplicaciones de los termoplásticos .....	13
1.2 Procesos de moldeo de plásticos .....	13
1.2.1 Métodos de moldeo .....	13
1.2.1.1 Moldeo por compresión .....	14
1.2.1.2 Moldeo por transferencia .....	15
1.2.1.3 Moldeo por extrusión .....	18
1.2.1.4 Moldeo por inyección .....	20
1.2.1.5 Moldeo por soplado .....	21
1.3 Proceso de moldeo por inyección de termoplásticos .....	22
1.3.1 Principio de funcionamiento de las máquinas de inyección .....	22
1.3.1.1 Unidad de cierre del molde.....	25
1.3.1.2 Unidad de inyección.....	27
1.3.1.3 Sistema hidráulico .....	29
1.3.1.4 Sistema eléctrico .....	31
1.3.2 Especificaciones de las máquinas de inyección .....	32
1.3.3 Regulación de los parámetros de moldeo .....	35
1.3.3.1 Presión y temperatura en el proceso de inyección .....	37
1.3.4 Control de calidad integrado en el proceso de inyección .....	38
1.4 Moldes de inyección .....	40
1.4.1 Consideraciones previas al diseño de un molde .....	40
1.4.1.1 Forma o configuración de piezas inyectadas .....	41
1.4.2 Sistema de alimentación .....	44
1.4.2.1 Bebedero, mazarote y pozo frío .....	44
1.4.2.2 Mazarote .....	46
1.4.2.3 Canales de alimentación .....	47
1.4.2.4 Cavidades .....	50

1.4.2.5 Respiraderos .....	51
1.4.3 Sistemas extractores o expulsores .....	51
1.4.3.1 Colocación de los expulsores .....	52
1.4.3.2 Cualidades de un sistema de expulsión .....	52
1.4.3.3 Tipos de expulsores .....	52
1.4.4 Sistema de centrado del molde .....	53
1.4.5 Materiales para la fabricación de moldes .....	54
1.4.6 Equipos para fabricación de moldes .....	55
2 Investigación de campo sobre la utilización de materiales termoplásticos en la industria nacional .....	57
2.1 Encuesta .....	57
2.2 Resultados de la encuesta .....	58
3 Diseño de la máquina de inyección .....	62
3.1 Configuración de la máquina y el sistema de inyección a utilizar .....	62
3.1.1 Determinación del tipo de configuración de la máquina de inyección .....	62
3.1.2 Elección del sistema de inyección .....	63
3.1.3 Elección del sistema de cierre .....	63
3.2 Determinación de los parámetros de inyección .....	64
3.2.1 Determinación de la presión de inyección y la temperatura de trabajo .....	64
3.2.2 Determinación del área máxima del molde de inyección .....	67
3.2.3 Determinación de la fuerza de cierre máxima .....	67
3.2.4 Determinación del área mínima del molde .....	68
3.3 Diseño de los elementos mecánicos de la máquina .....	70
3.3.1 Diseño de las placas fijas y móvil .....	70
3.3.2 Diseño de la placa que sostiene el cilindro de plastificación .....	75
3.3.3 Diseño de los ejes guías .....	77
3.3.4 Diseño de las tuercas de fijación de los ejes guías .....	78
3.3.5 Diseño del cilindro de inyección .....	79
3.3.5.1 Diseño del cilindro de plastificación .....	80
3.3.5.2 Diseño del émbolo de inyección .....	82
3.3.5.3 Cálculo de la tolerancia del émbolo basado en la dilatación térmica .....	82

3.3.5.4 Selección de la boquilla.....	83
3.3.6 Diseño de la bancada de la máquina .....	83
3.4 Diseño del sistema hidráulico .....	86
3.4.1 Descripción del sistema hidráulico .....	86
3.5 Diseño del sistema térmico de la máquina de inyección .....	90
3.5.1 Descripción del funcionamiento del sistema térmico .....	90
3.5.2 Cálculo del tiempo de plastificación .....	91
3.5.3 Cálculo del tiempo de solidificación .....	93
3.5.4 Cálculo del calor necesario para plastificar el material termoplástico.....	96
3.6 Costos de la fabricación de la máquina de inyección .....	97
3.6.1 Costo de los materiales de la máquina .....	97
3.6.2 Costos de herramientas especiales .....	98
3.6.3 Costo de elementos hidráulicos y eléctricos .....	99
3.6.4 Costo de mano de obra en la fabricación de la máquina .....	100
3.6.5 Tabla resumen de los costos de la máquina de inyección .....	101
3.7 Especificaciones de la máquina de inyección de termoplásticos .....	101
3.7.1 Especificaciones de la unidad de inyección .....	101
3.7.2 Especificaciones de la unidad de cierre del molde .....	102
3.7.3 Especificaciones generales .....	102
4 Diseño del molde de prueba para inyección de termoplásticos .....	103
4.1 Características de la máquina de inyección .....	103
4.2 Evaluación de los aspectos concernientes a la pieza a moldear .....	103
4.3 Determinación de la presión de inyección .....	104
4.4 Fuerza de cierre del molde .....	104
4.5 Análisis de las fuerzas y deflexión .....	105
4.6 Cálculo del tiempo de solidificación .....	107
5 Manuales de la máquina .....	108
5.1 Manual del usuario .....	108
6. Guía de laboratorio .....	124
6.1 Desarrollo de la práctica .....	125
Conclusiones.....	127

Recomendaciones.....	128
Bibliografía.....	129
Glosario	
Anexos	
Planos de la máquina	
Planos del molde	



# 1 Marco teórico

## 1.1 Teoría básica de polímeros

A continuación se presenta una visión amplia sobre los plásticos en particular de los termoplásticos sus propiedades, características, aplicaciones entre otros.

### 1.1.1 Polímeros

Los polímeros son moléculas orgánicas gigantes, que tienen pesos moleculares de 10,000 a 1,000,000 g/g mol. La polimerización es el proceso por el cual se unen pequeñas moléculas para crear esas moléculas gigantes. Conforme aumenta el tamaño del polímero, se aumenta el punto de fusión o de reblandecimiento y el polímero se hace más resistente y rígido.

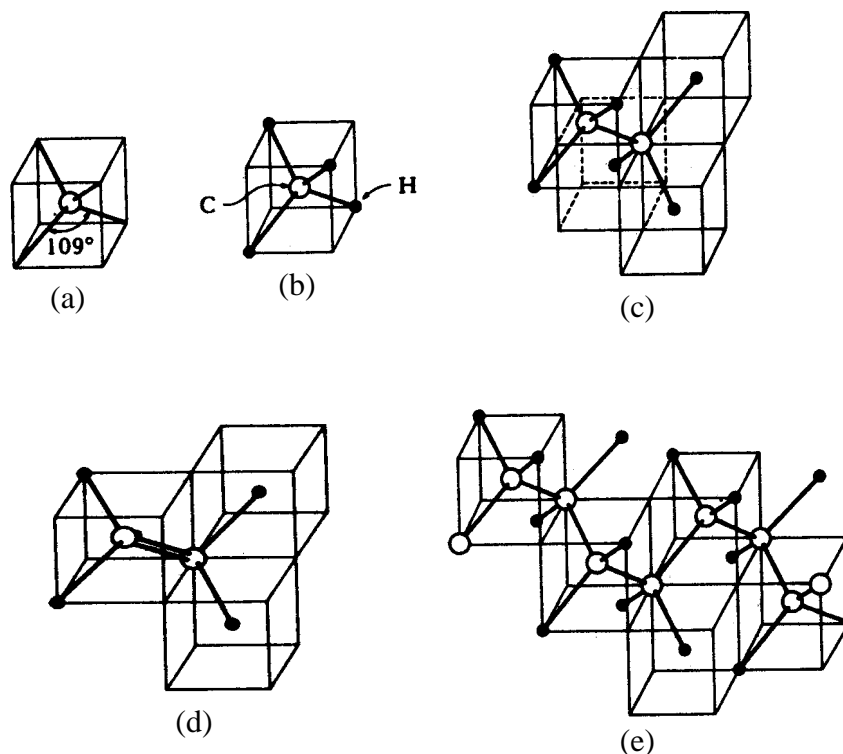
Para hablar de los polímeros es necesario hablar de la estructura tetraédrica de los carbonos y de la funcionalidad.

#### 1.1.1.1 Estructura tetraédrica de los carbonos

La estructura de las cadenas poliméricas por adición está basada en la naturaleza del enlace covalente del carbono. El carbono, al igual que el silicio, tiene valencia 4. El átomo de carbono comparte sus electrones de valencia con cuatro átomos circundantes

Sin embargo, en las moléculas orgánicas, algunas de las posiciones en el tetraedro están ocupadas por hidrógeno, cloruros e incluso grupos de átomos. Puesto que el átomo de hidrógeno tiene un sólo electrón que compartir, el tetraedro no puede extenderse más. En la **figura 1.1 b** se presenta la estructura de una molécula de metano, la cual puede no resultar de un proceso de polimerización por adición simple.

Sin embargo, en el etileno los átomos de carbono se unen mediante un enlace doble, mientras que los demás son ocupados por átomos de hidrógeno (**figura 1.1d**). Así, durante la polimerización el doble enlace se rompe y cada átomo de carbono en la molécula atrae un nuevo mero (**figura 1.1 e**)



**Figura 1.1** La estructura tetraédrica del carbono puede combinarse en una gran variedad de formas para producir cristales sólidos, moléculas de gas no polimerizables, y polímeros. (a) Tetraedro del carbono, (b) Metano con enlaces saturados, (c) Etano, con enlaces saturados, (d) Etileno, con enlace no saturado, y (e) Polietileno

- Átomo de hidrógeno
- Átomo de carbono

### 1.1.1.2 Funcionalidad

La funcionalidad es el número de sitios en los cuales pueden unirse nuevas moléculas al mero. En el etileno, hay dos lugares (cada átomo de carbono) a los cuales pueden fijarse las moléculas. De modo que el etileno es bifuncional y sólo se forman cadenas lineales.

Si hay tres sitios a los cuales se pueden unir las moléculas, el mero es trifuncional.

### 1.1.2 Clasificación de los polímeros

Existen muchas maneras en las que pueden ser clasificados los polímeros, como se presenta a continuación:

- Mecanismo de polimerización
- Estructura del polímero
- Comportamiento del polímero

#### 1.1.2.1 Mecanismo de polimerización

La clasificación de los polímeros de acuerdo al mecanismo de polimerización los clasifican en los creados por el mecanismo de adición y el mecanismo de condensación.

Los polímeros por adición se producen uniendo covalentemente las moléculas en su longitud. Los polímeros por condensación son producidos cuando se unen dos o más tipos de moléculas mediante una reacción química que libera un producto colateral, como el agua.

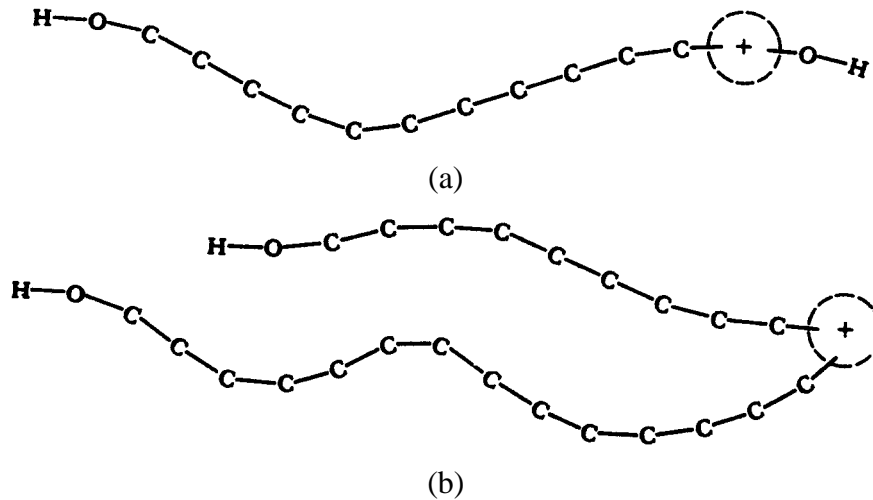
#### Crecimiento de las cadenas por el mecanismo de adición

Para explicar el mecanismo de polimerización por adición se explicara el proceso de creación del termoplástico polietileno.

Para comenzar el proceso de polimerización por adición, un iniciador, como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), se añade al mero de etileno. Los enlaces covalentes entre los átomos de oxígeno en el peróxido y entre los átomos de carbono en el etileno se rompen y un grupo OH se une a un extremo del mero de etileno. Situado a un extremo del mero, el grupo OH actúa como el núcleo de una cadena. Una vez que se inicia la cadena, la reacción procede espontáneamente.

Las cadenas pueden concluirse mediante dos mecanismos **figura 1.2**

Es posible regular la longitud de la cadena mediante el control de la cantidad de iniciador, si se añaden pequeñas cantidades de este, hay menos disponibles para terminar las cadenas y estas son largas.



**Figura 1.2** La terminación de las cadenas por adición ocurre cuando: (a) grupos de OH se unen al extremo de las cadenas; (b) cuando se combinan dos cadenas.

### Mecanismo por condensación

Al igual que el proceso de polimerización por adición puede ser necesario el uso de presión, temperatura y un catalizador causantes de que inicie la reacción.

En el mecanismo de condensación generalmente se tiene un subproducto que es agua.

#### 1.1.2.2 Clasificación por el comportamiento

De acuerdo al comportamiento que los polímeros ofrecen cuando estos son calentados o se les aplica una fuerza, se clasifican en: materiales termoplásticos, termoestables y elastómeros

## **Materiales termoplásticos**

Entre los materiales termoplásticos se tienen: celulosas, poliestireno, polietileno, polipropileno, plásticos acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), poliamida, nylon, resinas acrílicas, resinas de vinilo.

En el **anexo 1**, se presentan los meros, resinas bases y propiedades de algunos termoplásticos.

## **Materiales termoestables**

Los materiales termoestables, se forman produciendo primero cadenas lineales, y después ligándolas en forma cruzada para producir una estructura tridimensional. Puede involucrarse una reacción de condensación al formarse cadenas originales al ser ligadas en forma cruzada.

La mayoría de los polímeros termoestables tienen alta resistencia, baja ductilidad, alto módulo de elasticidad y baja resistencia al impacto en comparación con otros polímeros, esto debido al ligamento cruzado.

Existen ocho categorías distintas de materiales termofijos (sin incluir al caucho, que puede ser considerado también como un material termofraguante), los cuales son: alquilos, alilicios, aminas, epóxicos, fenólicos, poliésteres, silicones y uretanos.

## **Elastómeros (cauchos o hules)**

Ciertos polímeros naturales y lineales sintéticos, llamados elastómeros, muestran una gran deformación elástica cuando se les aplica una fuerza. La deformación puede desaparecer completamente cuando se elimina el esfuerzo. Un ejemplo típico es el de una banda elástica.

### 1.1.2.3 Resumen sobre la clasificación de los polímeros

Cualquiera que sea el método de clasificación que se utilice para los polímeros, se realiza basado en características comunes; es decir: un material termoplástico se crea por el mecanismo de adición, formando cadenas lineales y su comportamiento al aplicarle calor es función del mecanismo de polimerización. Los materiales termoestables se forman por el mecanismo de condensación, formando redes cruzadas, al aplicarles calor estos se degradan, debido a que la reacción que se produce cuando son creados no es reversible.

## 1.1.3 Características de los materiales plásticos

### 1.1.3.1 Características térmicas

**Expansión térmica:** En general los plásticos tienen un elevado coeficiente de expansión térmica lineal,  $\alpha_l$  como se muestra en el **anexo 2**, comparados con los metales y los cerámicos.

La gran capacidad de expansión térmica que los plásticos ofrecen los hace que sean poco sensibles a la fractura térmica.

**Conductividad térmica:** Los plásticos tienen generalmente baja conductividad térmica debido a que no tienen electrones libres para transportar energía a través del gradiente de temperatura. Lo que es más, la mayoría de los polímeros son amorfos, con estructuras internas irregulares y, por lo tanto, el mecanismo atómico de transferencia de energía por coordinación de vibraciones atómicas es ineficaz.

**Ablandamiento con el incremento de la temperatura:** Debido a que muchos plásticos son fabricados con polímeros lineales, estos plásticos pueden ablandarse al elevar la temperatura. Este

ablandamiento es valorado como una ventaja en los procesos de extrusión, moldeo por inyección, soplado y otros. Sin embargo, esto afecta su comportamiento debido a que establece un límite superior a las temperaturas de uso.

### **1.1.3.2 Características mecánicas**

**Propiedades mecánicas:** Existen aplicaciones donde se requiera rigidez de la pieza (carcasas), otras donde lo que se desea es flexibilidad (mangueras). Estos comportamientos tan diferentes son posibles en los plásticos con la utilización de aditivos o por las características de cada plástico en particular.

### **1.1.3.3 Propiedades eléctricas de los plásticos**

**Resistividad** Los datos de **anexo 2** indican que los polímeros son aislantes eléctricos, ya que sus valores de resistividad de todos ellos exceden los  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ , al comparar con los  $10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$  para metales y los  $10^{-2}$  a  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  para los semiconductores.

### **1.1.3.4 Características ópticas de los plásticos**

**Transmisión de luz:** Los plásticos son utilizados en aplicaciones donde la transmisión de luz es de capital importancia, como gafas de seguridad, láminas protectoras, empaques. La mayoría de los plásticos son básicamente transparentes. Sin embargo, cuando se les incorporan rellenos u otros aditivos que impiden el paso de luz, conociéndose estos materiales como traslucidos

#### **1.1.4 Ensayos realizados a los termoplásticos**

Después de haber mencionado algunas de las propiedades más importantes de los plásticos, se describen algunos de los ensayos realizados a los materiales plásticos.

##### **1.1.4.1 Resistencia a la flexión (ASTM D 790)**

Es una medida directa de la carga requerida para causar la ruptura por pandeo. Puesto que usualmente un artículo moldeado debe ser diseñado para conservar su forma cuando se encuentra sometido a esfuerzos de flexión, más bien que para que no se rompa, un ensayo para medir su rigidez a flexión, o el correspondiente módulo de elasticidad, es más significativo por lo general que el ensayo puro de flexión.

##### **1.1.4.2 Resistencia a la compresión (ASTM D 695)**

La medida de la carga de compresión necesaria para ocasionar la ruptura del material plástico, es rara vez de importancia directa en el caso de los termoplásticos, puesto que un artículo generalmente debe ser diseñado para que resista la deformación, lo cual tiene lugar a cargas mucho más pequeñas que las que provocan la ruptura, la resistencia a la compresión por ésta razón puede servir usualmente sólo como base a la cual aplicar un factor de seguridad muy grande.

##### **1.1.4.3 Módulo de elasticidad a tracción (ASTM D 638)**

Es una medida de la fuerza requerida para producir un cambio dado en la longitud. Así, un módulo de elasticidad esta asociado con la rigidez del material y con su capacidad para mantener

su forma bajo una carga momentánea. El módulo de elasticidad de los materiales plásticos es bajo en comparación con los de los metales.

#### **1.1.4.4 Dureza Rockwell (ASTM D 785)**

Expresa la resistencia a la penetración por un ligero contacto con una pequeña bola cargada, y de esta manera se mide la de dureza Rockwell del material.

#### **1.1.4.5 Resistividad eléctrica (MΩ-cm) (ASTM D 257)**

Es una medida de la resistencia eléctrica específica; es decir, de la resistencia al paso uniforme de corriente a través del material (no de la resistencia a la perforación). Por lo tanto, es una medida de la capacidad del material para servir como aislante.

#### **1.1.4.6 Resistencia aislante (MΩ) (ASTM D 257)**

Es una medida más real de aislante de un material, pues se calcula basándose en la corriente que pasa a través del material y en la corriente que pasa por la superficie, determinada en probetas preparadas con un 50% de humedad relativa.

#### **1.1.4.7 Pérdida de peso**

Es una medida de la tendencia de los materiales plásticos a perder peso por envejecimiento, debido a la evaporación paulatina y lenta de los plastificantes u otros componentes. Se determina pesando una probeta, calentándola a  $80 \pm 10$  °C durante 72 horas, volviéndola a pesar y calculando el porcentaje de pérdida de peso.

Otros ensayos realizados a los materiales termoplásticos:

- Peso específico (ASTM D 792)
- Constante dieléctrica (capacidad inductiva específica) a 60,  $10^3$  y  $10^6$  ciclos por segundo (ASTM D 150)
- Índice de refracción (ASTM D 542)
- Transmisión de la luz (por ciento) (ASTM D 791)
- Coeficiente lineal de expansión térmica por  $^{\circ}\text{C}$  (ASTM D 696)
- Velocidad de combustión (pulgadas por minuto, o centímetros por minuto) (ASTM D 635)

### **1.1.5 Aditivos utilizados en polímeros**

La mayoría de los polímeros contienen aditivos, los cuales imparten características especiales al material para cada aplicación en particular.

#### **1.1.5.1 Pigmentos**

Los pigmentos son utilizados para producir colores en plásticos y pinturas. El pigmento debe resistir las temperaturas y las presiones durante el procesamiento del polímero, debe ser compatible con este y debe ser estable.

#### **1.1.5.2 Estabilizantes**

Los estabilizantes impiden el deterioro del polímero provocado por el medio ambiente. Los estabilizantes evitan también el deterioro ocasionado por la radiación ultravioleta.

### **1.1.5.3 Agentes antiestáticos**

La mayoría de los polímeros, debido a que son malos conductores eléctricos, genera electricidad estática. Los agentes antiestáticos atraen mayor humedad del aire hacia la superficie del polímero, mejorando la conductividad superficial del polímero y reduciendo la posibilidad de chispa o descarga eléctrica.

### **1.1.5.4 Retardante de la combustión o llama**

La mayoría de los polímeros, por ser materiales orgánicos, son inflamables. Los aditivos que contienen cloruros, bromuros, fósforos o sales metálicas reducen la posibilidad de que ocurra o se extienda la combustión.

### **1.1.5.5 Plastificantes**

Los plastificantes son moléculas de bajo peso molecular, o bien cadenas que, reduciendo la temperatura de transición vítrea, mejoran las propiedades y características de conformabilidad del polímero.

### **1.1.5.6 Rellenos**

Los materiales de relleno o rellenos se añaden con muchos fines. Ejemplo el mejor conocido es el de la adición de negro de humo al caucho o hule, lo que mejora la resistencia a la carga y al desgaste en los neumáticos. Algunos rellenos, como las fibras cortas o las hojuelas de los materiales inorgánicos, mejoran las propiedades mecánicas del polímero. Otros llamados extensores, permiten que se produzca un gran volumen de material polimérico con relativamente poca resina.

#### **1.1.5.7 Agentes espumantes**

Algunos de los polímeros, incluyendo el uretano y poliestireno, pueden ser expandidos en forma de espuma, con huecos celulares. El polímero es producido primero como pequeñas gotas sólidas que contienen el agente expansor. Cuando las gotas son calentadas, el polímero se vuelve plástico, el agente se descompone para formar un gas dentro de la gota y las paredes de esta se expanden.

#### **1.1.5.8 Refuerzos**

La resistencia y la rigidez de los polímeros se mejoran introduciendo filamentos de vidrio, polímero o grafito. Por ejemplo, la fibra de vidrio consiste en pequeños filamentos de vidrio dentro de una matriz polimérica.

### **1.1.6 Aplicaciones**

Para hablar de las aplicaciones de los plásticos es necesario primero hablar de sus ventajas y limitaciones basadas en sus propiedades o características.

#### **1.1.6.1 Ventajas y limitaciones**

Los productos fabricados con plásticos pueden producirse rápidamente con tolerancias dimensionales exactas y excelentes acabados en las superficies. La ligereza de peso, su densidad relativa varía entre 1.0 y 2.0 para la mayoría de plásticos, importante característica para calcular las relaciones entre la resistencia y el peso. La resistencia a la corrosión, resistentes a los medios que atacan los metales, el concreto y la madera, a las temperaturas atmosféricas. Estos materiales

pueden hacerse transparentes o en colores, tienden a absorber vibraciones y sonido, son aislantes eléctricos.

Las aplicaciones de los materiales plásticos quedan limitadas por su baja resistencia al calor y poca estabilidad dimensional. Comparados con los metales poseen una baja resistencia mecánica, quebradizos a bajas temperaturas, las cargas aplicadas durante largo tiempo dan como resultado tendencias a la fluencia.

### **1.1.6.2 Aplicaciones de los termoplásticos**

Son utilizados para embalaje, empaques de alimentos, botellas, juguetes, telas, tanques, recubrimientos en cables eléctricos, tuberías, ventanas, revestimiento de paredes, pedales, perillas, partes automotrices, utensilios de cocina, carcasas diversas, implementos deportivos, calzado, lentes, engranes, camisas de rodamientos, artículos de hospital y laboratorio, ventanillas de aviones, flotadores, etc.

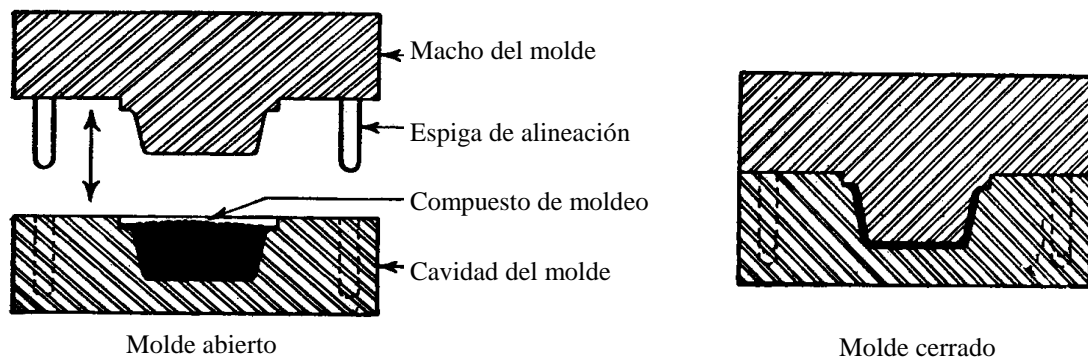
## **1.2 Procesos de moldeo de plásticos**

### **1.2.1 Métodos de moldeo**

Los plásticos difieren grandemente entre sí y se prestan a una variedad de procesos de moldeo. Cada material se adapta mejor a algunos de los métodos, aunque muchos se pueden fabricar por varios de los métodos. En la mayor parte de los procesos, el material para moldear se encuentra en forma de polvo o granular, aunque para algunos existe una operación preliminar de preformado, antes de usarlo.

### 1.2.1.1 Moldeo por compresión

El proceso de moldeo por compresión puede describirse con ayuda de la **figura 1.3**. Un molde de dos piezas proporciona una cavidad que tiene la forma del artículo que se desea moldear. El molde se calienta, una cantidad adecuada del material se coloca en la parte inferior del molde. Las dos partes del molde se cierran y se mantiene cerradas bajo presión. El material de moldeo, ablandado por la acción del calor, funde y se transforma en una masa compacta que toma la forma de la cavidad. Esta masa debe entonces endurecerse para que pueda ser sacada del molde sin que se deforme cuando este se abra.



**Figura 1.3** Proceso de moldeo por Compresión

Si el material plástico que se moldea es termoestable, el endurecimiento se consigue calentando aún más el molde, mientras se mantiene bajo presión. Si se trata de un material termoplástico, enfriando el molde cuando se mantiene aún bajo presión. El moldeo por compresión se utiliza principalmente para los materiales termoestables; mucho menos empleado en materiales termoplásticos, para los cuales el método de moldeo por inyección es preferido. Empleando moldes con varias cavidades es posible hacer producciones masivas. El tamaño del artículo que puede ser moldeado solamente viene limitado por el tamaño y la potencia de la prensa de que se disponga.

El método de moldeo por compresión puede no ser aconsejable cuando se trata de moldear artículos de diseño muy complicado que presenten entrantes, huecos laterales o pequeños agujeros, debido a la necesidad de usar moldes complicados y la posible distorsión o ruptura de las espigas del molde durante el flujo de material a alta presión. Se dice que el llenado completo de la cavidad de un molde de compresión es el resultado del flujo de plástico, pero se entendería mejor considerando que el plástico no fluye, sino que es forzado mecánicamente a llenar todas las partes de la cavidad. Para asegurar que el llenado es completo, la mayor parte de los artículos que deben ser moldeados requieren que las dos partes del molde encajen una en la otra ajustadamente, para evitar que el material escape antes del cierre definitivo del molde. Para asegurar que el molde se llena completamente, también puede ser necesario colocar la carga del material en la posición más adecuada dentro del molde, y en algunos casos usar preformas de formas especiales. Esto es particularmente importante cuando el molde no tiene medios para encerrar toda la carga.

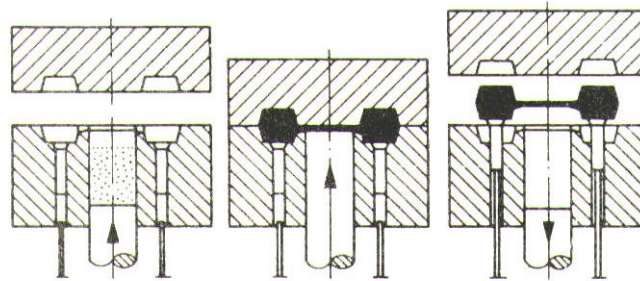
La temperatura del molde y la presión aplicada son extremadamente importantes y es aconsejable seguir las instrucciones del fabricante para cada tipo de material usado.

El tiempo necesario para endurecer los materiales termoestables se denomina generalmente tiempo de curado. El tiempo curado depende del tipo de material empleado, la temperatura de precalentamiento y el espesor del artículo, y puede variar desde segundos a varios minutos.

#### **1.2.1.2 Moldeo por transferencia**

El término “moldeo por transferencia” se aplica actualmente al proceso de conformar artículos en un molde cerrado, a partir de un material termoestable que es transferido, bajo presión, en un estado plástico caliente, desde una cavidad auxiliar.

En el moldeo por transferencia (**figura 1.4**) bien del tipo de dos o más pistones o bien del tipo de un solo émbolo, el material generalmente preformado y precalentado por vapor o eléctricamente, se introduce en un estado blando y semiplástico, en una cámara llamada “pozo” o “cavidad de transferencia”, separada de la cavidad del molde. Desde esta cavidad el material es forzado por la presión a pasar a través de unos orificios dentro de la cavidad o cavidades del molde caliente.



**Figura 1.4** Proceso de moldeo por Transferencia

El canal que sale del pozo se llama “bebedero” y al material que ocupa el bebedero “mazarote”; se llama canales de alimentación a los que conducen desde el bebedero o el pozo a las cavidades; el material que ocupa los canales de alimentación se designa con la denominación de ramificaciones. Las entradas son los puntos en los que los canales de alimentación se unen a las cavidades. En estos puntos la sección transversal de los canales de alimentación es reducida generalmente a un mínimo para facilitar la eliminación del material en exceso de las piezas moldeadas durante las operaciones de acabado de éstas.

El moldeo por chorro, aún utilizado, es la única variante del moldeo por transferencia en la que una masa granular de material termoestable se calienta en un cilindro antes de ser moldeada. En este caso, sin embargo, la temperatura del cilindro está bastante por debajo de la temperatura a la que la velocidad de polimerización es apreciablemente rápida. También el

diámetro interior del cilindro de calefacción es considerablemente más pequeño que en el caso de moldeo por inyección, y la cantidad de material calentada es mucho menor. Un calentamiento adicional se realiza cuando el material pasa a través de la boquilla caliente.

En los moldes de transferencia no son necesarias las cavidades profundas para facilitar la carga, y las secciones moldeadas pueden ser más delgadas que en el caso de moldeo por compresión, pues no necesitan soportar los grandes esfuerzos que se presentan durante el cierre en el moldeo por compresión. Hay menos desgaste en el molde y menos tendencia a romperse las espigas.

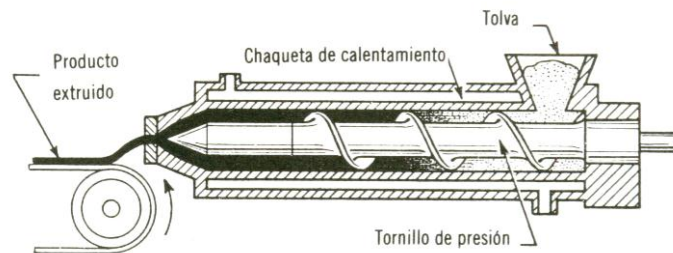
Puesto que los artículos se producen en moldes cerrados que están sometidos a menos desgaste mecánico y erosión; por el material de moldeo que lo que están, los moldes por compresión, es posible conseguir artículos con tolerancias más estrechas en todas sus dimensiones en el moldeo por transferencia.

En la mayoría de casos en el proceso de moldeo por transferencia con pistones auxiliares se pueden mantener tolerancias muy estrechas y conseguirse óptima estabilidad dimensional cuando la precalefacción, plasticidad del material y presión de transferencia son cuidadosamente controladas, y si los canales de alimentación y las entradas de las cavidades están dispuestas de tal manera y tienen tamaños y formas que permiten un flujo rápido y libre de obstáculos del material que entra en el molde cerrado.

Como es de esperar, el moldeo por transferencia tiene algunas limitaciones propias de este método: costo de los moldes, pérdidas de material.

### 1.2.1.3 Moldeo por extrucción

Los materiales termoplásticos, tales como los derivados de celulosa, resinas de vinilo, poliestireno, polietileno y nylon, pueden extruirse por medio de matrices, en formas simples de cualquier longitud. Un diagrama esquemático de una prensa de extrusión se muestra en la **figura 1.5**. Con material granulado o pulverizado se alimenta a la tolva forzándolo luego a través de una cámara de calentamiento por medio de un tornillo sin fin. En la cámara, el material se convierte en una masa densa y viscosa, forma en la cual, se pasa a través de la matriz. Al abandonar a la matriz, se enfría por medio de aire, agua o por contacto con una superficie fría, endureciéndose gradualmente al descansar sobre el transportador. La combinación de boquillas de diseño especial, equipo de arrastre y/o de conformado posterior, permite el uso de las máquinas de extrucción para conformar los materiales plásticos para formas y aplicaciones tan diferentes y diversas como las que se indican a continuación: fabricación de planchas y películas, producción de filamentos, varillas, tubos y perfiles, recubrimientos de alambres y cables laminación (revestimiento de películas o planchas).



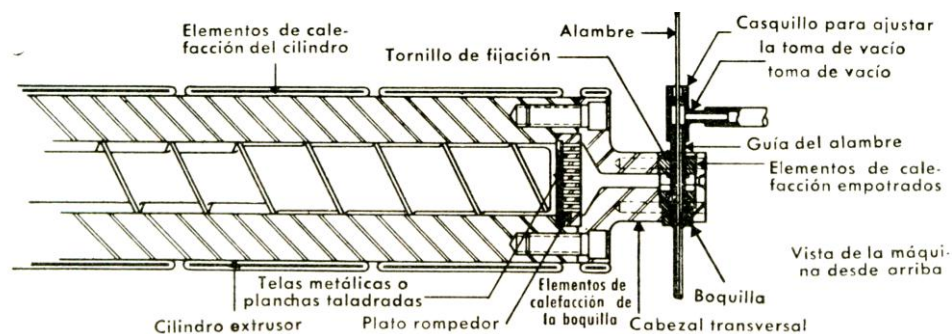
**Figura 1.5** Proceso de moldeo por extrucción

Una máquina para extrusión de materiales termoestables utiliza un émbolo en lugar de un tornillo para forzar el material a través de la matriz. El material es alimentado por una tolva que se encuentra atrás del cilindro, y por medio de la carrera del émbolo es forzado a entrar a una

matriz de cono largo, cuando cuyas zonas han sido previamente calentadas. El calor adicional resulta de la resistencia de la fricción cuando el material es forzado a pasar a través del cilindro y matriz. El curado es completo cuando se llega a la parte final de la extrusión.

Un proceso conocido como recubrimiento por extrusión se usa extensivamente para cubrimiento de papel, telas y láminas. Un material termoplástico es extruido a través de una matriz plana sobre una lámina que pasa por abajo. El material es extruido, mientras se ablanda y combina por encima de la capa inferior y es unido por un rodillo de hule que lo sostiene junto a un rodillo de acero a una presión deseada. Los bordes de las láminas son recortados al enrollarse. Aunque algún material termoplástico puede ser extruido como un recubrimiento, los más usados son los vinilos, polietileno y polipropileno.

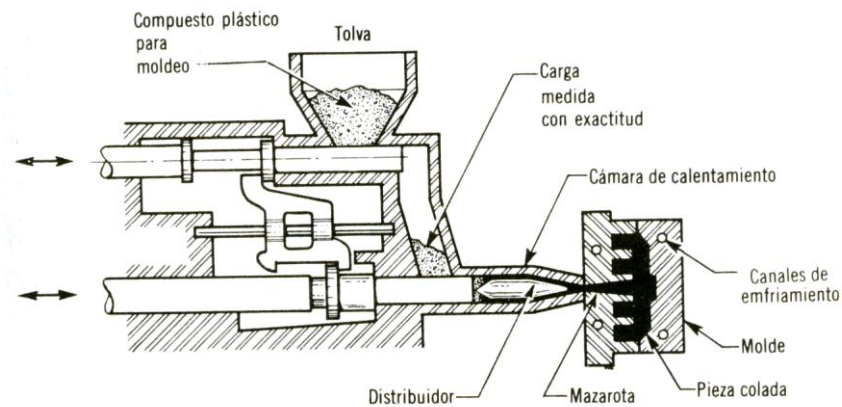
El recubrimiento de cables y alambres con un material aislante y protector es una importante aplicación del proceso de extrusión. Se emplean máquinas normales de extrusión, con un tornillo adecuado al tipo de material que ha de ser utilizado. La boquilla de extrusión se monta en un cabezal transversal para que la extrusión del material tenga lugar en un ángulo (generalmente de 90°) con el eje de la máquina de extrusión. El alambre entra continuamente por la parte posterior del cabezal y es recubierto por el plástico, y pasa a través de una zona de enfriamiento, siguiendo siempre una línea recta **figura 1.6**



**Figura 1.6** Recubrimiento de alambre por extrusión

### 1.2.1.4 Moldeo por inyección

El moldeo por inyección es el proceso más usado para la manufactura de componentes de materiales termoplásticos. El proceso es similar al de fundición de metales a presión. El material granular pasa de la tolva a la cámara del tornillo sin fin, donde es calentado y fundido y luego inyectado a alta presión en el molde o matriz, donde se le deja que solidifique **figura 1.7**. La solidificación tiene lugar cuando el material está todavía bajo presión, con lo que se obtienen tolerancias bastante precisas. La matriz se enfría constantemente con agua. Existen muchas máquinas diferentes de moldeo por inyección.



**Figura 1.7** Proceso de moldeo por Inyección

Los ejemplos de las aplicaciones de este importante proceso incluyen juguetes, latas, cajas, accesorios, bombas, hélices, engranes, cojinetes, guías, tapones y cubiertas de aparatos eléctricos. Por los altos ritmos de producción obtenibles, es un proceso barato de producción en masa. Es fácil lograr tolerancias en el intervalo de  $\pm 0.1$  a  $\pm 0.5$  mm, dependiendo del tamaño de la pieza a producir.

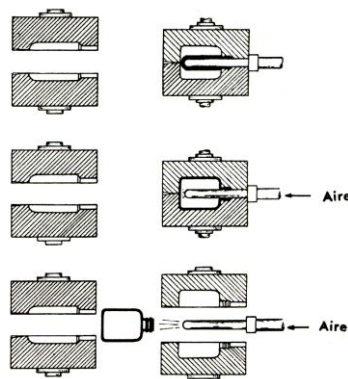
El moldeo de termoplásticos es el más utilizado, pero en años recientes el moldeo de plásticos termoestables por inyección ha tenido un uso muy extenso y se han desarrollado

moldeadoras que pueden procesar tanto materiales termoestables como termoplásticos, además de hules.

Se debe mencionar que las propiedades de los componentes dependen en alto grado de que se llenen apropiadamente el molde, los bebederos y el canal de colada, así como de las condiciones de enfriamiento. En consecuencia, el diseño del molde o matriz desempeña un papel importante en el moldeo por inyección. Puesto que el sistema de moldeo es bastante costoso, se debe manufacturar un gran número de componentes para hacer que el proceso sea económico.

#### 1.2.1.5 Moldeo por soplado

El moldeo por soplado se usa principalmente para producir recipientes huecos de paredes delgadas de resinas termoplásticas. Un cilindro de material plástico conocido como un plástico soplado, es posicionado y extruido lo más rápido posible entre las mordazas a partir del molde como se ilustra en la **figura 1.8**. Cuando el molde es cerrado, aprieta el exterior del plástico soplado y el producto se completa por aire a presión forzando el material contra la superficie del molde. Los moldes deben ser adecuadamente ventilados para eliminar deficiencias en el acabado superficial. Tan pronto como el producto es lo suficientemente enfriado para prevenir distorsión, el molde se abre y la pieza es sacada.



**Figura 1.8** Proceso de moldeo por soplado

Para algunos plásticos, deberán enfriarse las botellas hasta la temperatura ambiente por aspersión de agua. Los extremos superior e inferior de la botella deben recortarse para quitar los excesos, sin que sea necesario otro proceso.

Los artículos hechos en esta forma incluyen envases para cosméticos, botellas, flotadores, ductos para calefacción en automóviles, recipientes para detergentes líquidos y bolsas de agua caliente. El polietileno, polipropileno y acetato de celulosa se encuentran entre los plásticos que se pueden conformar por las técnicas del soplado.

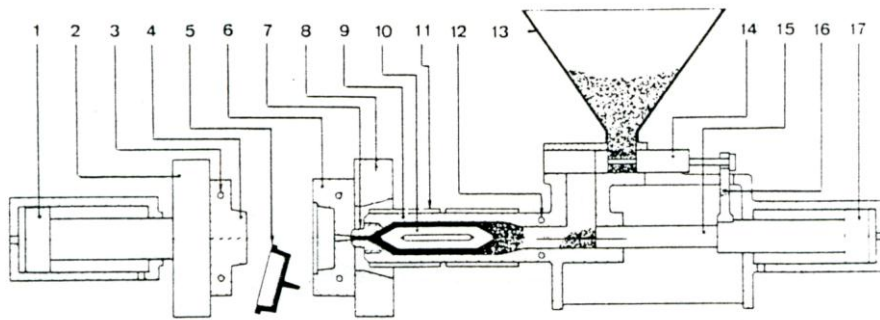
## **1.3 Proceso de moldeo por inyección de termoplásticos**

### **1.3.1 Principio de funcionamiento de las máquinas de inyección**

El proceso de moldeo por inyección, consiste esencialmente en calentar el material termoplástico que viene en forma de polvo o gránulos para transformarlo en una masa plástica en un cilindro llamado cilindro de plastificación y así inyectarlo en la cavidad del molde, de la cual tomará la forma final. Debido a que el molde está a una temperatura inferior al punto de fusión del material termoplástico, después de que esté es inyectado se solidifica con rapidez. En este momento del proceso, el ciclo se ha completado y se extrae la pieza moldeada.

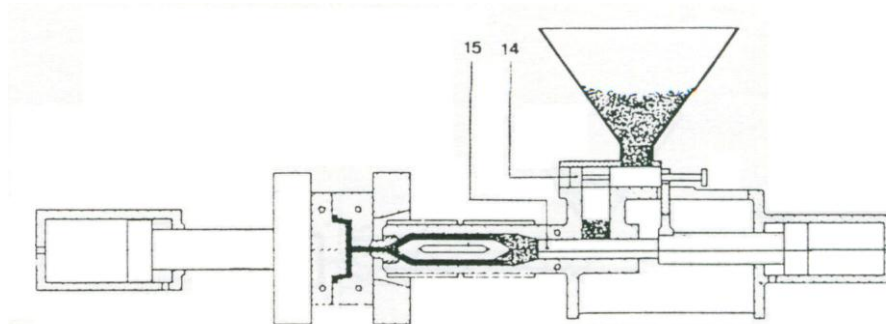
La duración del ciclo de trabajo varía, según el tipo de resina empleada y la configuración de la pieza moldeada, de un segundo (para las máquinas más veloces que moldean piezas de aproximadamente 5 g) hasta algunos minutos (para las que moldean piezas de 2 Kg o más).

La **figura 1.9** representa el esquema básico de una máquina de inyección del tipo de pistón que ha finalizado su ciclo de trabajo; se ve la pieza moldeada (5) que ya fue expulsada del molde.



**Figura 1.9** Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección tipo pistón.

La **figura 1.10** representa la misma máquina durante el ciclo de trabajo. En esta figura se nota el molde cerrado y el pistón (15) que ha terminado la inyección del material dentro del molde.



**Figura 1.10** Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección tipo pistón.

Refiriéndonos a la **figura 1.9** y **figura 1.10**, las etapas o fases del proceso son las siguientes:

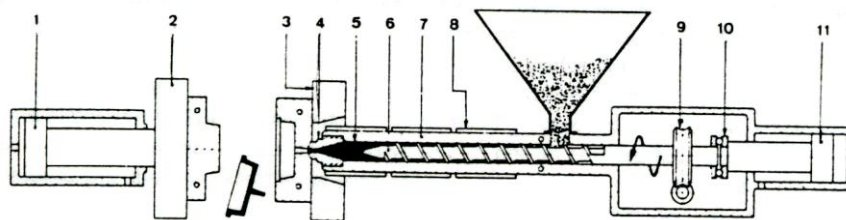
- a) Cierre del molde accionado por el pistón (1)
- b) Inyección del material al molde por medio del pistón (15) que, a su vez, es accionado por el pistón (17) del cilindro hidráulico.

- c) Pausa para el enfriamiento del material inyectado
- d) Retorno del pistón inyector a su posición inicial
- e) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

Al introducirse en el mercado materiales termoplásticos con características mejoradas , se requieren mayores presiones específicas de inyección y mejor plastificación, con lo que se inicio la construcción de máquinas equipadas con una unidad de inyección dotado con un husillo plastificador. Éstas fueron llamadas máquinas de moldeo por inyección con husillo reciprocante.

La **figura 1.11** muestra el esquema básico de una máquina de moldeo por inyección con husillo reciprocante. En la figura se puede ver que la unidad de cierre es igual a la de una máquina tipo pistón, en tanto que la unidad de inyección es sustancialmente nueva. De hecho, el cilindro de plastificación y su correspondiente pistón fueron sustituidos por el cilindro (7) y el husillo (6).

La corredera dosificadora también fue eliminada ya que la dosificación se lleva a cabo por el husillo que gira en el cilindro.



**Figura 1.11** Diagrama de una máquina de moldeo por inyección con husillo reciprocante. Todos los componentes móviles están representados al finalizar el ciclo.

Las fases de operación de este tipo de máquina son las siguientes:

- a) Cierre del molde por el pistón (1).

- b) Inyección: el pistón (11) empuja hacia adelante el husillo (6), con movimiento axial en el cilindro, transfiriendo el material plastificado de la cámara de inyección a la cavidad del molde.
- c) Plastificación: terminada la fase de inyección, el husillo empieza a girar accionado por el motoreductor (9). De este modo, se realiza la fase de plastificación, durante la cual el material termoplástico es transferido de la tolva a la cámara de inyección (5). Durante esta transferencia, el material se plastifica por efecto del calor generado por resistencias eléctricas (8). Al proceso de plastificación contribuye también el calor producido por la fricción del material en su recorrido de la tolva a la cámara de inyección. De hecho, también la energía mecánica suministrada por el motor al husillo para su rotación se transforma en calor. El regreso del husillo (durante la fase de plastificación) se verifica por el empuje provocado por el material termoplástico al ser transportado a la cámara de inyección por el mismo husillo y no por efecto de ningún sistema externo. Las subsecuentes etapas del ciclo son:
- d) Pausa para el enfriamiento de la pieza inyectada
- e) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

### **1.3.1.1 Unidad de cierre del molde**

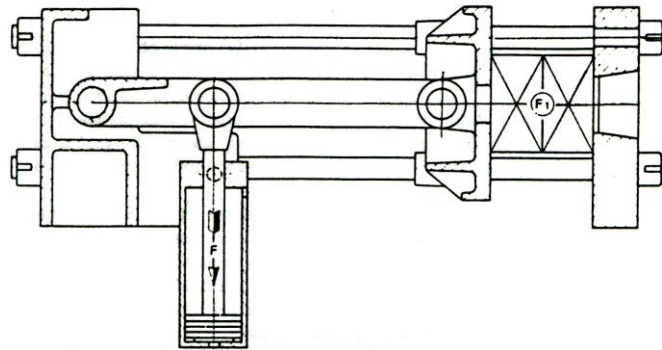
La unidad de cierre del molde es el componente de la máquina que sostiene el molde, efectúa el cierre y apertura del mismo, genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección, así como la fuerza para abrirlo para extraer la pieza. Se han creado muchos sistemas de cierre del molde, pero los más conocidos y utilizados son:

- Cierre por rodillera simple o doble
- Cierre por pistón (también conocido como cierre directo)

- Cierre hidromecánico o pistón bloqueado

### Cierre por rodillera simple

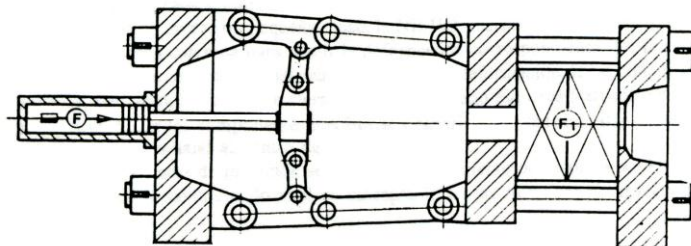
La rodillera simple es un sistema de elementos articulados que, multiplicando la fuerza externa, realiza la fuerza de cierre requerida. La relación de multiplicación obtenida varía de 15 a 2, normalmente, los sistemas de rodillera son accionados por un cilindro hidráulico **figura 1.12**



**Figura 1.12** Sección longitudinal de un grupo de cierre de moldes tipo rodillera simple, accionado por cilindro hidráulico

### Cierre por rodillera doble

El sistema de rodillera doble, **figura 1.13** es el más usado en la actualidad, particularmente en máquinas con fuerza de cierre hasta de 10,000 kN (1000 ton), la relación de multiplicación obtenida varía de 25 a 50 veces.

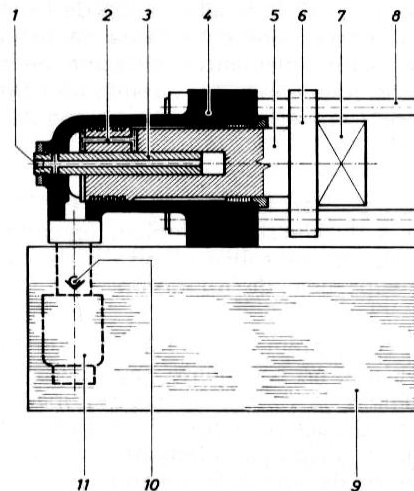


**Figura 1.13** Sección longitudinal de un grupo de cierre de moldes con doble rodillera, accionado por cilindro hidráulico.

### Cierre por pistón hidráulico

Este tipo de cierre mostrado en la **figura 1.14**, tuvo una amplia utilización en la década 1950-1960.

Comparándolo con el sistema por rodillera el sistema por pistón resulta más lento, pero permite tener una carrera larga de placa móvil, sin aumentar sustancialmente el costo del sistema.



**Figura 1.14** Sección longitudinal de un grupo de cierre de moldes tipo pistón (llamado también cierre directo)

#### 1.3.1.2 Unidad de inyección

La unidad de inyección es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección al molde del material termoplástico.

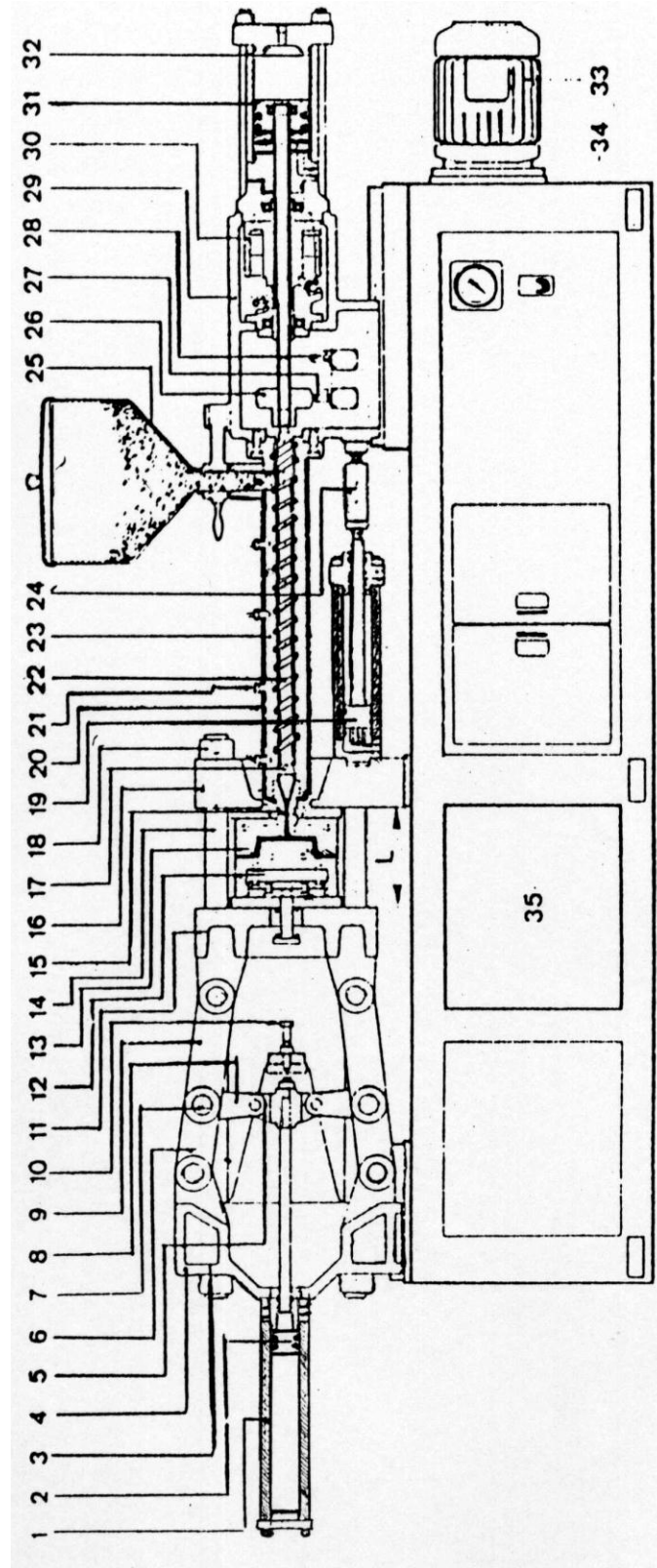
En la **figura 1.15** se puede ver que este grupo lo componen tres partes fundamentales:

- Cilindro de plastificación (23)
- Cabeza de inyección (29)
- Cilindro de inyección (32)

Veamos la composición exacta de éstas partes y su función.

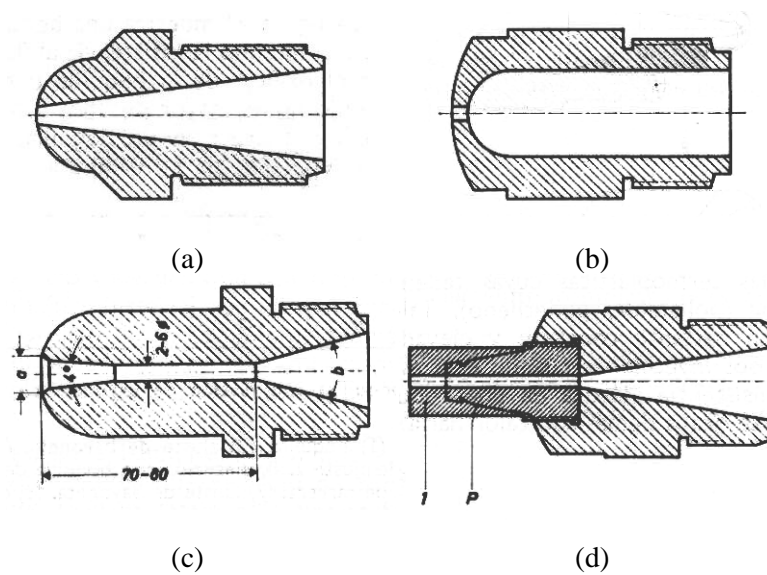
El cilindro de plastificación comprende el husillo (22), la boquilla (15) y las resistencias eléctricas (20) para el calentamiento del material plástico.

Del cilindro de plastificación, donde están insertos los termopares o termocuplas(21), parten de los conductores que están conectados a los termorreguladores o controladores de temperatura del cilindro de plastificación, enviando una señal a los termorreguladores ya descritos.



**Figura 1.15** Sección longitudinal de una máquina de inyección de moldeo por inyección por husillo reciprocante, del tipo doble rodillera. Nótese que el molde está cerrado y el husillo (22) en posición final de la inyección.

Mediante las boquillas de inyección, que se fijan en la parte anterior del cilindro de inyección, se establece la conexión con el molde, para dirigir el termoplástico al bebedero. Análogamente a la diversidad de técnicas de llenado, se dispone de boquillas de diversa construcción. Las boquillas se fijan a la parte anterior del cilindro de inyección mediante rosca o también mediante un perfil de bayoneta. En la **figura 1.16** se presentan algunas de las boquillas utilizadas en máquinas de inyección.



**Figura 1.16** (a) boquilla estándar con perfil convexo y orificio cónico, (b) boquilla de flujo libre, (c) boquilla para la elaboración de termoplásticos de baja viscosidad, (d) boquilla de antecámara.

### 1.3.1.3 Sistema hidráulico

El funcionamiento de este sistema se puede sintetizar en la esquematización de la **figura 1.17** de la siguiente forma:

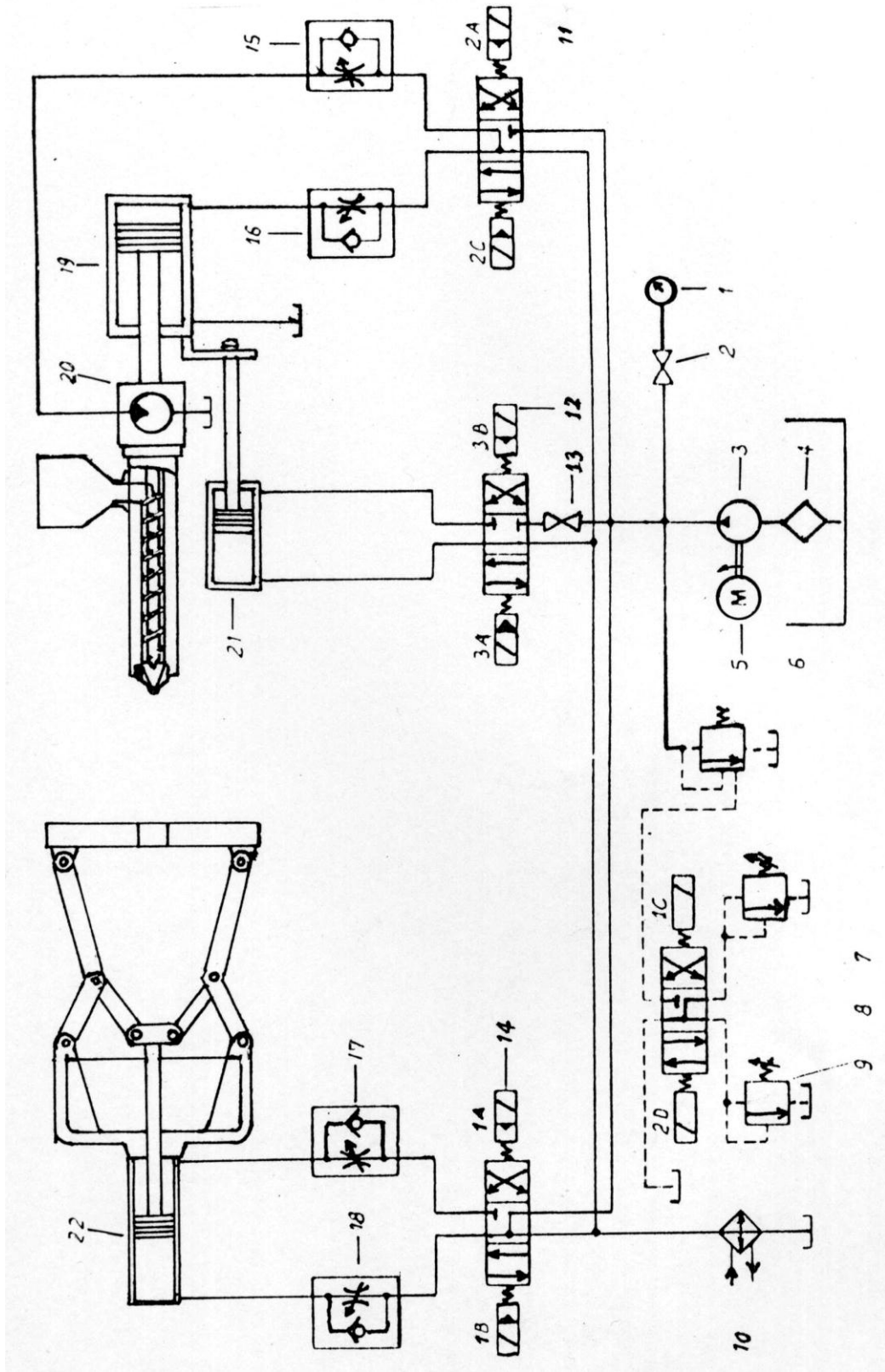


Figura 1.17 Diagrama de un sistema hidráulico convencional de una máquina de moldeo por inyección con doble rodillera

La bomba (3) succiona el aceite del tanque a través del filtro (4) y lo envía a los distribuidores (11), (12) y (14), los cuales actúan mediante señales eléctricas los respectivos cilindros.

La máxima presión del sistema es controlada por la válvula (6), mientras que la válvula (7) y (9) controlan, la baja presión de cierre del molde y la segunda presión de inyección o pospresión de inyección, respectivamente.

Los reguladores de flujo (17) y (18) tienen la función de controlar la velocidad de cierre y apertura del molde, mientras que el control de la velocidad de rotación del husillo y la velocidad de inyección se realizan mediante los reguladores (15) y (16).

La velocidad de traslación de la unidad de inyección se regula mediante la válvula (13), el enfriamiento del aceite en circulación se hace por medio del intercambiador de calor (10), normalmente del tipo de tubos con circulación de agua fría. El aceite de retorno, antes de llegar al tanque, pasa por el intercambiador de calor.

#### **1.3.1.4 Sistema eléctrico**

Las máquinas de moldeo por inyección están equipadas con un sistema eléctrico que sirve para controlar el funcionamiento automático del proceso, la temperatura del cilindro de plastificación y motor eléctrico, así como los dispositivos especiales que eventualmente requiere la máquina.

El sistema puede estar instalado en la base de la máquina o en un gabinete separado de la misma. Esta última solución es preferible, ya que estando el sistema separado de la máquina no se transmiten las vibraciones producidas durante el funcionamiento y se garantiza una mayor vida útil de los elementos eléctricos, además de reducir las posibles fallas.

### **Sistema eléctrico para el control del calentamiento del cilindro de plastificación**

Prácticamente el cilindro se calienta por medio de resistencias eléctricas tipo banda colocados en la superficie externa. Con relación a la longitud del cilindro de plastificación, los grupos de resistencia pueden variar de dos para las máquinas pequeñas, a ocho grupos para las máquinas grandes. Cada grupo está controlado por un termorregulador (controlador de temperatura) conectado a un termopar inserto en el cilindro. El sistema de regulación asegura una temperatura constante del cilindro al nivel prefijado en el termorregulador. La conexión del sistema de calentamiento se efectúa por medio de un interruptor, el cual a su vez activa los contactores que alimentan a las resistencias eléctricas.

#### **1.3.2 Especificaciones de las máquinas de inyección**

Las especificaciones o características técnicas proporcionadas por el fabricante son aquellas correspondientes al funcionamiento o prestaciones de la máquina, la potencia eléctrica instalada. El manual de instrucciones de la máquina también contiene un dibujo con las dimensiones de las placas porta moldes, la carrera de la placa móvil, datos relativos al mínimo y máximo espesor del molde; información indispensable para el diseño y construcción de los moldes.

Las características técnicas de una máquina de moldeo por inyección se presentan a continuación:

- **Diámetro del husillo** (mm): es el diámetro externo del husillo que plastifica e inyecta el material en el molde.
- **Relación L/D del husillo**: es la relación entre la longitud útil del husillo (L) y su diámetro externo (D)

- **Presión de inyección** (bar o  $\text{kgf/cm}^2$ ): es la presión máxima específica que se aplica sobre el material termoplástico para ser inyectado en el molde.
- **Volumen teórico de inyección** ( $\text{cm}^3$ ): es el volumen generado por el husillo durante su traslación en la fase de inyección
- **Volumen efectivo de inyección** ( $\text{cm}^3$ ): es la cantidad real de material termoplástico que la máquina puede inyectar en el molde.
- **Capacidad efectiva de inyección en peso**: es la cantidad de material, expresada en gramos, que la máquina puede inyectar en el molde. Ésta varía en función del peso específico del material y puede ser determinada multiplicando el volumen de inyección efectivo por el peso específico del material que se utilice.
- **Capacidad de inyección** ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ): Es el volumen de material que la máquina puede transferir al molde en un segundo a la máxima velocidad de inyección. Este dato sirve para calcular el tiempo que la máquina emplea para inyectar en un molde un volumen prefijado de material.
- **Capacidad de plastificación** ( $\text{kg/h}$  o  $\text{g/s}$ ): es la cantidad de material que la máquina puede plastificar en una unidad de tiempo, a la máxima velocidad de rotación. Está varía con relación al tipo de material termoplástico que utilice.
- **Velocidad máxima de rotación del husillo** (rpm): es la máxima velocidad de rotación que el husillo puede alcanzar durante la etapa de plastificación.
- **Potencia instalada de calentamiento en el cilindro de plastificación** (kW): es la potencia máxima de las resistencias instaladas sobre el cilindro de plastificación
- **Potencia del motor hidráulico (o eléctrico) que acciona el husillo** (HP o k W): es la máxima potencia disponible para hacer girar el husillo en la etapa de plastificación.

- **Par máximo del husillo** (Nm o kgf-m): es el momento de torsión máximo disponible en el husillo durante la rotación en la fase de plastificación.
- **Fuerza de contacto de la boquilla sobre el molde** (kN o kgf): es la fuerza que empuja la boquilla contra el molde durante la fase de inyección.
- **Número de zonas de calentamiento del cilindro**: es el número de zonas sobre el cilindro de plastificación con control independiente de temperatura.

Las especificaciones de la unidad de cierre de moldes son:

- **Fuerza de cierre del molde** (kN o toneladas): es la máxima fuerza con la cual se puede cerrar el molde
- **Carrera de la placa móvil** (mm): es la carrera máxima de la placa móvil. Corresponde a la carrera de apertura del molde.
- **Distancia entre columnas** (mm): es la máxima distancia entre las columnas de deslizamiento de la placa móvil. Sirve para definir el máximo ancho del molde.
- **Dimensiones de las placas** (mm): indica el espesor mínimo y máximo del molde que puede montarse en las placas.

Las especificaciones generales son:

- **Potencia del motor eléctrico** (kW o HP): es la potencia del motor eléctrico que acciona el sistema hidráulico.
- **Potencia máxima instalada** (kW): es la potencia máxima instalada sobre la máquina y corresponde a la suma de la potencia del motor eléctrico y la potencia de las resistencias eléctricas del cilindro de plastificación. Si la máquina está dotada con un motor eléctrico para

accionar el husillo, la potencia debe sumarse para el cálculo de la potencia máxima instalada. En la práctica, la potencia consumida varía del 25% al 60% de la potencia instalada según el ritmo de utilización de la máquina.

- Ciclos de vacío (ciclos/min): es el número de ciclos que la máquina puede realizar en un minuto, con el molde montado pero sin realizar las fases de inyección y plastificación. En efecto, durante la prueba de velocidad en vacío, la máquina realiza las siguientes fases:
  - Cierre y bloqueo del molde
  - Acercamiento de la boquilla al molde
  - Separación de la boquilla del molde
  - Apertura del molde

### **1.3.3 Regulación de los parámetros de moldeo**

En una máquina de moldeo por inyección todos los parámetros del ciclo de trabajo son variables con objeto de poder adaptarse a las exigencias de calidad y precisión de las piezas que se producen, a las características del molde y del material termoplástico que se usa. Moldeando, por ejemplo, piezas que tienen el mismo peso, con el mismo material pero con forma y características diversas, se tendrán condiciones diferentes del ciclo de producción y por lo tanto diferente regulación en los parámetros del mismo ciclo.

Los parámetros que deben regularse en una máquina por inyección en función del molde y del tipo de material para trabajar son los siguientes:

1. Velocidad de cierre del molde
2. Velocidad de apertura del molde
3. Carrera de la placa móvil
4. Fuerza de cierre del molde

5. Espesor del molde (distancia entre placas)
6. Tiempo entre ciclos (reciclo)
7. Velocidad de inyección
8. Velocidad de plastificación (rpm, velocidad del husillo)
9. Carrera de inyección y espesor del “colchón”
10. 1<sup>ra</sup> presión de inyección (presión de llenado)
11. 2<sup>da</sup> presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento)
12. Tiempo de sostenimiento
13. Contrapresión del husillo
14. Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde
15. Carrera de separación de la boquilla al molde
16. Temperatura del cilindro de plastificación
17. Temperatura de la boquilla
18. Temperatura del molde (medio molde fijo y móvil)
19. Carrera de extracción
20. Velocidad de extracción
21. Fuerza de extracción

Algunos de estos parámetros requieren una regulación predeterminada fácil de ajustar, otras en cambio son confiadas a la habilidad del operador que efectúa el ajuste de la máquina. De estos últimos lo más críticos son: carrera de inyección, velocidad de inyección, tiempo de inyección, presión de sostenimiento de inyección, velocidad del husillo, tiempo por ciclo.

Los dispositivos para la variación de los parámetros se encuentran localizados según su función: si son con respecto al tiempo del ciclo y control de la secuencia, estarán en el gabinete de control eléctrico; si se trata de la velocidad y presión, se actúa sobre perillas colocadas normalmente en la bancada de la máquina, mientras que para la regulación de la carrera de la placa móvil y de la carrera de inyección se efectúa desplazando los interruptores de límite colocados en los grupos correspondientes.

Si la máquina está equipada con válvulas hidráulicas proporcionales, las presiones y velocidades se prefijan en el gabinete de control usando los preselectores digitales.

Para las máquinas equipadas con control por microprocesador y monitor, todos los parámetros del ciclo de moldeo se fijan directamente en el teclado del mismo monitor. Esto resulta muy práctico, ya que el operador no debe moverse alrededor de la máquina para accionar las válvulas hidráulicas y los interruptores de final de carrera que controlan el movimiento de la máquina.

Además, cuando el ciclo de moldeo alcanza su operación adecuada, todos los parámetros pueden ser grabados en una cinta o en la memoria electrónica en pocos segundos. Cuando el mismo molde deba ser montado nuevamente en la máquina para una siguiente producción, todos los parámetros pueden ser rápidamente introducidos al control del microprocesador, teniendo así la autorregulación de la máquina también en pocos segundos.

### **1.3.3.1 Presión y temperatura en el proceso de inyección**

La presión necesaria para empujar al material de moldeo a través del cilindro de calefacción y dentro del molde puede variar desde unos  $700 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $1750 \text{ kg/cm}^2$ . Se emplean controles especiales hidráulicos para ajustar la presión a las necesidades de cada trabajo en particular. Se estima, con bastante diversidad de criterio, que el 25% o el 75% de la presión de inyección se transmite dentro del molde, donde es contrarrestada por la presión de cierre del molde.

La temperatura a la que el material debe ser calentado en el cilindro depende de varios factores; pero usualmente está entre  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , aproximadamente. Los materiales termoplásticos, exceptuando el nylon, no tienen temperaturas de ablandamiento claramente

definidas, sino que se hacen progresivamente más fluidos en una amplia zona de temperaturas. Las temperaturas máximas y mínimas entre las que un material puede ser moldeado pueden diferir tan sólo 10 °C, o pueden diferir hasta 100 °C, según el material de que se trate, el diseño del molde, la máquina que se utilice y el artículo que deba moldearse. Los artículos moldeados por debajo de la temperatura mínima de inyección, quedarán rechupados, presentando líneas de soldadura y señales de flujo y presentaran una superficie sin brillo. Por encima de la temperatura máxima, las superficies de los artículos presentaran moteaduras y señales de grietas. Pueden haber también rebabas e incluso decoloración y descomposición del material.

El exacto control de la temperatura del cilindro es un factor esencial en el moldeo por inyección. Es preciso hacer aún mucho trabajo sobre el diseño de cilindros de calefacción y sobre los aparatos de control que permitan una regulación más exacta de la temperatura del material. Una colocación más racional de termopares que indican y controlan la temperatura de los pirómetros, juntamente con un mejor diseño de los canales por los que debe fluir el material plástico en el cilindro de calefacción, han permitido la construcción de máquinas más satisfactorias que se encuentran hoy a disposición del moldeador por inyección.

#### **1.3.4 Control de calidad integrado en el proceso de inyección**

Las causas que influyen en la precisión de las piezas moldeadas pueden atribuirse a tres factores fundamentales:

- El molde
- La materia prima
- La máquina

Si estos tres factores no son bien combinados entres si, no se puede hablar de precisión y tampoco de calidad; aún las mejores máquinas construidas con la mayor precisión, tienen

diferentes características de un lote a otro, así que es fundamental que la máquina este en sus mejores condiciones de trabajo para garantizar estándares en los parámetros básicos del proceso.

La difusión de las formas de automatización aplicadas a los ciclos de moldeo, como la expulsión de las piezas del molde por medio de robots y manipuladores, no sólo tienen la ventaja implícita de reducir el trabajo, sino también la de obtener una mayor constancia en el ciclo a fin de mejorar los estándares de las características de las piezas moldeadas.

En este punto se pensaría al instante que el problema de calidad puede resolverse desde el principio si se construyen moldes perfectos, si sólo se alimenta materia prima que se haya revisado previamente y se trabaja con máquinas que se regulan con circuito cerrado y están por completo automatizadas.

Pero, ¿a qué costo? Es obvio que todo esto costaría mucho y no podría justificarse en todos los tipos de fabricación.

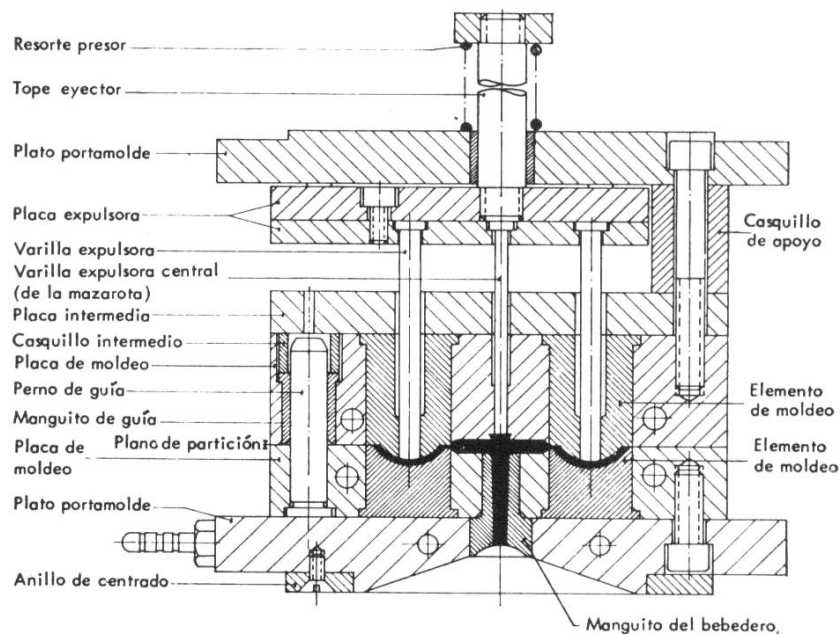
El procedimiento para verificar cualquier tipo de artículo manufacturado incluye intervenciones en tres diferentes fases de la producción:

- Durante la fase de aceptación de la materia prima, para estar seguros que sus características y presentación corresponden a lo que se requiere
- Durante la fase de operación, para verificar que los parámetros reales referentes a la transformación corresponden a los fijados en la máquina
- Durante la fase de prueba, después de que se termina la pieza para constatar que cumple con las especificaciones

## 1.4 Moldes de inyección

Para la construcción de un molde de inyección es indispensable adaptarse a la pieza que va a ser moldeada, al material y a la máquina de inyección.

Los moldes de inyección se pueden clasificar en función de la forma en que se realiza el desmolde de la pieza: normales, de guillotina, de corredera, para piezas con resaltes, de mordazas, para roscados, etc. Ahora bien, en todos estos hay una serie de elementos comunes **figura 1.18**



**Figura 1.18** Designación de las partes de un molde

### 1.4.1 Consideraciones previas al diseño de un molde

Para diseñar un molde hay que considerar tres puntos, que son los siguientes:

- Forma o configuración de las piezas
- Material de moldeo más adecuado
- Diseño y economía del molde

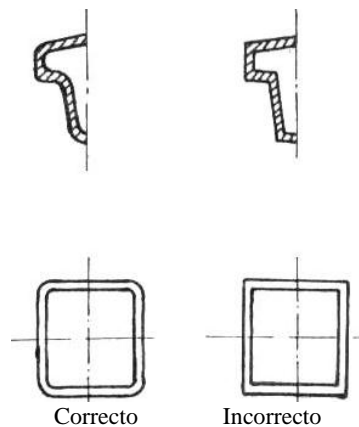
### 1.4.1.1 Forma o configuración de piezas inyectadas

#### Diseño

Siempre se realizara un estudio del diseño de la pieza para determinar si se puede moldear; es decir, examinaremos si su configuración permite que una vez moldeada pueda ser extraída del molde, y que sus dimensiones son las adecuadas para que el material pueda penetrar en todos los puntos de la cavidad.

#### Radios

Para conseguir una buena fluidez del material dentro del molde se necesitan amplios radios en las esquinas, evitando, siempre que sea posible, los filos y laterales rectos **figura 1.19**



**Figura 1.19** Radios en esquinas

#### Conicidad

En el diseño de piezas inyectadas hay que pensar en que todas las superficies situadas en la dirección de movimiento de apertura y cierre del molde han de realizarse con una determinada inclinación para facilitar el desmolde. El valor adecuado de esta inclinación oscila entre  $0.75^\circ$  y  $1^\circ$ .

## Orificios

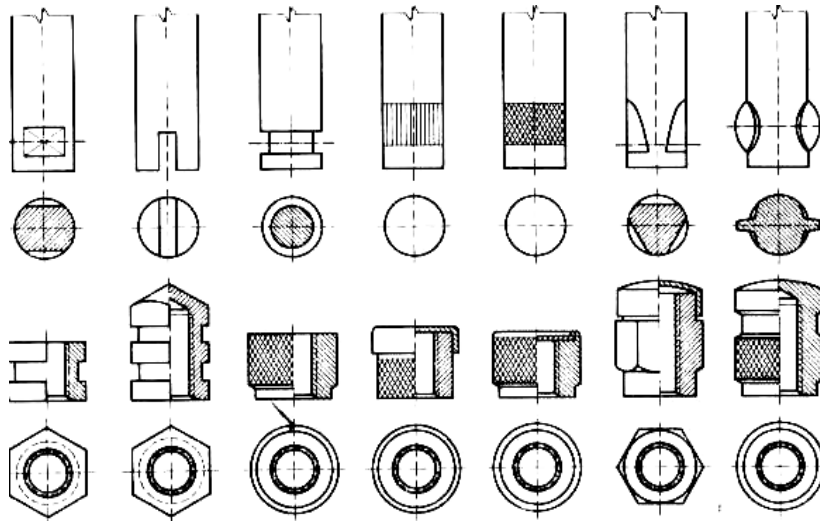
En la **tabla 1.1** se indican las profundidades máximas de moldeo en función de los diámetros para orificios ciegos y pasantes.

**Tabla 1.1** Profundidades máximas de moldeo en función de diámetros de orificios

Diámetro mínimo (mm)	Profundidad máxima (mm)	
	Orificio ciego	Orificio pasante
1.59	1.59	3.18
1.98	2.38	4.76
2.38	3.18	6.35
2.78	3.97	7.94
3.18	4.76	9.53
3.97	6.35	12.70
4.76	7.94	15.88
5.56	9.53	19.05
6.35	11.11	22.23
7.94	14.29	28.58
9.53	17.46	34.93
11.11	20.64	41.28
12.70	23.81	47.63

## Implantaciones metálicas

El empleo de implantaciones metálicas u otros materiales tales como vidrio, fibra vulcanizada, etc., está ampliamente difundido para la obtención de anclajes, rodamientos, ejes, secciones roscadas, terminales, articulaciones entre otras. En la **figura 1.20** se representa la configuración de algunos tipos de piezas perfiladas para implantación.



**Figura 1.20** Piezas perfiladas para implantación

### **Resaltos y refuerzos**

Los resaltos deben eliminarse siempre que sea posible y, en todo caso, hacerlos factibles para el moldeo.

### **Puntos de inyección**

La elección del punto de inyección es fundamental para el diseño, ya que de su posición dependerá el recorrido y la distribución del material dentro del molde.

### **Reglas generales para la disposición de los puntos de inyección**

- a) El punto de inyección debe situarse en las cercanías de la superficie de la pieza, que deba tener mejor aspecto. De esta forma se evitan las señales de soldadura o de flujo.
- b) La colocación se realiza en zonas que permitan un flujo fácil (plano de gran superficie, ranura, etc.) evitando los obstáculos formados por las partes en relieve del molde (vástagos, machos).
- c) Estudiar la zona más adecuada para que permita la salida del aire atrapado en la cavidad.

- d) El punto de inyección se colocará de forma que el material avance según un frente continuo, sin que sea dividido por los obstáculos de la cavidad.
- e) En piezas con espesores diferentes se situará en una zona gruesa, que podrá disminuir el tiempo para compensar la contracción.

### **1.4.2 Sistema de alimentación**

El sistema de alimentación o llenado tiene como función la de recibir el material de moldeo fundido que procede del cilindro de plastificación de la máquina, y conducirlo hasta la cavidad del molde.

Este sistema consta fundamentalmente de las siguientes partes: Bebedero, canales de alimentación y distribución, entradas y cavidad de moldeo.

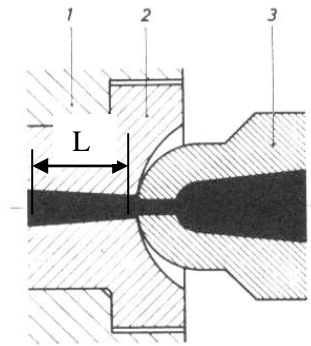
#### **1.4.2.1 Bebedero, mazarote y pozo frío**

##### **Forma y dimensiones del bebedero**

El bebedero de inyección es un orificio troncocónico que generalmente, está realizado en la placa fija del molde y que permite el paso del flujo del material procedente de la boquilla de la máquina de inyección hacia los canales y cavidades del molde, al cerrar la máquina.

El orificio del bebedero debe estar pulido, realizándose esta operación en el sentido del eje para evitar rugosidades en el perfil interior.

El tamaño del bebedero es de forma troncocónica, quedando el diámetro mayor hacia el lado de la cavidad del molde (**figura 1.21**)

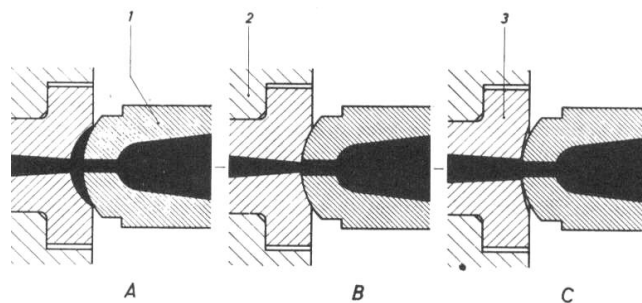


**Figura 1.21** (1) cuerpo delantero de fijación del molde (2) bebedero, (3) boquilla convexa

El diámetro del orificio menor del bebedero puede oscilar entre 3 mm a 10 mm, dependiendo del peso, tamaño de la sección transversal de la pieza.

Normalmente la superficie del manguito del bebedero suele tener forma de sector circular, ajustándose a la superficie esférica de la tobera (**figura 1.22**). En general el radio de la cavidad del bebedero  $R_h \geq R_t + 1$  siendo  $R_t$  el radio de la tobera y  $R_h$  radio de holgura del bebedero y sus dimensiones en milímetros.

La longitud del bebedero ha de ser tan corta como sea posible, pero tiene que llegar a la línea de partición del molde. En la mayor parte de los casos, con una relación longitud / diámetro (L/D) entre 5 y 9 se consiguen buenos procesos de inyección.



**Figura 1.22** (A) incorrecto, (B) correcto, (C) incorrecto. (1) Boquilla convexa, (2) Cuerpo delantero de fijación del molde, (3) bebedero

El grado de conicidad es variable, se debe tener en cuenta que cuanto mayor sea, más fácil será sacar el material que ha solidificado dentro del bebedero. Unos 3 a 5 grados permiten una buena inyección del material y extracción del mazarote.

Los tamaños óptimos de orificio para el moldeo de poliestireno se exponen en la siguiente **tabla 1.2**

**Tabla 1.2** Diámetros óptimos de bebederos para moldeo de poliestireno.

<b>Peso de la pieza inyectada (g)</b>	<b>Diámetro mínimo del bebedero (mm)</b>
10	3.5
10-20	4.5
20-40	5.5
40-150	6.5
150-300	7.5

Para otros materiales, estos valores deben multiplicarse por los siguientes factores de la **tabla 1.3**

**Tabla 1.3** Factores de corrección para diámetro mínimo de bebedero, según el material.

<b>Material</b>	<b>Factor de corrección</b>
Otros grados de poliestireno	1.2 a 1.5
Polimetacrilato de metilo	2.0
PVC plastificado	0.8
Poliamidas	0.8
Acetato de celulosa	1.0
Polietileno	0.5

#### 1.4.2.2 Mazarote

Se llama así al material solidificado dentro del bebedero. La ruptura y extracción del mismo debe realizarse automáticamente en el momento de apertura del molde.

### 1.4.2.3 Canales de alimentación

Los canales de alimentación o de distribución constituyen la parte del sistema de alimentación que une el bebedero con las cavidades del molde

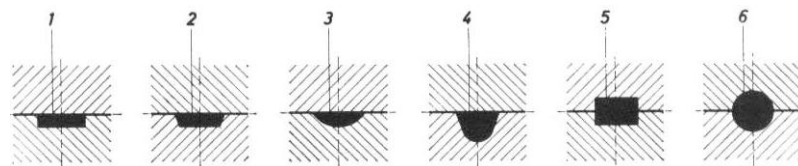
Los canales de alimentación deben tener una sección transversal que permita al material plástico circular libremente, y una longitud lo más corta posible para disminuir la resistencia al flujo, las caídas de presión y las pérdidas de calor. La resistencia al flujo a lo largo de los canales se puede controlar por el tamaño de los mismos.

El diseño de los canales de alimentación exige un riguroso cuidado en los tres puntos siguientes:

- Forma del canal
- Tamaño de la sección de distribución
- Disposición de los canales

#### Forma y sección

Para elegir la forma del canal el único requisito que debe cumplirse para elegir la forma del mismo es que dicha sección sea lo mayor posible respecto a su propio perímetro. Generalmente se utilizan cuatro tipos de sección: circular, semicircular, trapezoidal, trapezoidal modificado y cuadrada (**figura 1.23**)



**Figura 1.23** (1) Canal rectangular, (2) canal trapezoidal, (3) canal semicircular, (4) trapezoidal modificado, (5) cuadrado, (6) circular

### **Cálculo de los canales**

Para establecer el tamaño de la sección transversal del canal, hay que considerar los siguientes factores:

- Sección de la pared y volumen de la pieza que se va a moldear
- Distancia entre la cavidad y el canal principal o el bebedero
- Enfriamiento del material en los canales
- Elección del tamaño del canal dentro de las medidas normalizadas
- Material plástico que se va a utilizar.

a) La sección de la pared y el volumen de la pieza determinan la cantidad de material necesario para llenar la cavidad y el canal. El tamaño de la sección debe ser tal que permita el paso del material fundido necesario para llenar la cavidad, antes de que se solidifique en los canales.

b) Cuanto mayor es la distancia que ha de recorrer el material tanto mayor es la resistencia al flujo, y por ello, la distancia entre la cavidad y el bebedero tiene una influencia directa sobre el tamaño que debe tener la sección de los canales de alimentación

c) A mayor sección del canal, más cantidad de material contendrá y mayor el tiempo que tardará en enfriarse para poder desmoldar la pieza

d) Es obvio que una vez calculado el tamaño adecuado de los canales, debemos aproximar este a los valores normalizados 3, 3.5, 4, 4.5, 6, 8, 10, 11, 13 mm de diámetro con el objetivo de facilitar la realización práctica del molde.

e) En la **tabla 1.4** se indican los valores más convenientes de los diámetros de canales para distintos materiales sin carga, referidos a canales convencionales y no a canales calientes o aislados. Estos valores corresponden a canales circulares, por lo que para cualquier otro tipo deberá tener una sección superior a la indicada. En piezas de poco espesor, y con canales cortos, se puede trabajar con los valores mínimos indicados en la **tabla 1.1**.

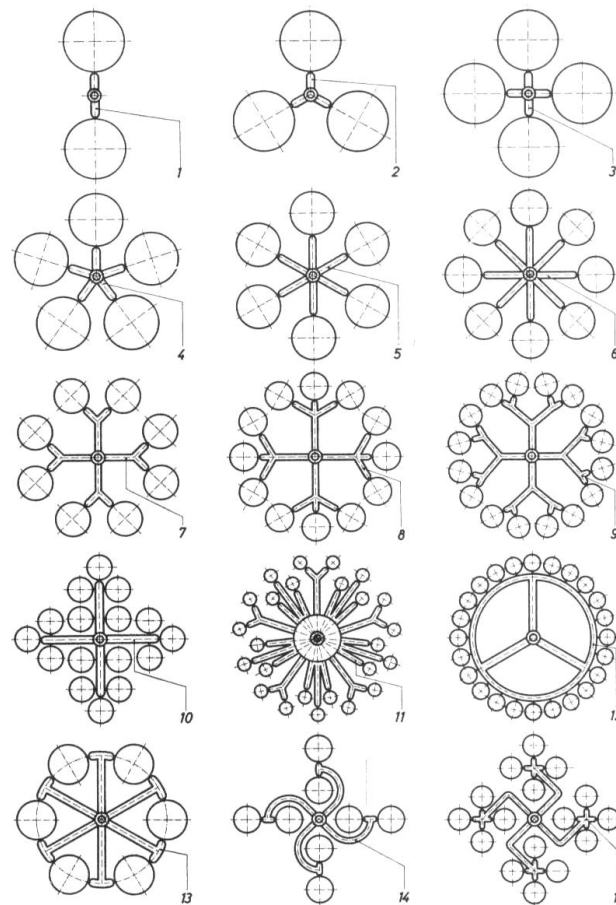
**Tabla 1.4.** Diámetros convenientes para canales según el material de moldeo.

ABS	4.76 - 9.53
SAN	4.76 - 9.53
Acetal	3.18 - 9.53
Acetales	4.76 - 11.11
Acrílicos	7.94 - 9.53
Acrílicos de impacto	7.94 - 12.70
Butiratos	4.76 - 9.53
Nylon	1.59 - 9.53
Poli carbonatos	4.76 - 9.53
Polietileno	1.59 - 9.53
Polipropileno	4.76 - 9.53
Poli oxido de fenileno	6.35 - 9.53
Polisulfones	6.35 - 9.53
Poliestireno	3.18 - 9.53
PVC plastificado	3.18 - 9.53

### Disposición de los canales

La disposición de los canales depende de: número de cavidades, forma de las piezas, tipo de molde (dos platos, platos múltiples), tipo de entrada a la cavidad, la longitud de los canales para que las pérdidas de presión sean mínimas, llenada uniforme, sin interrupción y a la vez en todas las cavidades.

En la **figura 1.24** se presentan algunas de las formas de distribución de los canales.



**Figura 1.24** Canales de distribución en moldes múltiples (1 al 6) canal de distribución (7 al 11) con hilera de distribución, (12) anular, (13) doble corte, (14,15) para moldes con núcleos roscados.

#### 1.4.2.4 Cavidades

La cavidad del molde es la que proporciona a un plástico fundido la forma deseada. Unas veces las cavidades van formadas de un sólo bloque porta cavidades, otras en varios bloques que posteriormente se fijan a una placa de sujeción.

#### Determinación del número de cavidades

Para determinar el número máximo de cavidades en un molde de inyección es necesario, en primer lugar, conocer las siguientes características de la máquina de inyección:

1. Capacidad de inyección
2. Fuerza y diámetro del pistón de inyección
3. Fuerza de cierre
4. Superficie máxima de moldeo
5. Longitud de apertura
6. Dimensiones de los placas porta moldes o separación entre columnas

#### **1.4.2.5 Respiraderos**

Antes de comenzar el proceso de inyección y una vez cerrado el molde, las cavidades del mismo están llenas de aire. Al inyectar el material, parte del aire puede quedar atrapado en alguna zona de la cavidad, impidiendo que el material llene la totalidad de la misma y obteniendo piezas con zonas de poca solidez, mala apariencia y de difícil extracción. Por lo anterior el molde debe estar provisto de respiraderos.

#### **1.4.3 Sistemas extractores o expulsores**

Una vez inyectada y enfriada la pieza hay que extraerla del molde. Lo ideal sería que al alcanzarse la temperatura de extracción la pieza cayera por gravedad, separándose de la cavidad o del núcleo, pero debido a las contracciones que sufre el material al enfriarse, a la conicidad insuficiente de la cavidad, a resaltes, las piezas tienden a quedarse adheridas a las cavidades, siendo necesario disponer en el molde de un sistema de extracción para efectuar el desmolde de la pieza.

Generalmente los extractores se montan en la parte móvil del molde a fin de aprovechar la carrera de apertura de la máquina de inyección.

### **1.4.3.1 Colocación de los expulsores**

Criterios para la colocación de expulsores

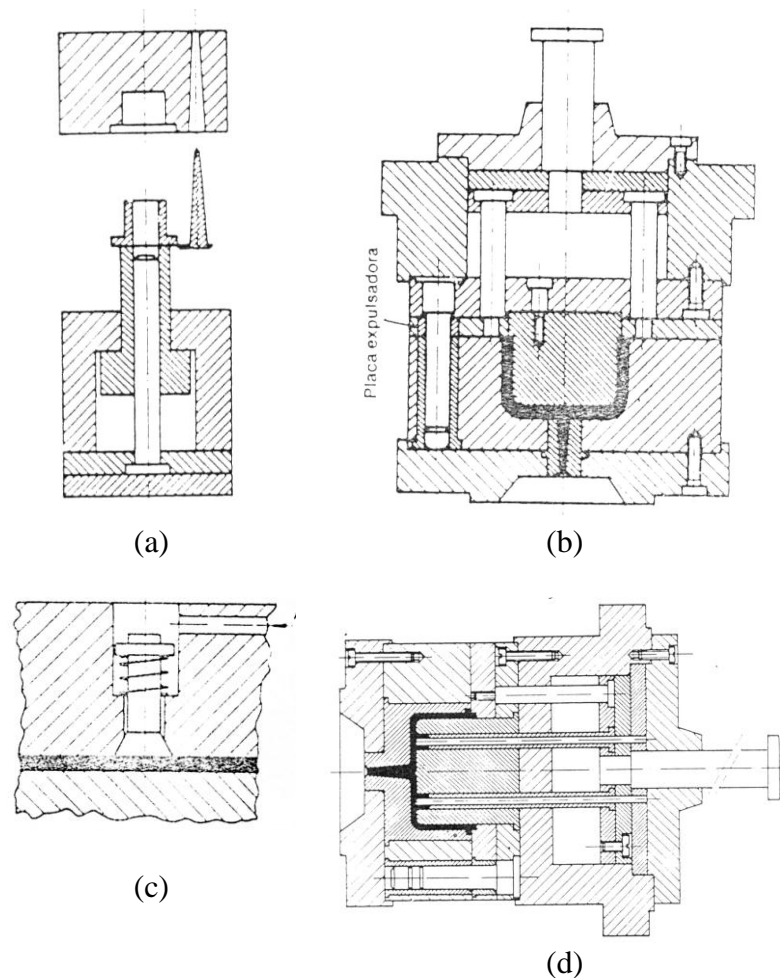
1. Cerca de los puntos que opongan una gran resistencia a la extracción, ya que los materiales termoplásticos son bastante deformables y de resistencia mecánica limitada.
2. En zonas muy rígidas de las piezas, a fin de evitar deformaciones. Por ello se suelen colocar los extractores o expulsores frente a las paredes de mayor espesor o zonas con refuerzos.
3. En zonas donde no importe el acabado superficial o se puedan disimularse la marca de los expulsores.

### **1.4.3.2 Cualidades de un sistema de expulsión**

1. No debe ser brusco
2. Ha de ser de funcionamiento seguro, por lo que los dispositivos de resorte no son recomendados
3. Resistencia al desgaste
4. Sencillos y económicos
5. Tener un buen rendimiento
6. Dejar el mínimo de marcas en las piezas moldeadas

### **1.4.3.3 Tipos de expulsores**

1. Manguitos extractores, **figura 1.25 (a)**
2. Placas expulsoras **figura 1.25 (b)**
3. Sistemas combinados **figura 1.25 (d)**
4. Sistemas neumáticos **figura 1.25(c)**



**Figura 1.25** (a) Manguitos expulsores, (b) placas expulsoras, (c) neumático, (d) combinado

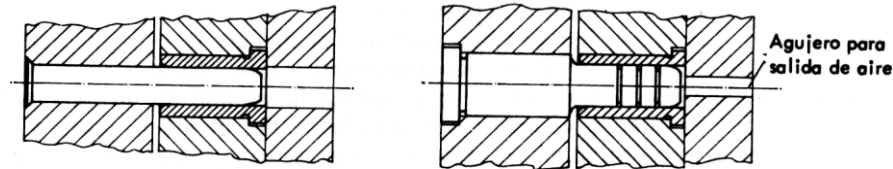
#### 1.4.4 Sistema de centrado del molde

Para conseguir la máxima precisión y evitar el deterioro de los moldes, estos necesitan de unos elementos propios de centrado y guía interiores

En moldes pequeños este problema se resuelve simplemente con unas espigas-guía que sobresalen de una de las mitades cuando están abiertos, y que, al efectuar el cierre se introducen en unos casquillos y manguitos de acero templado, situados en la otra mitad.

### Espigas y manguitos guías (figura 1.26)

Se emplean para asegurar la alineación y centrado de las dos mitades del molde. Se utilizan en todos los moldes excepto, en los manuales sencillos y más baratos.



**Figura 1.26** Sistema de guías de alineación y centrado del molde

### 1.4.5 Materiales para la fabricación de moldes

Por lo general, los moldes para el moldeo de los materiales plásticos y elastómeros son fabricados empleando aleaciones de aceros especiales tratados térmicamente. Como los costos de fabricación de los moldes resultan siempre fundamentales en los costos de producción, es conveniente seleccionar los aceros más idóneos para las diversas partes de un molde, con el fin de asegurar la eficiencia, duración y precisión para las condiciones previstas de empleo. En las partes sujetas a desgaste (puntos de inyección) se usan insertos de metal duro (carburos de W o de Ti).

Sólo en el caso que se deban moldear partes experimentales, prototipos o pequeñas cantidades de piezas, se podrán utilizar en la construcción de cavidades, materiales suaves, con mejor maquinabilidad que los aceros, como por ejemplo:

- Aleaciones de cobre (latón, bronce)
- Aleaciones de zinc
- Aleaciones de aluminio
- Aleaciones de níquel o Ni-Co (electroformado galvánico)

Los moldes fabricados con estos materiales no pueden otorgar la misma resistencia que los construidos en acero y por lo tanto, deben usarse bajo adecuadas precauciones o para producciones limitadas.

La elección de los materiales para la fabricación de los moldes requiere de una cuidadosa evaluación de varios factores:

- Forma de la pieza a moldear (dimensiones, tolerancias, etc.)
- Calidad del material plástico (resina, refuerzos, etc.)
- Cantidad de piezas a producir
- Método seleccionado para la construcción de la cavidad (máquinas convencionales, electroerosión, electroformado, etc.)

Entre los aceros utilizados para la fabricación de moldes se tienen: aceros para templar (AISI 1040, AISI 4140), aceros para cementar (AISI 1015, AISI 8620), aceros para nitrurar, aceros para herramientas (AISI 02, AISI D3), aceros inoxidable (AISI 420) **anexo 5**.

#### **1.4.6 Equipos para la fabricación de moldes**

Existe una gran variedad de máquinas para trabajar los metales y cada año aparecen nuevos procesos y equipos.

Como es de esperar por razones económicas no se pueden adquirir toda la maquinaria especializada para la fabricación de un molde en particular. Es por esta razón que en muchos casos hay talleres que se especializan en la fabricación de ciertas partes de los moldes.

Existe una infinidad de métodos para la fabricación de moldes pero debido a que el mecanizado por arranque de viruta es el más utilizado en el medio sólo se listarán algunas de las máquinas herramientas empleadas por este método. Sin dejar de mencionar que existen otros

procesos de fabricación de moldes como los son: estampado, troquelado, embutido, electroerosión, colada a presión, sinterización, galvanotecnia y otros.

Las máquinas de maquinado por arranque de viruta utilizadas para la fabricación de moldes son: sierras alternativas, sierras de cinta, máquinas de corte con disco abrasivo, laminadora, cepilladora, tornos, taladradoras, rectificadores, fresadoras y duplicadoras.

## 2. Investigación de campo sobre la utilización de materiales termoplásticos en la industria nacional.

### 2.1 Encuesta

La metodología utilizada fue la elaboración de un cuestionario para recolectar información relativa a: materia prima, características, forma de adquirirla, aditivos utilizados, procesos de moldeo, productos fabricados, controles de calidad, destino de los productos. Ver encuesta en **anexo 12**

A continuación se determinó el tamaño del universo a investigar para tomar las muestras, estableciéndose como universo de investigación las empresas agremiadas a la Asociación Salvadoreña de la Industria del Plástico (ASIPLASTIC), la cual posee una cantidad de sesenta agremiados.

La muestra tomada es un subgrupo del universo, debido a que pocas veces se puede medir todo el universo se tomó una muestra probabilística, pues todas las empresas tienen la misma probabilidad de ser encuestadas.

¿Cuál es el tamaño de la muestra?. Es necesario conformar una muestra ( $n$ ) que asegure un error estándar entre 0.03 y 0.1, la formula utilizada para determinar el tamaño de la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{n^1}{1 - \frac{n^1}{N}}$$

$$n^1 = \frac{S^2}{V^2}$$

Donde:

N: Universo

$S^2$ :  $P(1-P) = 0.09$

P: Probabilidad de error (0.9) (establecido de formula)

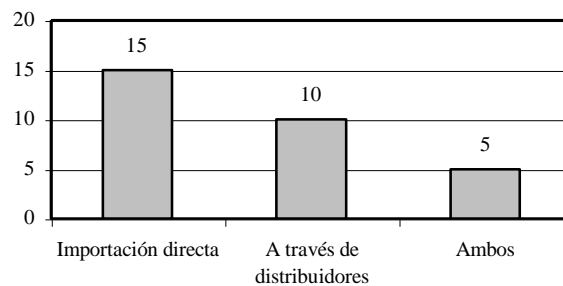
$V^2 = Se^2 = 0.0064$

Se: desviación estándar (0.08) (asumida entre 0.03 y 0.1)

Determinándose una cantidad de 18.23 encuestas se realizaron una cantidad de 20 encuestas con lo que se tiene un error del 7.07 %.

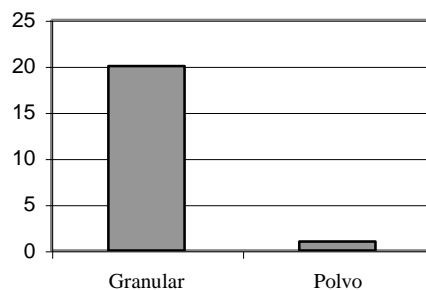
## 2.2 Resultados de encuesta

¿Cómo se adquiere la materia prima?



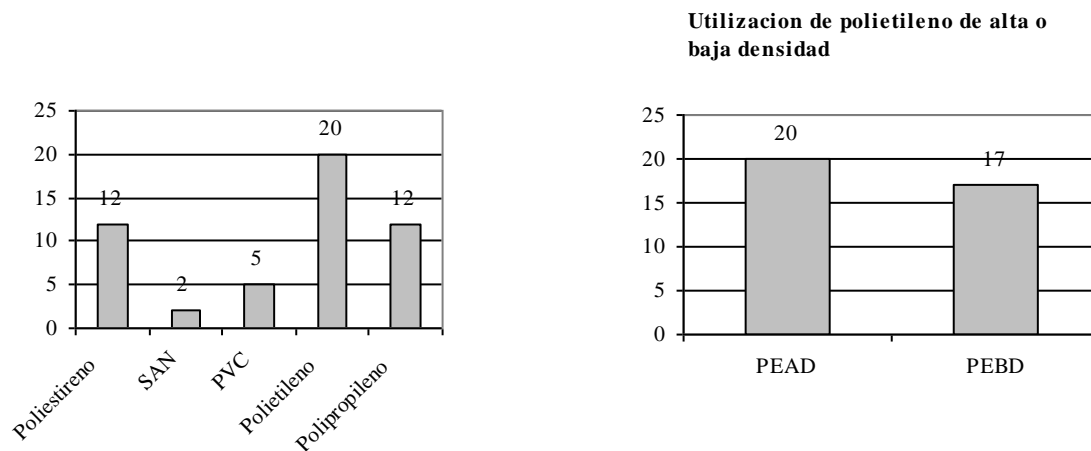
Análisis: Las empresas que se pueden clasificar como grandes y medianas se abastecen principalmente a través de la importación directa y los pequeños utilizan los distribuidores locales.

2. ¿Cuál es la forma en que adquieren la materia prima?



Análisis: Se determina que la forma en que se utiliza la materia prima es granular.

¿Cuáles son los materiales termoplásticos que utilizan?

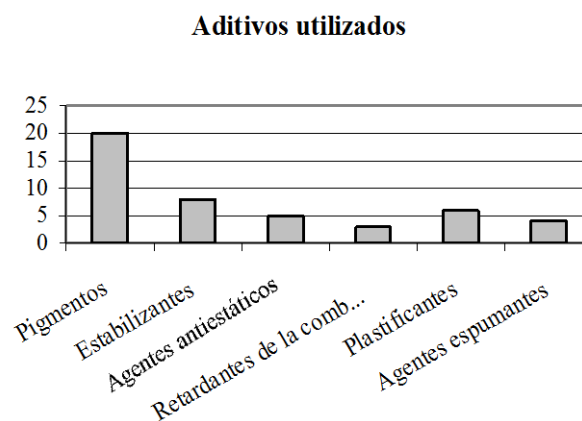


Análisis: Los termoplásticos mas utilizados en la industria en orden de uso son: polietileno, polipropileno, poliestireno y PVC.

Determinándose que el de mayor uso es el polietileno y que la proporción de uso entre polietileno de alta y el de baja densidad no es muy significativa.

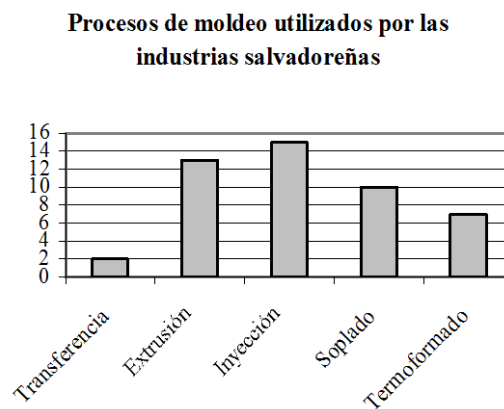
Por lo que se determina que las pruebas de la máquina se deben realizar utilizando polietileno de alta o baja densidad, polipropileno o poliestireno; por ser estos los de mayor uso en la industria nacional.

¿De los siguientes aditivos cuales utilizan?



Análisis: Los aditivos más utilizados en termoplásticos son los pigmentos con los cuales se les da gran gama de colores a los productos existentes en el mercado. Es de observar el uso de los aditivos estabilizantes (8) y plastificantes (6), comparándolos con las empresas que utilizan PVC (pregunta 3) que son 5 de las 20 encuestadas, estos datos son próximos debido a que el PVC requiere el uso de estos para evitar el daño por rayos ultravioleta y plastificantes para darle flexibilidad debido a que a la temperatura ambiente este se comporta de forma vítrea.

¿Qué tipos de procesos de moldeo de termoplásticos utilizan?



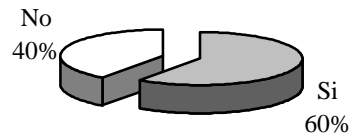
Análisis: Los procesos de moldeo más utilizados en la industria son el proceso de inyección, extrusión y soplado. Siendo los primeros dos los de mayor uso.

Como resultado a la pregunta ¿qué productos elaboran? Se puede realizar la siguiente descripción.

Tuberías, polductos, pajillas, utensilios de cocina (hieleras, depósitos para comida, platos, vasos, pachas), juguetes, láminas, depósitos de diferentes formas y capacidades

¿Realizan pruebas de control de calidad?

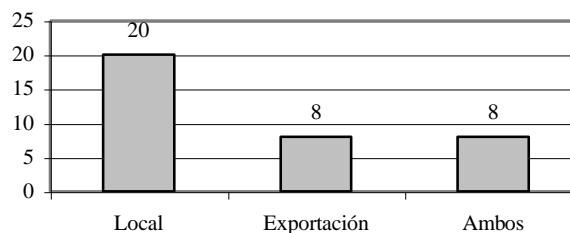
### Empresas que realizan pruebas de control de calidad



Análisis: La mayoría de las empresas realizan control de calidad de sus productos. Entre los controles de calidad que se realizan están: resistencia a la presión (bolsas y empaques plásticos), dimensionales (ancho, largo, espesor), resistencia mecánica, resistencia al impacto, hermetismo, peso y fugas.

Destino del producto final.

### Destino de los productos



Análisis: Todas las empresas (grandes, medianas o pequeñas), destinan toda o parte de su producción al abastecimiento del mercado local, no siendo así la exportación que solo es realizada por las grandes empresas.

**Análisis general:** El proceso de moldeo de termoplásticos más utilizado en El Salvador es el proceso de inyección. Utilizando principalmente en este proceso como materia prima el polietileno, polipropileno y poliestireno.

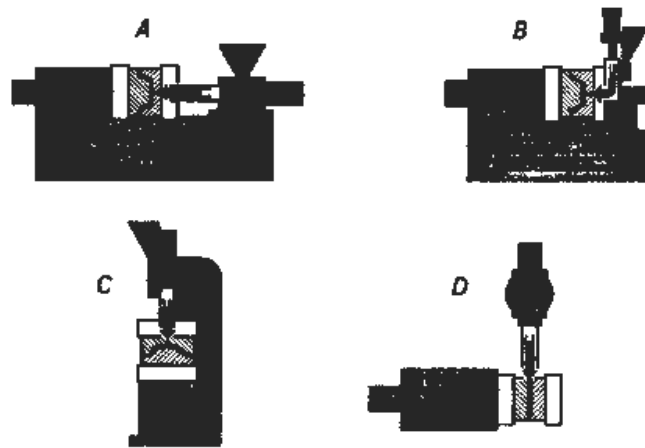
### 3. Diseño de la máquina de inyección

#### 3.1 Configuración de la máquina y el sistema de inyección a utilizar.

##### 3.1.1 Determinación del tipo de configuración de la máquina de inyección

Las máquinas para la elaboración de piezas moldeadas por inyección requieren de dos unidades principales que son: la unidad de cierre y la unidad de inyección. Independientemente de los parámetros particulares de cada máquina (capacidad, potencia, área proyectada, etc.)

Estas unidades se pueden disponer de diferentes formas. Generándose cuatro tipos básicos de máquinas de inyección que se representan en la **figura 3.3**.



**Figura 3.3** (A) cierre e inyección horizontal, (B) cierre horizontal e inyección a 90°, (C) cierre e inyección vertical, (D) cierre horizontal e inyección vertical

De la **figura 3.3.a** se observa que tanto el cierre como la inyección se disponen en un mismo plano horizontal, simplificando la instalación de las unidades, así como la extracción de las piezas producidas se realiza por medio de gravedad.

En la **figura 3.3.b** se observa que la inyección se da en un plano vertical y el cierre en un plano horizontal, teniendo que diseñar una desviación a 90 grados para poder hacer llegar el material plástico de la unidad de inyección a la de cierre, lo que hace más complejo su diseño y construcción.

De la **figura 3.3.c** se observa que tanto el cierre como la inyección se disponen en un mismo plano vertical, simplificando la instalación de las unidades, pero haciendo más complejo el sistema de extracción de piezas ya que no es posible hacer uso de la gravedad para tal fin.

De la **figura 3.3.d** se observa que la inyección se da en un plano vertical y el cierre en un plano horizontal, la inyección se realiza directamente a 90 grados sobre el molde para hacer llegar el material plástico, lo que hace más complejo su diseño.

El esquema propuesto para la fabricación de la máquina de inyección es el de la **figura 3.3.a** por ser la más simple y eficiente de las cuatro básicas, por las ventajas ya mencionadas, sin descartar que los otros sistemas posean sus aplicaciones particulares, motivo por el cual son utilizados.

### **3.1.2 Elección del sistema de inyección**

Los sistemas básicos son: inyección tipo pistón (**figura 1.10**) e inyección con tornillo sin fin (**figura 1.11**) los cuales fueron descritos en el numeral **1.3.1**, se adoptó el sistema de inyección tipo pistón ya que el tipo tornillo sin fin (más versátil), pero también implica alta tecnología para la fabricación del mismo.

### **3.1.3 Elección del sistema de cierre**

Para la fuerza de cierre se requiere un pistón de 10 a 20 toneladas.

Si se instalara una unidad de cierre por medio de una articulación simple (**figura 1.12**) la cual multiplica la fuerza aplicada de 15 a 20 veces; lo anterior implica que para que la articulación genere una fuerza máxima de 20 toneladas se requeriría un pistón de 1.33 toneladas, pero el pistón de menor capacidad que suministran los fabricantes es de 5 toneladas, con lo que se tendría una fuerza de cierre igual 75 toneladas lo que implica un sobre dimensionamiento del mismo, además sumaría más elementos mecánicos al sistema de cierre que son innecesarios aplicando un cierre directo.

### **3.2 Determinación de los parámetros de inyección**

De acuerdo a la información recolectada, los parámetros que se deben establecer para realizar el diseño de la máquina son:

- Presión de inyección
- Temperaturas de trabajo
- Área del molde de inyección
- Fuerza de cierre del molde

#### **3.2.1 Determinación de la presión de inyección y la temperatura de trabajo.**

Como primera aproximación se elegirá aquellos materiales que posean una presión de inyección de 1000 bar, ya que esta es una presión mayor o igual que la necesaria para la inyección de una gran cantidad de materiales termoplásticos cuando sus dimensiones son relativamente grandes con grandes distancias de recorridos y paredes de poco espesor, presentándose a continuación la **tabla 3.1** donde se presenta la información de: la presión de inyección promedio y la presión mínima requerida de inyección además de la temperatura

máxima que se debe tener en el cilindro de plastificación para así determinar los termoplásticos que preliminarmente reúnan estas condiciones.

**Tabla 3.1** Valores de presión y temperatura de inyección para termoplásticos

Termoplástico	Presión de inyección mínima (bar)	Presión de inyección promedio (bar)	Temperatura (°C)	Comentario
Acetato de celulosa	800	1000	230	Inyectable
Polimetil Metacrilato	1000	1300	220	NO
PEBD	500	750	210	Inyectable
PEAD	800	1000	250	Inyectable
Polipropileno	800	1000	270	Inyectable
Polipropileno con fibra de Asbesto	800	1000	250	Inyectable
ABS - Copolimero	800	1000	240	Inyectable
Poliestireno Impacto	800	1000	220	Inyectable
Acrilo Nitrilo Estireno	800	1000	230	Inyectable
PVC Rígido	1000	1300	200	NO
PVC Flexible	1000	1300	180	NO
Poliacetal (homopolímero)	800	1150	210	NO
Poliacetal con 20% de fibra de vidrio	1000	1300	210	NO
Poliacetal copolimero	800	1150	200	NO
Poliacetal con 25% de fibra de vidrio	1000	1300	200	NO
Poliamida 66 (Nylon 66)	800	1000	280	Inyectable
Poliamida 66 (Nylon 66) con fibra de vidrio (25 %)	1000	1200	280	NO
Poliamida 6 (Nylon 6)	800	1000	250	Inyectable
Poliamida 6 (Nylon 6) con 25% fibra de vidrio	1000	1200	250	NO
Poliamida 610	800	1000	250	Inyectable
Policarbonato	1000	1100	320	NO
Policarbonato (30% fv)	1000	1200	320	NO
Polibutileno -Tereftalato	1000	1200	260	NO
Polioxido de Fenileno Modificado	1000	1250	290	NO

De la **tabla 3.1** se obtiene la **tabla 3.2** de termoplásticos inyectables a la presión de inyección promedio de 1000 bar, como una primera aproximación de los materiales a inyectar.

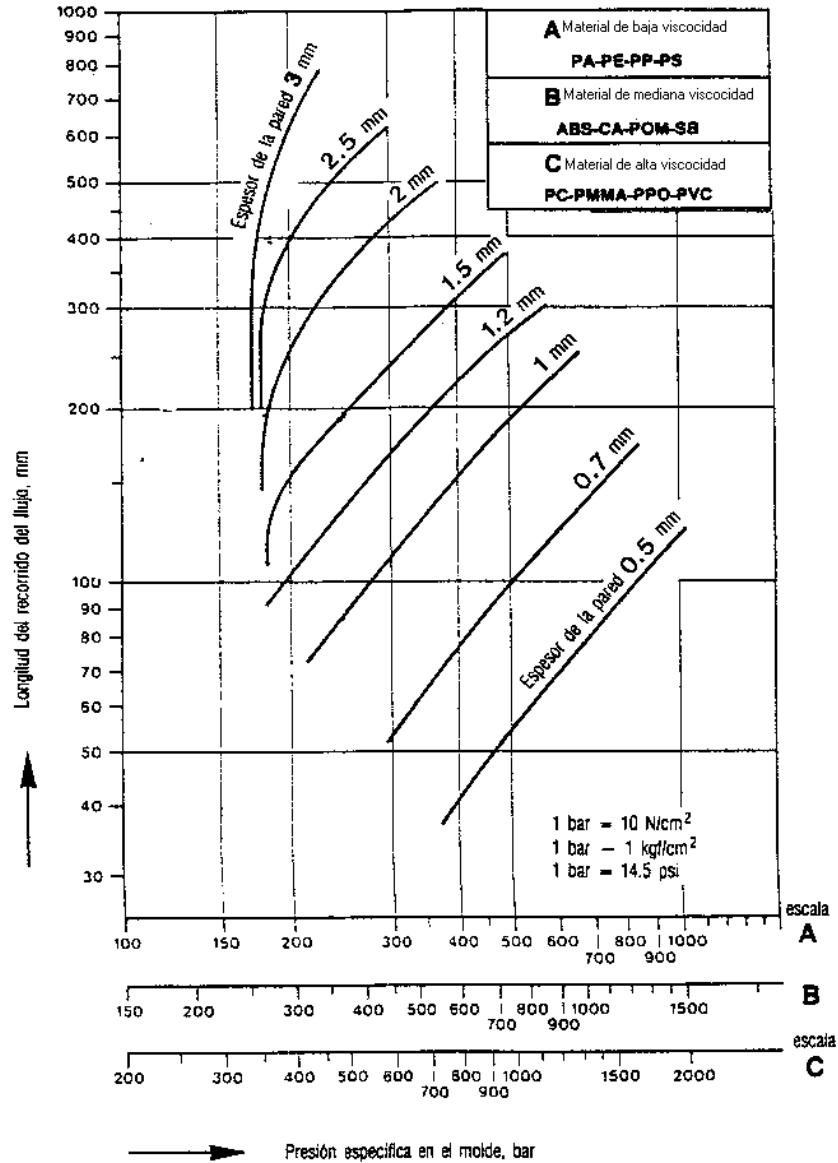
**Tabla 3.2** Materiales que cumplen presión de inyección promedio igual a 1000 bar

Termoplástico	Presión de inyección mínima (bar)	Presión de inyección promedio (bar)	Temperatura (°C)
Acetato de celulosa	800	1000	230
PEBD	500	750	210
PEAD	800	1000	250

Polipropileno	800	1000	270
Polipropileno con fibra de asbesto	800	1000	250
ABS - Copolimero	800	1000	240
Poliestireno Impacto	800	1000	220
Acrilo Nitrilo Estireno	800	1000	230
Poliamida 66 (Nylon 66)	800	1000	280
Poliamida 6 (Nylon 6)	800	1000	250
Poliamida 610	800	1000	250

La **figura 3.1**, clasifica los termoplásticos en: de alta, media y baja viscosidad.

Encontrándose entre los materiales de baja viscosidad los siguientes: Poliamidas, polietileno, polipropileno, poliestireno. Que son los materiales de mayor uso en la industria salvadoreña. Por lo que se seleccionan estos como los materiales de trabajo para los cuales se diseño la máquina y además estos requieren menores presiones de inyección.



**Figura 3.1** Diagrama para el cálculo aproximado de la presión específica en la cavidad del molde en función del espesor de la pieza, la longitud de la trayectoria de flujo y de la viscosidad del material en estado fundido

Con los materiales de trabajo seleccionados se calcula la presión de inyección para lo cual es necesario establecer:

- Longitud máxima de recorrido del material
- Espesor de pared

Se dimensionará el molde para condiciones críticas es decir: cuando se tiene la mayor distancia de recorrido del material y el menor espesor pared de la pieza. Condiciones en las cuales se necesita la mayor presión de inyección.

- Longitud de recorrido máxima del material: 150 mm
- Espesor de pared: 1.2 mm

Con estos datos se entra a la **figura 3.1** de donde se obtiene la presión de inyección necesaria la cual tiene un valor de: 275 bar (4000 Psi).

De lo anterior se establece que la presión de inyección de la máquina queda comprendida entre las presiones menores o iguales a 275 bar.

### **3.2.2 Determinación del área máxima del molde de inyección**

El área del molde se define atendiendo a que la máquina tendrá uso didáctico y con capacidad de inyectar piezas relativamente pequeñas, de manera que la fuerza de cierre del molde no sea muy grande; por lo anterior se establece una área máxima de inyección de 40 cm<sup>2</sup>.

### **3.2.3 Determinación de la fuerza de cierre máxima.**

Con la presión de inyección máxima y el área del molde proyecta se puede utilizar la ecuación a la que se debe aplicar un factor de seguridad de 1.15

$$P_i = F/AM$$

Donde:

- Pi: presión de trabajo máxima
- AM: área del molde de inyección
- F: fuerza de cierre requerida

Del cálculo anterior se determina una fuerza de cierre de 12.9 toneladas, por lo que se selecciona una cilindro de doble efecto que posea una capacidad de 20 toneladas.

### 3.2.4 Determinación del área mínima del molde

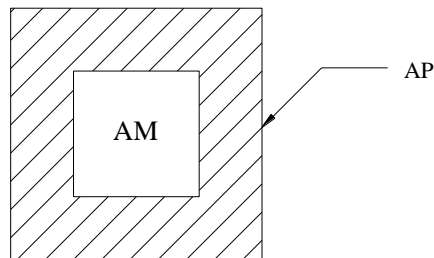
El área del molde se obtendrá de la siguiente ecuación

$$AT = AP + AM$$

El área del molde es igual al área proyectada por la pieza a moldear y los canales de alimentación que esta posea y el área sometida a presión es el área del molde que soporta la compresión al cerrarse el molde, la sumatoria de estas dos áreas nos proporciona el área total del dado del molde

Donde:

AT: Área total del molde de inyección  
 AP: Área de la placa sometida a esfuerzo de compresión  
 AM: Área máxima de moldeo



**Figura 3.2** Esquema del área de un molde

Se realizará un análisis para vida infinita

Esfuerzo a la tensión:

$$\sigma = \text{Fuerza} / \text{Área}$$

$$\text{Fuerza} = 196.0 \text{ K}^* \text{N}$$

$$\sigma = 196.0 \text{ KN} / \text{AP}$$

Para un análisis para vida infinita se utiliza la ecuación siguiente:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Donde:

- $\sigma_a$ : Esfuerzo alternante (Mpa)
- $\sigma_m$ : Esfuerzo medio (Mpa)
- $S_e$ : Resistencia a la fatiga (Mpa)
- $S_{ut}$ : Esfuerzo ultimo a la tensión (Mpa)
- n: factor de seguridad

Se tomara un valor para el factor de seguridad de  $n = 4$  como un rango intermedio en el diseño de elementos sometidos a fatiga.

Como el comportamiento de la carga es de 0 al valor de la carga máxima **figura (a) de anexo 3**

$$\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\text{máx.}}/2 = 98,000/A$$

$S_{ut} = 448 \text{ MPa}$  (AISI 1020, **anexo 5**)

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e / k_f$$

Donde:

- $S_e$  : resistencia a la fatiga (Mpa)
- $S'_e$  : resistencia a la fatiga de muestra viga rotatoria
- $k_a$  : factor de superficie
- $k_b$  : factor tamaño
- $k_c$  : factor de confiabilidad
- $k_d$  : factor de temperatura (1 para temperaturas menores de 450 °C)
- $k_e$  : factor de modificación por concentración de esfuerzos
- $k_f$  : factor de efectos diversos

Tablas y figuras para la determinación de todos los factores de fatiga ver **anexo 4**

---

\* K = 10E3

$$S'_e = 224 \text{ MPa}$$

$$k_a = 0.82 \text{ (} S_{ut} = 448 \text{ MPa, maquinado y laminado)}$$

$$k_b = 0.7 \text{ para pieza de diámetros mayores a 50 mm}$$

$$k_c = 0.9 \text{ (carga axial en el eje de la pieza)}$$

$$S_e = (224 \text{ MPa})(0.82)(0.7)(0.9) = 115.7 \text{ MPa}$$

Despejando en la ecuación de esfuerzos a la fatiga, se determina que el área total del molde  $91.33 \text{ cm}^2$

Resultando un cuadrado de  $9.55 \text{ cm} \times 9.55 \text{ cm}$ . Se utilizará un cuadrado de  $10 \text{ cm}$  por lado

Con las dimensiones de área del molde calculadas se verifica que la presión de este sea mayor que  $35 \text{ Mpa}$  que se tendrán de presión de inyección por cavidad.

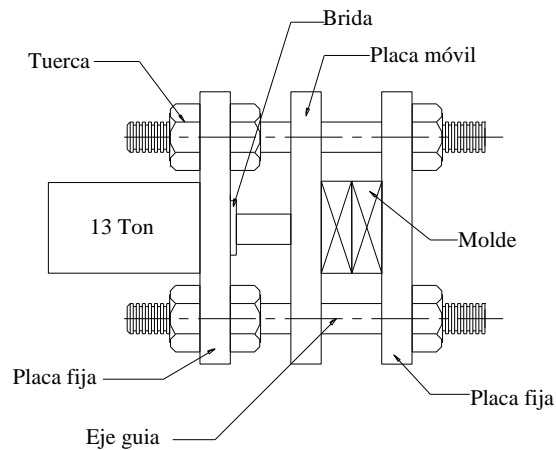
$$P = F/A = 267.3 \text{ KN} / (4.19 \text{ E-3 m}^2) = 63.8 \text{ MPa}$$

Se comprueba que se mantiene la presión de cierre entre las dos caras del molde.

### 3.3 Diseño de los elementos mecánicos de la máquina

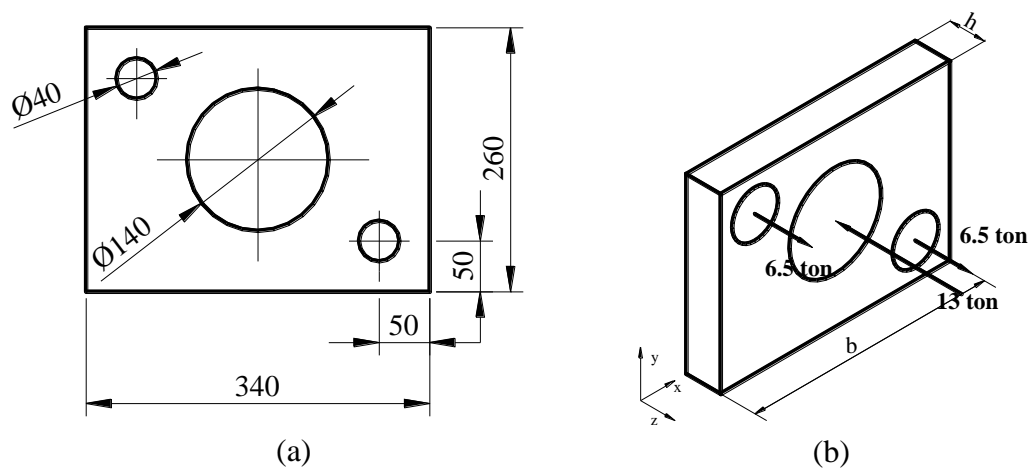
#### 3.3.1 Diseño de las placas fijas y la placa móvil

Para el diseño de las placas se parte del espacio necesario para satisfacer las condiciones de área proyectada, espacio para manipulación y fijación del molde como los más importantes. En la construcción de la máquina se utilizaran 4 placas **figura 3.4** (tres placas fijas y una placa móvil) De las placas resulta más crítica la placa fija que sujetara el pistón de 30 toneladas, por lo que el análisis se realizará para esta placa y por criterio de uniformidad se usara el mismo espesor para las otras placas.



**Figura 3.4** Vista lateral sistema de cierre de la máquina de inyección

Se realizará el análisis, para el criterio de vida infinita, para determinar el espesor de la placa conociendo las dimensiones frontales de la placa (**figura 3.5**) y el material a utilizar para su fabricación.



**Figura 3.5** (a) Dimensiones frontales de las placas de fijación (b) Fuerzas que actúan sobre las placas

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Analizando para en el plano xz, **figura 3.5.b**

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e / k_f = (0.89)(0.80)(0.86)(275\text{MPa}) = 170.5 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 0.45 S_{ut} \text{ (AISI 1045, } S_{ut} = 627 \text{ MPa)}$$

$$S'_e = 275 \text{ MPa}$$

$$k_a = 0.89 \text{ (Esmerilado y rectificado, } S_{ut} = 627 \text{ MPa, } \mathbf{anexo 4})$$

$$k_b = 0.80 \text{ (} d_e = 54 \text{ mm } \mathbf{anexo 4})$$

$$k_c = 0.86 \text{ (} K_t = 1.2, q = 0.84 \mathbf{anexo 4})$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\max}/2 = MC/I = 47.52 \text{ K/h}^2$$

$$M_{\max} = Fl/8 = 2.58 \text{ KN.m}$$

$$C = 0.5 \text{ h (m)}$$

$$I = 1/12 bh^3 = 0.0192h^3 \text{ (m}^4\text{)}$$

Donde:

b: base de la placa (**figura 3.5.a**)

h: espesor de la placa

Realizando el mismo procedimiento en el plano zy

$$\sigma_a = \sigma_m = 47.4 \text{ K/h}^2$$

Calculando el esfuerzo resultante

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2} = \frac{67.03K}{h^2}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación para análisis de vida infinita tenemos:

$$\frac{500.0\mu}{h^2} = \frac{1}{n}$$

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos:

<b>h(mm)</b>	<b>n</b>
19.00	0.72
22.00	1.00
25.00	1.25
32.00	2.05

Por lo tanto de lo anterior se concluye que el ancho mínimo de diseño de la placa de cierre del molde para vida infinita es de 22 mm.

La placa que sostendrá al pistón de inyección solo estará sometida a una fuerza de 10 toneladas, siguiendo el mismo procedimiento de cálculo que las placas de cierre, obtenemos el siguiente cuadro:

<b>h(mm)</b>	<b>n</b>
19.00	1.01
25.00	1.71
32.00	2.80

Por lo tanto de lo anterior se concluye que el ancho mínimo de diseño de la placa de inyección para vida infinita es de 19 mm.

Nota:

- Las placas adquiridas en el mercado para el sistema de cierre comparadas con las de diseño poseen las siguientes medidas de h (mm):

<b>Placa</b>	<b>h(mm) Diseño</b>	<b>h(mm) Real</b>
Fija del cilindro de 20 toneladas	25.00	40.00
Móvil	25.00	40.80
Fija del cilindro de 10 toneladas	22.00	22.35

Por lo que se observa que las placas cumplen con los requerimientos de diseño. Las placas adquiridas en el mercado para el sostener el pistón de cierre y de inyección, también poseen en su parte inferior una placa que sirve para sostenerlas en la bancada, reforzadas por cuatro escuadras de plancha para darle estabilidad.

### **Análisis de la brida de fijación del cilindro de cierre del molde**

En la **figura 3.4**, se presenta la ubicación de la brida, esta brida esta sujeta por medio de 8 tornillos allen de 3/8" grado SAE 2, dichos pernos deben ser capaces de soportar la fuerza de

separación de 13 toneladas (28,600 libras). Se considerará que los tornillos pueden ser reutilizados cuando la unión se desarme.

Para calcular el factor de seguridad, se realizará el siguiente procedimiento.

Cálculo de la rigidez del perno y el material de la junta

$$k_b = \frac{\pi d^2 E}{4L} = 2.65 \text{Mlb/pul}$$

Donde:

- $k_b$ : rigidez del tornillo
- $d$ : diámetro del tornillo (3/8 “)
- $E$ : Módulo de elasticidad (30 Mpsi)
- $L$ : Longitud de agarre efectiva del tornillo (1 ¼ “)

Cálculo de la rigidez del material

$$k_m = \frac{0.577\pi E d}{2 \ln \left[ 5 \left( \frac{0.577L + 0.5d}{0.577L + 2.5d} \right) \right]}$$

Donde:

- $k_m$ : rigidez del material
- $d$ : diámetro del tornillo (3/8 “)
- $E$ : Modulo de elasticidad (30 Mpsi)
- $L$ : Longitud de agarre efectiva del tornillo (1 ¼ “)

Resultado un valor de  $k_m$  igual a  $10.1 \times 10^6$ /lb.in

Cálculo de la relación C

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = 0.207$$

Donde:

- $k_m$ : rigidez del material
- $k_b$ : rigidez del tornillo

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{C(F/N)} = 1.44$$

Donde:

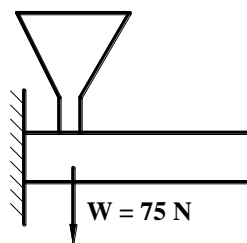
- n: factor de seguridad
- Sp: Carga de prueba (55 Ksi)
- At: Área de esfuerzo a la tensión (0.0775 in<sup>2</sup>)
- Fi: Fuerza inicial (3.2 Ksi)
- C: Relación de rigidez (0.207)
- F: Fuerza que soportara la unión (28.6 K l b)
- N: Número de pernos (8)

### 3.3.2 Diseño de la placa que sostiene el cilindro de plastificación.

Esta sostendrá un conjunto de elementos (cilindro de plastificación, dosificador, materia prima y peso de sí misma) por lo que es necesario definir la robustez para soportar tales cargas, a través de los siguientes análisis:

#### Análisis del cilindro de plastificación

Deflexión del cilindro de plastificación. Las cargas que flexionan el cilindro de plastificación son: el peso del material termoplástico que se comporta como una carga puntual igual a 75 N y el peso del cilindro mismo que se comporta como una carga distribuida igual a 240 N/m, **figura 3.6(a)** en la **3.6(b)** se presenta el diagrama de fuerzas.



$$D_{\text{externo}} = 70 \text{ mm}$$

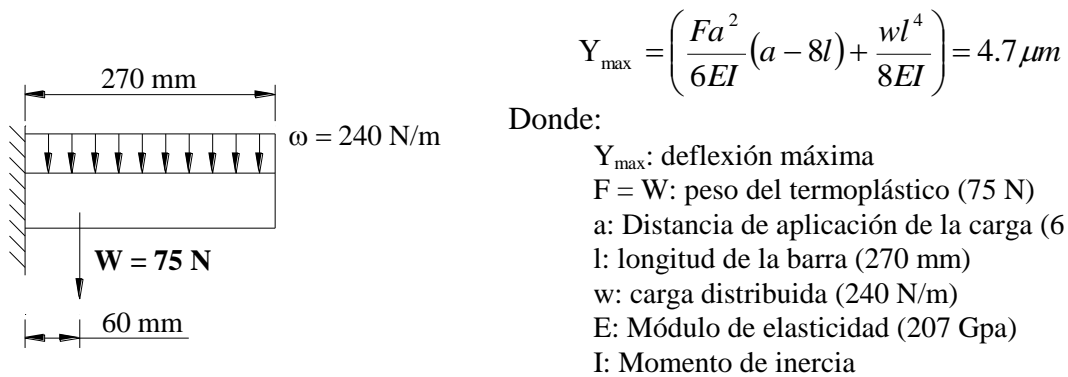
$$D_{\text{interno}} = 30 \text{ mm}$$

$$E = 207 \text{ Gpa}$$

$$A = 0.06 \text{ m}^2$$

**Figura 3.6(a)** Esquema del cilindro de plastificación

Analizando por superposición las deflexiones:

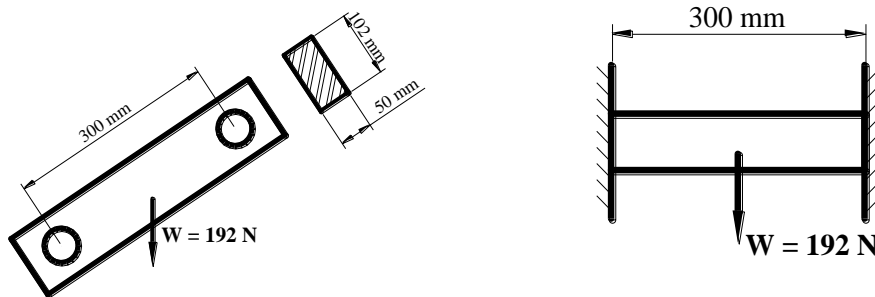


**Figura 3.6 (b)** Diagrama de fuerzas en el cilindro de plastificación

Lo cual es una deflexión aceptable, por ser mucho menor que las tolerancias de diseño.

### Análisis de la placa que sostienen el cilindro de plastificación

Se asumirá que la barra se encuentra empotrada, el peso de la barra es puntual y que la placa se encuentra horizontal, por lo que el peso es igual a la sumatoria del peso de placa mas el peso total del cilindro de plastificación **figura 3.7**



$$Y_{\max} = \frac{-Fl^3}{192EI} = 0.031 \mu\text{m}$$

$Y_{\max}$ : deflexión máxima  
 $F = W$ : peso del termoplástico (192 N)  
 $l$ : longitud de la barra (300 mm)  
 $E$ : Módulo de elasticidad (207 Gpa)  
 $I$ : Momento de inercia ( $4.33 \text{ E}^{-6} \text{ m}^4$ )

**Figura 3.7** Esquema de la placa y diagrama de fuerzas de esta

Con lo que se determina que la placa posee una rigidez que cumple con deflexiones permitidas para el diseño (0.1 mm)

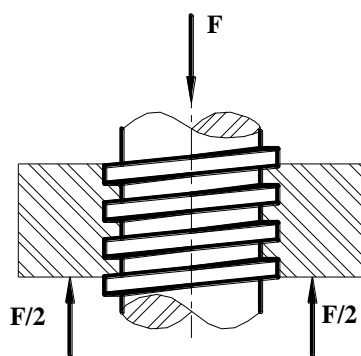
### 3.3.3 Diseño de los ejes guías

El punto crítico, para el análisis de los ejes guías se encuentra en el concentrador de esfuerzos producido por el roscado de los ejes, donde se instalan las tuercas de fijación **figura 3.4**

Para determinar si los ejes guías, trabajarán con un factor de seguridad adecuado se realizó un análisis, para el criterio de vida infinita.

Cálculo de esfuerzo cortante en los tornillos de potencia **figura 3.8**.

Datos de los tornillos:



Paso = 6mm  
Rosca = cuadrada  
Alto y ancho = 2.8 mm  
Número de hilos = 1  
Material del tornillo = AISI 304  
Material de la tuerca = AISI 1020

**Figura 3.8** Representación de cómo actúa la fuerza en los ejes guías

$$\tau = \frac{2F}{\pi dh} = 18.43 \text{ MPa}$$

Donde :

F = 63.7 KN (carga que soportara cada tornillo)

d = 44 mm (diámetro)

h = 50 mm (espesor de tuerca)

$\tau$  = esfuerzo cortante (Pa)

Análisis para vida infinita

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$S_e = 262 \text{ Mpa}$

$S_{ut} = 413 \text{ Mpa}$

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 31.92 \text{MPa}$$

$$\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\text{máx.}/2} = 15.96 \text{ Mpa}$$

Sustituyendo valores se obtiene un factor de seguridad de  $n = 10.0$  en comparación del  $n = 2.0$  recomendado para tornillos de potencia. Se determina que los adquiridos en el mercado satisfacen las necesidades de diseño.

### 3.3.4 Diseño de las tuercas de fijación de los ejes guías

La dimensión a determinar de los ejes guías corresponde al espesor de estas. El material que se utilizará para el análisis de las tuercas será el AISI 1020, debido que como criterio de diseño para la fabricación de tuercas se debe utilizar un material que posea menor resistencia mecánica que el del tornillo.

Selección del espesor adecuado de las tuercas

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi dt(0.75)} = \frac{63 \text{KN}}{\pi(0.044)(0.75)t} = \frac{614 \text{K}}{t}$$

Donde:

$\tau$ : esfuerzo cortante

d: diámetro del tornillo

t: espesor de tuerca

Análisis de fatiga

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Como el comportamiento de la carga es de 0 al valor de la carga máxima **anexo 3**

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2} = 1064.2 \text{K/t (Pa)}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\text{máx.}/2} = 428.7 \text{ K/t (Pa)}$$

$$S_{ut} = 448 \text{ MPa (AISI 1020, anexo 5)}$$

$$S_e = S'_e / k_f$$

Tablas y figuras para la determinación de todos los factores de fatiga, se presentan en el **anexo 6**

$$S'_e = 132.3 + 0.314 (S_{ut}) = 272.9 \text{ MPa}$$

$$k_f = 3.8 \text{ (de tabla de anexo 6)}$$

$$S_e = 71.8 \text{ MPa}$$

Despejando en la ecuación de esfuerzos a la fatiga, los valores de  $\sigma_a$ ,  $\sigma_m$ ,  $S_e$ ,  $S_{ut}$

tenemos:

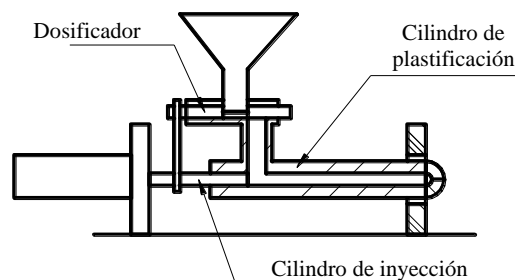
$$\frac{8.59m}{t} = \frac{1}{n}$$

t(mm)	n
30.0	3.5
45.0	5.2

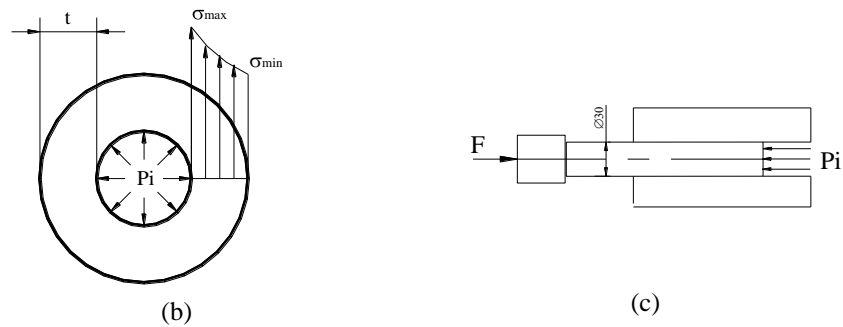
Del cuadro anterior se concluye que el espesor mínimo de las tuercas es de  $t = 30 \text{ mm}$  para los ejes en vida infinita.

### 3.3.5 Diseño del cilindro de inyección

Las dos piezas a analizar y que forman esta parte de la máquina son: el cilindro de inyección y el cilindro de plastificación. La configuración y la situación de esfuerzos se presentan en la **figura 3.9**



(a)



**Figura 3.9** (a) Vista lateral del cilindro de plastificación, (b) situación de esfuerzos en el cilindro de plastificación, (c) situación de esfuerzos en el eje de inyección.

### 3.3.5.1 Diseño del cilindro de plastificación

De la **figura 3.9.b** se presenta la forma en que el cilindro estará sometido a una presión interna de 27.56 Mpa, que es la presión máxima de inyección que se alcanzará dentro del cilindro de plastificación.

La ecuación que describe la situación de esfuerzos de cilindros es:

$$\sigma_t = P_i \left( \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \right)$$

$$t = r_e - r_i$$

$$\sigma_t = P_i \left( \frac{t^2 + 2t + 2}{t^2 + 2t} \right)$$

Donde:

$r_i$ : radio interno  
 $r_e$ : radio externo  
 $t$ : espesor de la pared  
 $\sigma_t$ : esfuerzo tangencial  
 $P_i$ : presión interna

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\text{máx.}}/2 = 60.2 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 586 \text{ MPa (AISI 1045)}$$

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e / k_f = 121.4 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 293 \text{ MPa}$$

$$k_a = 0.78$$

$$k_b = 0.85 \text{ (d = 70 mm \textbf{anexo 4})}$$

$$k_c = 0.9$$

$$k_d = 1.0$$

$$k_e = 0.72 \text{ (Kt = 1.5 de tabla \textbf{anexo 4})}$$

Sustituyendo en la ecuación se tiene un factor de seguridad (n), igual a 5.08

Ahora se realiza el mismo procedimiento para calcular el factor de seguridad utilizando latón (n = 3.4, k = 175 W/m°C) o bronce (n = 3.71, k = 61 W/m°C), que poseen mejores conductividades térmicas que el AISI 1045 (k = 54 W/m°C) y realizar una evaluación por puntos de los siguientes criterios: factor de seguridad, costo del material y conductividad térmica. El orden presentado obedece a que por ser un cilindro sometido a presión interna el factor de seguridad debe ser elevado, y reducir el costo del material en la inversión inicial.

Material	AISI 1045	Bronce	Latón
Factor a ponderar			
Factor de seguridad (45)	45	34	31
Costo del material (30)	30	11	6
Conductividad térmica (25)	13	14	20
<b>Ponderación final</b>	<b>88</b>	<b>59</b>	<b>57</b>

De lo anterior se determina que el material a utilizar para la fabricación el cilindro de plastificación es el AISI 1045.

### 3.3.5.2 Diseño del émbolo de inyección

En la **figura 3.9.c** se presenta la forma en que el eje estará sometido a una presión de 27.5 Mpa (Presión de inyección máxima). Para la selección del material para el émbolo de inyección se utilizará fundición gris ASTM 25 basándonos en el siguiente criterio: posee buena resistencia al desgaste por ser este un material autolubrificante

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\text{máx.}}/2 = 27.5 \text{ MPa}/2 = 13.8 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 172.25 \text{ MPa (AISI 4340)}$$

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e / k_f = 34.94 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 60.7 \text{ MPa}$$

$$k_a = 0.78$$

$$k_b = 0.82 \text{ (d = 31.9 mm \textbf{anexo 4})}$$

$$k_c = 0.9$$

$$k_d = 1.0$$

$$k_e = 1.0$$

$$k_f = 1.0$$

Sustituyendo en la ecuación se tiene un factor de seguridad (n), igual a 2.0

### 3.3.5.3 Cálculo de la tolerancia del émbolo basado en la dilatación térmica

La tolerancia que poseerá el émbolo se basa en que aunque el cilindro de plastificación no se dilatará el émbolo de inyección solo se dilataría hasta alcanzar el diámetro igual a del cilindro de plastificación a la temperatura mayor de trabajo:

Desarrollando la anterior analogía se llega a la siguiente ecuación:

$$L_T = L\alpha\Delta T + L$$

$$L_T = L(1 + \alpha\Delta T)$$

Donde:

$L_T$ : Longitud total (diámetro interno del cilindro de plastificación 31.9 mm)

$L$ : Diámetro del émbolo

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura (250-24 °C)

$\alpha$ : Coeficiente de dilatación térmica (12.1 E-6/°C)

Determinándose un diámetro del émbolo de 31.9 con un juego de 0.08 mm

### 3.3.5.4 Selección de la boquilla

Se seleccionará una boquilla de perfil convexo y orificio cónico **figura 1.16**.

Para determinar el diámetro de la boquilla se utilizan las tablas 1.2 y 1.3, en los cuales se necesita la cantidad en gramos a inyección (40 g), y el material termoplástico (polietileno) respectivamente.

De la **tabla 1.2** se tiene que para inyectar 40 g, se necesita un diámetro de 6.5 mm, y de acuerdo con el material, la **tabla 1.3** recomienda un factor de corrección de 0.5

De lo que se determina que se puede utilizar una boquilla con diámetro de 3 o 4 mm.

### 3.3.6 Diseño de la bancada de la máquina

En la **figura 3.10** se presenta la ubicación de las cargas generadas por el peso de los diferentes elementos que conforman la máquina, además de los diagramas de cortante y momento flector de la estructura como también las dimensiones del hierro estructural que se utilizará para la construcción de la bancada. Las asunciones realizadas para el diseño de la máquina son:

- Las cargas actúan en forma puntual mas criticas que si se utilizan como cargas distribuidas.
- Para el cálculo del momento de inercia solo se consideran los dos tubos estructurales que están sometidos a flexión.

El análisis a realizar es un análisis de elementos sometidos a carga estática.

Cálculo del esfuerzo de flexión y el factor de seguridad de la bancada.

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

Donde:

$\sigma$ : esfuerzo de flexión

M: momento flector máximo

I: momento de inercia (295,424 mm<sup>4</sup>)

Sustituyendo estos valores se determina un valor de  $\sigma = 31.9 \text{ Mpa}$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

N: factor de seguridad

S<sub>y</sub>: esfuerzo de fluencia (250 Mpa)

$\sigma$ : esfuerzo de flexión

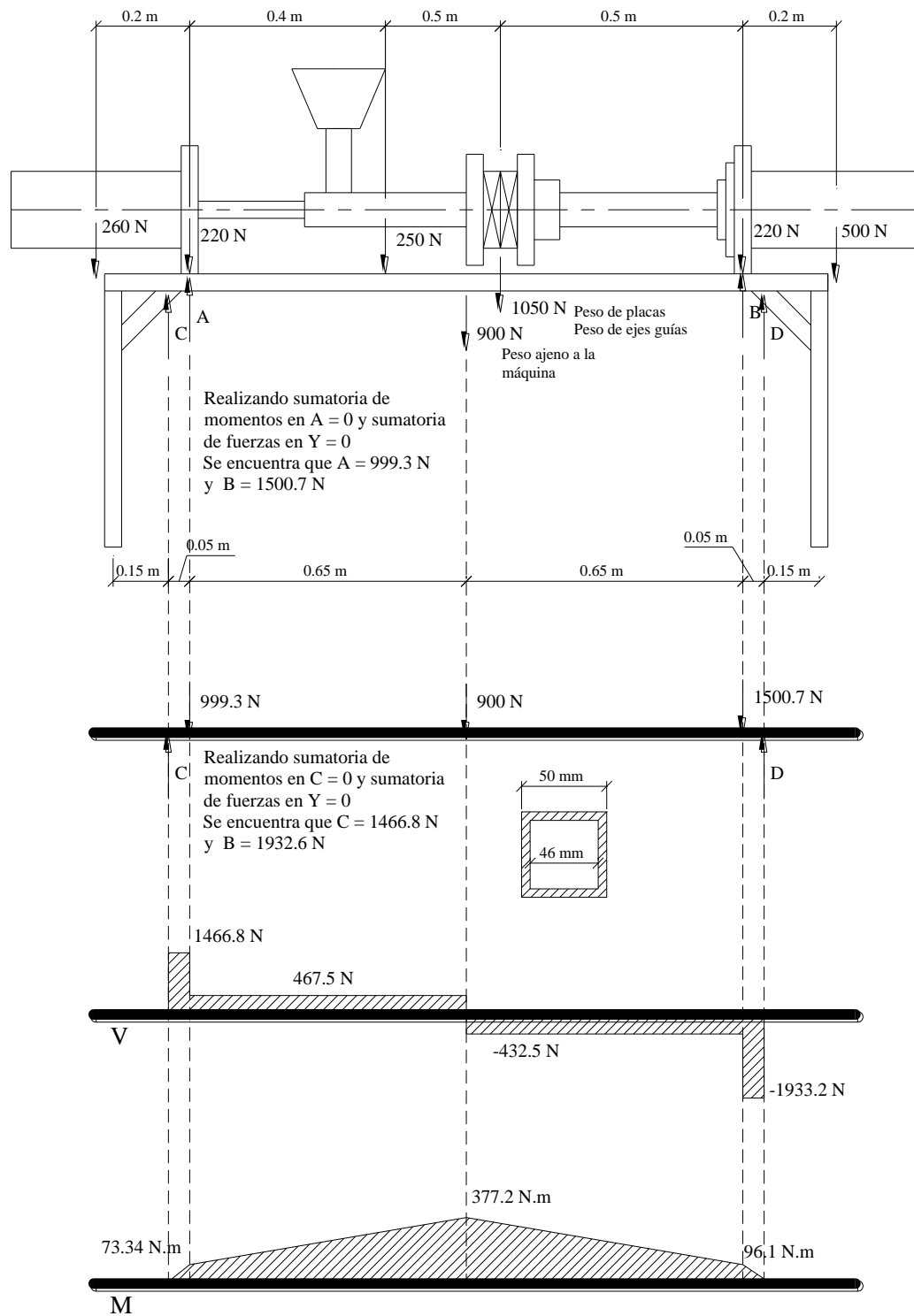


Figura 3.10 Diagrama de cortante y momento de la bancada

Además en la bancada es necesario calcular la deflexión máxima de la bancada, sabiendo que la deflexión máxima se da en el centro de la bancada, para el cálculo de esta se utilizó el método de la superposición. Realizando el análisis se tienen las siguientes deflexiones.

Deflexión en el centro (con carga ajena a la máquina de 900 N) = 1.12 mm

Deflexión en el centro (sólo con el peso de la máquina) = 0.25 mm

### 3.4 Diseño del sistema hidráulico

#### 3.4.1 Descripción del sistema hidráulico

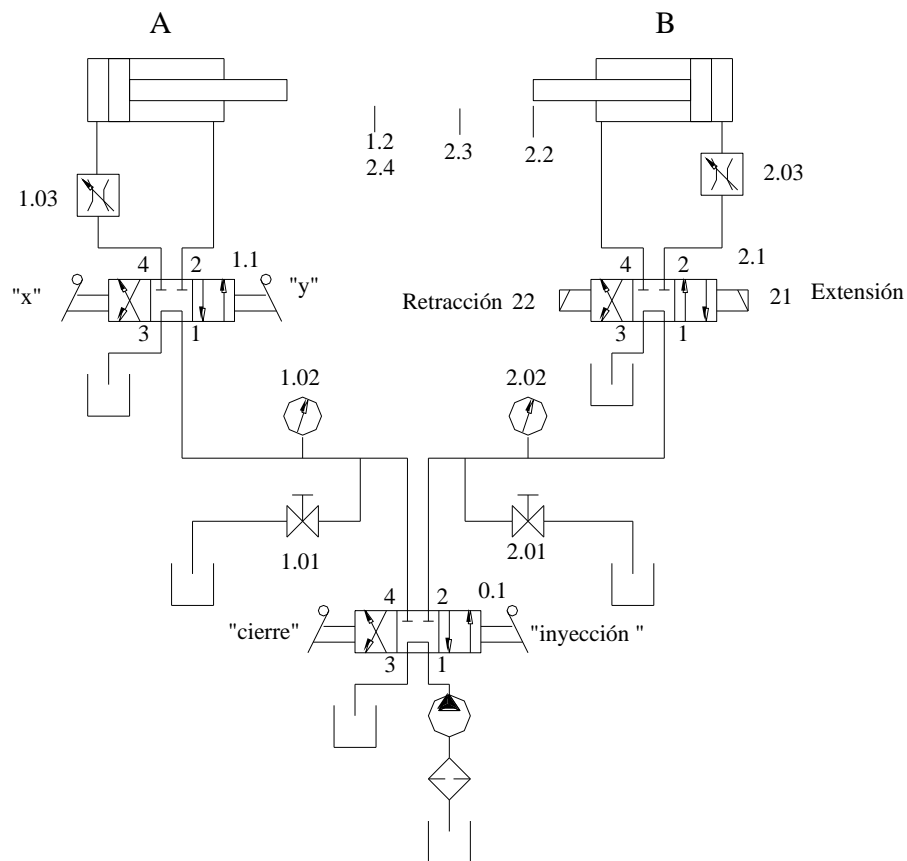
En la **figura 3.11** se muestra el circuito hidráulico del proceso de inyección y cierre del molde de la máquina, que a continuación se describe:

En el estado presentado la presión de la bomba llegará hasta una válvula selectora mecánica(0.1) (4/3) que internamente contiene una válvula de seguridad de presión que está calibrada a la presión máxima de trabajo del sistema (2000 psi), a través de la cual es desviado hacia el tanque cuando la presión del sistema alcanza los 2000 psi, si se acciona la palanca de dicha válvula hasta la posición “cierre” el flujo llegará hasta una derivación donde una línea pasará por un manómetro(1.02) llegando luego hasta la válvula mecánica (1.1) (4-3) accionada por una palanca, y por la otra línea llegará hasta una válvula de alivio (1.01) de regulación manual que energizará flujo al tanque. La válvula mecánica (1.1) en su posición de reposo desviará el flujo hacia el tanque, y el cilindro A permanecerá en reposo, luego si es accionada la palanca a la posición “x”, el flujo tendrá paso y llegará hasta una válvula reguladora de flujo 1.03 por medio de la cual se tendrá control sobre la velocidad en el pistón de cierre “A” llegando después al pistón “A” y lo extenderá, en estas condiciones el pistón “A” accionará y mantendrá presionado los finales de carrera 1.2 que activará el piloto “**molde cerrado, alcanzar presión de cierre y**

**luego inyectar**” y desactivará el piloto **“molde abierto”**, y el 2.4 que energizará el sistema automático de inyección para que pueda ser operado. Desactivando luego la posición “x” el cilindro “A” quedará extendido y anclado a la presión calibrada en la posición de cierre.

Una vez terminada la extensión y anclaje del pistón “A” se desactivará la posición de “cierre” de la válvula selectora (12), hasta su posición de reposo, luego se activará hasta la posición “inyección” donde el flujo llegará hasta una derivación donde una línea pasará por un manómetro(2.02) llegando luego hasta la electroválvula (2.1) (4/3), y por la otra línea llega hasta una válvula de alivio (2.01) de regulación manual que descargará flujo al tanque. La electroválvula que estará es su posición de bloqueo, desviará el flujo hacia el tanque. Cuando el solenoide de extensión(21) sea activado, dará paso al flujo y llegará hasta la válvula reguladora de flujo 2.03 por medio de la cual se tendrá control sobre la velocidad en el pistón de inyección B, llegando así el flujo hasta el cilindro B, que al comenzar su carrera de extensión desactivará el final de carrera 2.2 el cual es un auto-mantenimiento de energía para el solenoide de extensión(21), desactivándose también el piloto **“inyección terminada”** y activará el piloto **“inyección, plastificación y solidificación de la pieza”**. Antes de terminar su carrera de extensión este activará el final de carrera 2.3 el cual desenergizará el solenoide de extensión(21), conmutando así la electroválvula a su posición inicial, manteniéndose extendido y bloqueado el cilindro de inyección, a la presión calibrada. Simultáneamente el mismo final de carrera 2.2 energizará el temporizador. Dicho temporizador esperara el tiempo al cual ha sido programado, transcurrido este tiempo actuará bloqueando la energía que alimenta el solenoide de extensión(21) para que cuando sea desactivado el final de carrera 2.3 éste no actuará, y energizará el solenoide de retracción(22), el cual provocará la retracción del cilindro de inyección, que cuando termine su

carrera de retracción este activará el final de carrera 2.2 el cual desenergizará todo el sistema de inyección automático y quedará encendido en piloto **“Inyección Terminada”**

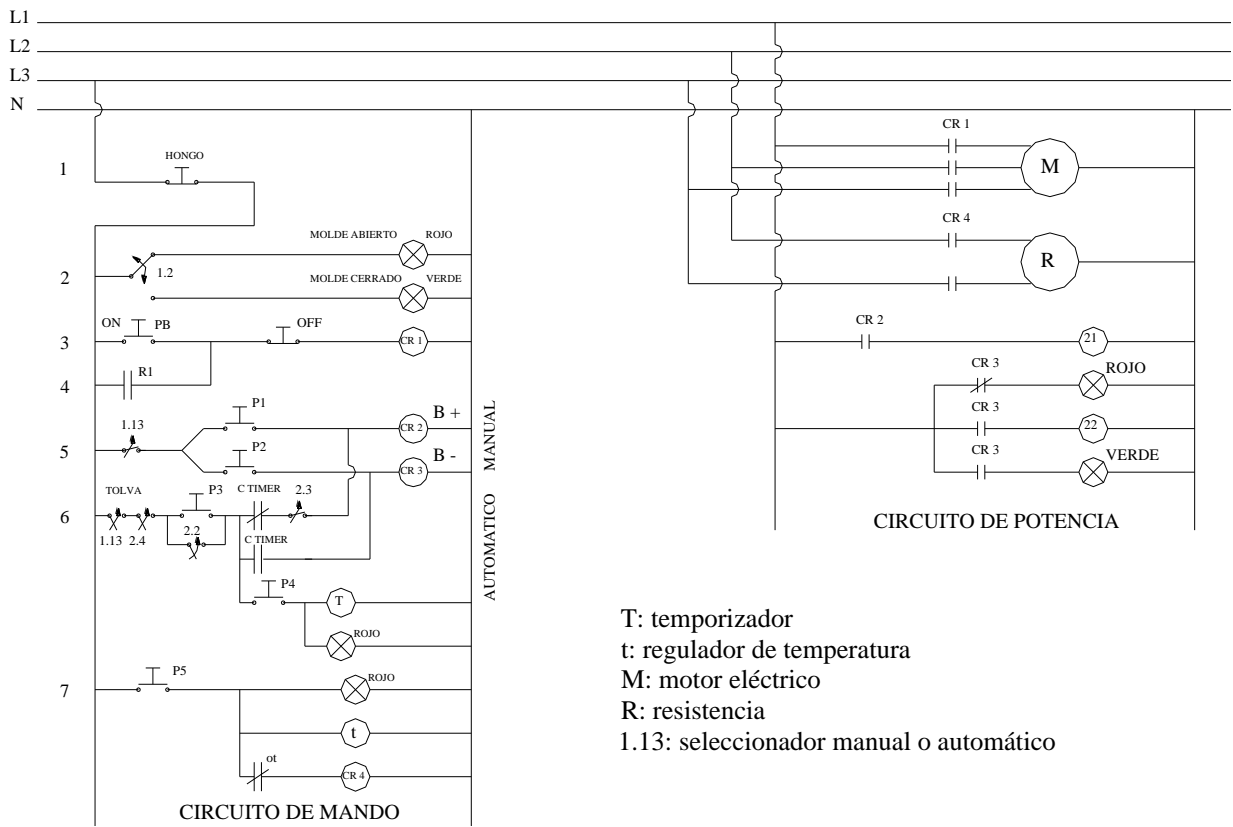


**Figura 3.11** Sistema hidráulico de la máquina de inyección

Terminada la inyección se actuará la palanca de la válvula selectora(12) a la posición de reposo y luego hasta la posición “cierre”, y luego activando la palanca de la válvula mecánica (1.1) hasta la posición “Y” en la cual se retraerá el cilindro “A” y se desactivará el final de carrera 1.11 apagándose el piloto de **“molde cerrado, alcanzar presión de cierre y luego inyectar”** y encendiéndose el piloto de **“molde abierto”**, simultáneamente se desactiva el final de carrera 1.12, el cual dejará sin energía el sistema de inyección automático. Terminada la retracción del

cilindro “A” se conmutará dicha válvula mecánica (1.1) a su posición de reposo, dejando anclado el cilindro de “A” en retracción. Y finalmente se llevará también la palanca de la válvula selector(12) hasta su posición de reposo, finalizando así el ciclo de trabajo de la máquina para retirar la pieza inyectada.

Complementando al diagrama del sistema hidráulico de la máquina de inyección de la **figura 3.11**, se presenta a continuación la **figura 3.12** la cual contiene el circuito de mando y el circuito de mando y potencia.

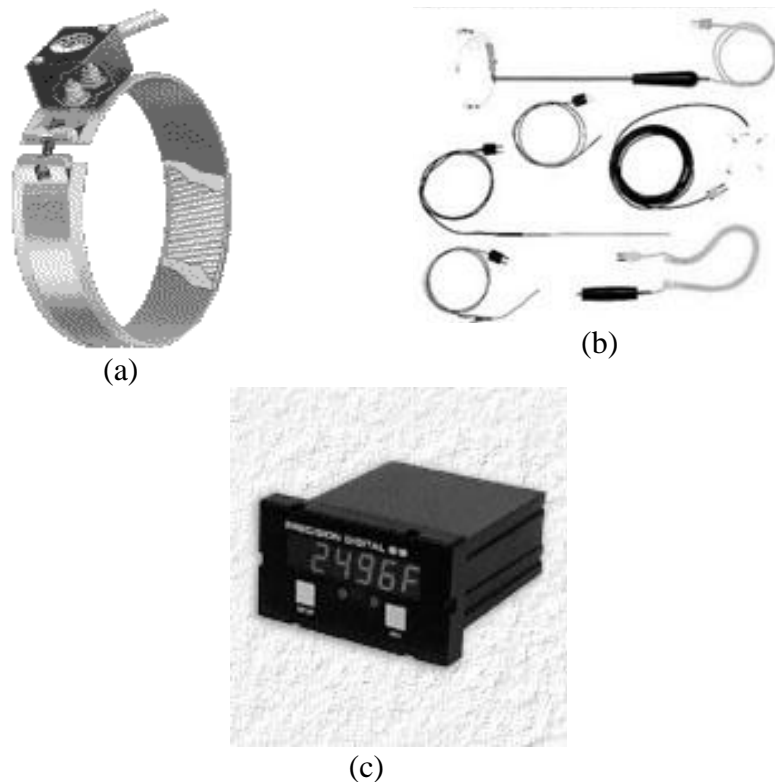


**Figura 3.12** Diagrama de escalera de la máquina de inyección de termoplásticos

### 3.5 Diseño del sistema térmico de la máquina de inyección

#### 3.5.1 Descripción del funcionamiento del sistema térmico

El sistema térmico estará compuesto por una resistencia que cubrirá el cilindro de plastificación (área perimetral aproximada de  $235.6 \text{ cm}^2$ , esta área es igual al perímetro de la resistencia por su longitud), las cuales estarán reguladas por un termostato y medido por una termocupla la función del sistema es encargarse de mantener el cilindro de plastificación a la temperatura de trabajo, en la **figura 3.13** se presentan dichos elementos.



**Figura 3.13** (a) Resistencia de banda, (b) Termopares, (c) Regulador

Con una temperatura de  $400^{\circ} \text{C}$  se cubre la temperatura máxima de plastificación de los materiales que fueron seleccionados para operar la máquina según la **Tabla 3.1**

El flujo de calor se produce a través de la pared del cilindro, hacia el interior y luego plastifica el material que se encuentre en él, después de lo cual es inyectado, finalmente será

recargado con material nuevo impulsando a salir el plastificado hacia el molde y ocupando su lugar el material nuevo.

El calor generado por la resistencia no se aprovecha en su totalidad, un porcentaje del calor generado por la resistencia se perderá por convección natural al ambiente (este valor será mínimo debido a la característica de la resistencia de generar el calor en la cara que se encuentre en contacto con el cilindro), el resto se transmitirá radialmente por conducción hacia el interior del cilindro de plastificación, siendo absorbido por el material plástico que se encuentra en su interior, cuando el plástico sea inyectado en el molde el calor será evacuado el calor y se transmitirá hacia el molde, donde, por medio de convección natural, es disipado al medio ambiente.

El calor seguirá fluyendo desde la resistencia hacia el interior pero ahora absorbido por el material nuevo que entra al cilindro de plastificación, cuando es inyectado el material que fue plastificado anteriormente.

Existen dos tiempos críticos dentro del proceso de inyección:

- Tiempo de plastificación
- Tiempo de solidificación

### **3.5.2 Cálculo del tiempo de plastificación**

El calor será generado por una de resistencias eléctrica antes descrita, la cual estará a una temperatura de 400° C, su diseño geométrico será de anillo como el de la **figura 3.13.a**. Realizando un corte longitudinal al cilindro de plastificación podemos observar las diferentes capas que lo constituirá, como se muestra la **figura 3.14**. Donde la resistencia primeramente

calentará la capa de acero, luego calentará una película de plástico, llegando así hasta el centro del cilindro.



**Figura 3.14** Vista transversal del cilindro de plastificación

Se realizará el cálculo del tiempo de plastificación para el termoplástico que tenga la mayor temperatura de plastificación según la **tabla 3.1**, de la cual se determina que el termoplástico con mayor temperatura de plastificación es el polipropileno con temperatura de 270 °C

Para condiciones promedio la resistencia se mantendrá a una temperatura uniforme de 400 °C la cual será censada por una termocupla.

Se utilizará el método de cálculo de tiempo para sistemas transitorios en un cilindro infinito\*, que nos permite calcular en tiempo que tarda para fluir el calor que es aplicado en la superficie de un cilindro hasta llegar a obtener en el centro del mismo ( $r = 0$ ) una temperatura deseada, a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{t(0, \theta) - t_1}{t_i - t_1} = C(\theta) \quad \text{ecuación 3.1}$$

Donde:

---

\* CONDUCCIÓN DE CALOR, Schnaider

$t(0,\theta)$  temperatura deseada en el centro del cilindro ( $r=0$ ) transcurrido un

tiempo  $\theta$

$t_1$  temperatura aplicada en la periferia del cilindro

$t_i$  temperatura a la que inicialmente se encuentra el cilindro

$C(\theta)$  series Bessel de integración

Asumiendo que el cilindro de plastificación es sólido, y con un gradiente de calentamiento uniforme y que la temperatura que deseamos en el centro del cilindro es de 270 °C, la temperatura aplicada en la periferia del cilindro es de 400 °C, la temperatura a la que se encuentra el cilindro es de 25 °C, sustituyendo en la ecuación 3.1 obtenemos un valor de  $C(\theta) = 0.3466$ , dicho valor es interpolado en la tabla de valores para cilindro de la serie  $C(\theta)$  de **anexo 8**, el cual nos da un tiempo de  $\theta = 0.265$  horas es decir 954 segundos, que será el tiempo requerido en el arranque desde la temperatura inicial del cilindro de 25 °C. Luego de la primera inyección el cilindro ya no estará a temperatura ambiente sino que tendrá un valor mayor, aproximado a la temperatura de plastificación (270 °C), y manteniendo el resto de datos igual, sustituyendo en la ecuación 3.1 obtenemos un valor de  $C(\theta) = 1$  de la tabla de valores de  $C(\theta)$  genera un valor aproximado de  $\theta = 0.02$  horas (72 segundos) que ahora es el tiempo de plastificación cuando la máquina esté operando.

### 3.5.3 Cálculo del tiempo de solidificación

Debido a que el cálculo del tiempo de solidificación es determinado por las características de cada pieza en particular, este cálculo se realiza en particular de un molde de inyección en el que la pieza será de polipropileno y un peso aproximado de 3 gramos.

Dicho análisis se basa en la ecuación diferencial de Fourier\* donde se realiza un balance de energía. Dicho análisis se puede resumir en un nomograma que se presenta en el **anexo 9**.

El presente análisis presenta una probeta cuyo valor de espesor máximo es de 10 mm y el material polipropileno con conductividad térmica de  $7.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$  ver valor en tabla de **anexo 10**

Las condiciones a las que se enfriará la probeta se hará en primer lugar cuando el molde se encuentre frío, es decir cuando todavía no se ha producido ninguna pieza, las cuales son:

Temperatura de inyección  $\theta_M = 270 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de pared del molde  $\theta_W = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura media de desmolde  $\theta_E = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Así sustituyendo los valores en la siguiente ecuación tenemos:

$$\bar{T} = \frac{\theta_M - \theta_W}{\theta_E - \theta_W} \text{ resulta..... } \bar{T} \cong 6$$

Haciendo uso del nomograma trazamos una recta que una el valor conductividad térmica del material y el valor de espesor de la probeta. Al producir esta recta esta cortará la línea 1 sin escala, este punto de intersección servirá de pivote para la siguiente recta que partirá de dicho punto hasta tocar el valor de  $T = 6$ , esta recta cortará la escala de tiempo, la cual nos genera un tiempo de enfriamiento de 200 segundos (**ver nomograma 1, anexo 9**), que será el tiempo que habrá que esperar para que la pieza se enfríe a una temperatura de  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  en su superficie y poder abrir el molde y sacar la pieza. Ahora si trazamos otra recta siempre pivotando la línea sin escala y la trazamos hasta la escala de  $T = 6$ , obtenemos un tiempo de 250 segundos (**ver**

---

\* EL PLASTICO EN LA INDUSTRIA TRATADO PRACTICO, Tomo 3, G. Menges/ G. Mohren

**nomograma 1, anexo 9)** que será el tiempo que habrá que esperar para que la pieza se enfríe a una temperatura de 70 °C en el centro de la misma y poder abrir el molde y sacar la pieza.

Las condiciones bajo las cuales se enfriará la probeta cuando ya se esta produciendo son:

Temperatura de inyección  $\theta_M = 270 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de pared del molde  $\theta_W = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura media de desmolde  $\theta_E = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Así sustituyendo los valores en la siguiente ecuación tenemos:

$$\bar{T} = \frac{\theta_M - \theta_W}{\theta_E - \theta_W} \text{ resulta..... } \bar{T} = 11$$

Haciendo uso del nomograma trazamos una recta que una el valor conductividad térmica del material y el valor de espesor de la probeta. Al producir la recta cortará la línea 1 sin escala, el punto de intersección servirá de pivote para la siguiente recta que partirá de dicho punto hasta tocar el valor de  $T = 11$ , la recta cortará la escala de tiempo, la cual nos genera un tiempo de enfriamiento de 275 segundos (**ver nomograma 2, anexo 9**), que será el tiempo que habrá que esperar para que la pieza se enfríe a una temperatura de 70 °C en su superficie y poder abrir el molde y sacar la pieza. Si trazamos otra recta siempre pivotando la línea sin escala y la trazamos hasta la escala de  $T = 11$  obtenemos un tiempo de 350 segundos (**ver nomograma 2, anexo 9**) que será el tiempo que habrá que esperar para que la pieza se enfríe a una temperatura de 70 °C en centro de la misma y poder abrir el molde y sacar la pieza.

Recapitulando tenemos:

El termoplástico más crítico es el polipropileno ya que requiere una temperatura mayor que el resto seleccionado (270 °C) así como también la mayor presión de inyección (1000 bar)

Referente al tiempo tenemos

**Tabla 3.3** Resumen de tiempos de solidificación y plastificación (material: polipropileno; espesor: 10 mm)

<b>Estado</b>	<b>En arranque (Segundos)</b>	<b>En producción (Segundos)</b>
Tiempo de plastificación	954	72
Tiempo de solidificación de la superficie	200	275
Tiempo de solidificación en el centro	250	350

Por lo que podemos resaltar:

- El tiempo máximo que se debe esperar en el arranque antes de comenzar a producir es de 954 segundos por plastificación por primera vez
- Esperar 250 segundos después de la primera inyección para abrir el molde de la primera pieza producida
- Cuando ya se ha producido más de una pieza sólo son necesario 72 segundos para plastificar una carga de material
- Cuando ya sea producido más de una pieza se necesita esperar 350 segundos para poder desmoldar y realizar otro ciclo

#### **3.5.4 Cálculo del calor necesario para plastificar el material termoplástico**

Datos de la resistencia eléctrica proporcionados por el fabricante son: la resistencia proporciona 1500 W y una temperatura en la superficie exterior de la resistencia (lado frío) de 100 °C, conectada a 220 V AC

De lo anterior se determina

Potencia de la resistencia = 1500 W

Flujo de calor perdido por convección natural = 30 W

$$q = hA(T_s - T_\omega)$$

Donde:

q: calor perdido por convección por unidad de tiempo (W)

h: coeficiente de convección (15 W/m<sup>2</sup>.°C)

T<sub>s</sub>-T<sub>ω</sub>: diferencia de temperatura (74 °C)

A: área de superficie de convección (0.02686 m<sup>2</sup>)

Potencia útil de la resistencia: 1470 W

Calor necesario para fundir 40 g de termoplástico en 72 s = 183 W

$$Q = mc\Delta T$$

Donde:

Q: calor necesario (cal)

m: masa (40 g)

c: calor específico (0.35 cal/gr.°C)

ΔT : diferencia de temperatura (225 °C)

De lo anterior se determina que la resistencia proporciona el calor suficiente para plastificar el material y que la longitud a utilizar de este es para asegurar el mantenimiento uniforme de la temperatura.

La potencia útil de la resistencia (1470 watt) es alta en referencia a la necesaria (183 watt), sin embargo para cubrir toda el área de plastificación se requería de una resistencia de tal magnitud no por razones de potencia sino físicas, y así fue suministrada por el fabricante.

### 3.6 Costos de fabricación de la máquina de inyección

#### 3.6.1 Costos de materiales de la máquina

Cant.	Denominación	Material	Medidas <sup>1</sup>	PU	PT
				(US Dólares)	(US Dólares)
1	Barra perforada	AISI 1020	45 x 32 x 350 mm	6.42	6.42
1	Barra perforada	AISI 1020	36 x 25 x 250 mm	4.90	4.90
1	Barra sólida	AISI 1020	36 x 150	2.10	2.10

Cant.	Denominación	Material	Medidas <sup>1</sup>	PU	PT
				(US Dólares)	(US Dólares)
3	Placa	AISI 1020	• 25X300X260	98.28	294.86
1	Eje	AISI 1020	Ø 38X2000	28.57	28.57
1	Placa	AISI 1020	• 135X135X19	49.14	49.14
1	Placa	AISI 1020	• 125X125X19	46.86	46.86
1	Eje	AISI 4340	Ø 25X200	3.43	3.43
1	Eje	AISI 1020	Ø 19X150	0.57	0.57
1	Barra perforada	Bronce	Ø <sub>e</sub> 75X Ø <sub>i</sub> 25X150	47.43	47.43
12	Tornillos y tuercas	SAE 2	5/8 <sup>NC</sup> X1 <sup>1/2</sup>	0.57	6.86
12	Tornillos Allen	SAE 2	3/8 <sup>NC</sup> X1 <sup>1/2</sup>	0.46	5.49
6	Electrodos (Lbs)		1/8 <sup>''</sup> E6013	1.00	6.00
2	Tensores	Acero	5/16 <sup>''</sup>	2.74	2.74
2	Rodos fijos	Hule	125 mm	5.45	10.90
2	Rodos giratorios	Hule	125 mm	6.50	13.00
1	Varilla roscada	Acero zincada	1/2 <sup>''</sup>	1.95	1.95
1	Cilindro de plastificación	Acero 1045		148.51	148.51
1	Brocha	Cerdas	1 1/2 <sup>''</sup>	0.56	0.56
12	Spray	Pintura	Base gris	1.70	20.40
3	Ángulos	Acero 1020	1 <sup>''</sup> x 1/8 <sup>''</sup>	3.40	10.20
1	Eje	Acero 1020	5/8 <sup>''</sup> x 36 <sup>''</sup>	1.50	1.50
3	Soportes	Hule	1 1/2 <sup>''</sup> x 1 <sup>''</sup>	2.01	6.03
1	Lamina	Acero	1/16 <sup>''</sup>	12.05	12.05
1	Eje	Acero 1020	18 x 270 mm	0.90	0.90
1	Cerradura	Acero	Tipo vehículo	2.00	2.00
1	Acrílico	Plástico	Moldeado	54.89	54.89
1	Pletina	Acero 1020	1/2 <sup>''</sup> x 1/8 <sup>''</sup>	0.86	0.86
1	Pletina	Acero 1020	3/4 <sup>''</sup> x 1/8 <sup>''</sup>	1.49	1.49
	Pernos, tuercas y arandelas	Acero	Toda medida	0.25	15.00
2	Tubo estructural	Acero 1020	Cuadrado chapa 14	10.43	20.86
1	Lámina Negra		1/8 <sup>''</sup>	18.97	18.97
				<b>TOTAL</b>	845.44

**1:** dimensiones en milímetros cuando no se especifique

**PU:** Significa precio por unidad

**PT:** Significa precio total

### 3.6.2 Costo de herramientas especiales

Cant.	Denominación	Especificaciones	PU	PT
			(US Dólares)	(US Dólares)
1	Rima	38.00 a 46.00 mm, HS	134.86	134.86
1	Rima	23.75 a 27.00 mm, HS	74.29	74.29
1	Fresa	Ø 25 mm, HS	75.43	75.43
2	Fresa	Ø 6 mm, HS	19.42	38.86
1	Juego de machuelos	Ø 5/16 "NC	9.14	9.14
1	Juego de machuelos	Ø 3/8 "NC	10.29	10.29
1	Buril para alesar		45.71	45.71
1	Disco de desbaste	9" x 1/4" x 7/8"	3.50	3.50
1	Disco de corte	9" x 1/8" x 7/8"	3.42	3.42
1	Lija	Hierro n° 100	0.70	0.70
1	Juego de brocas	1/8" – 3/8"	4.50	4.50
1	Juego de machuelos	3/16"-24	2.85	2.85
1	Boquilla de contacto	Para soldador	1.74	1.74
			<b>TOTAL</b>	<b>405.29</b>

### 3.6.3 Costo de elementos hidráulicos y eléctricos

Cant.	Denominación	Especificaciones	PU	PT
			(US Dólares)	(US Dólares)
1	Pistón	ENERPAC, RR1010, 10 ton.	645.71	645.71
1	Pistón	ENERPAC, RR308, 30 ton	1,069.26	1,069.26
1	Válvula mecánica		200.00	200.00
1	Válvula, 4/3, doble solenoide	ENERPAC,	571.43	571.43
2	Manómetros	2000 y 3000 psi	27.83	55.66
3	Micro swith	De mando 1 NO 1 NC	8.73	26.19
2	Fin de carrera de rodillo con leva	De mando 1 NO 1 NC	16.64	33.28
1	Temporizador (relee de tiempo)	0.6 – 6 minutos 110 voltios	41.81	41.81
1	Pulsador	De mando 1 NO 1 NC	18.73	18.73
1	Pulsador	De mando 1 NO	11.00	11.00
14	Manguera	3500 psi	14.65	205.10
4	Niples acero al carbono	3/8" NPT	0.40	1.20
2	Niples acero al carbono	1/2" NPT	0.95	1.90
4	Tee acero al carbono	1/2" NPT	4.35	17.40
5	Codos de acero al carbono	1/2" NPT	5.29	26.45
2	Válvulas de stop	1/2" NPT a 10000 psi	37.48	74.96

Cant.	Denominación	Especificaciones	PU	PT
			(US Dólares)	(US Dólares)
2	Codos de acero al carbono	1/4" NPT	0.51	1.02
3	Niples acero al carbono	1" x 1/2" NPT	1.25	3.75
1	Filtro de retorno	Tamiz 200 x 200	6.75	6.75
12	Codos	1/2" NPT x 1/2" yic	5.29	63.48
7	Conectores rectos	1/2" NPT x 1/2" yic	2.30	16.10
5	O-ring	1 1/4" x 1 1/8"	0.47	2.35
10	Cintas teflón	1/2"	0.57	5.70
1	Conector recto	1/4" yic x 1/2" yic	6.70	6.70
5	Reductores galvanizados	1/2" x 1/4" NPT	0.80	4.00
1	Tapón macho galvanizado	1 1/2"	1.15	1.15
5	Reductores galvanizados	1" x 1/2" NPT	1.30	6.50
6	Gal. aceite hidráulico	CASTROL SAE 8	11.43 x Gal.	22.89
1	Resistencia eléctrica	Tipo banda 1500 watt	51.43	51.43
1	Control con Censor de temperatura	0-400 °C tipo j	80.76	80.76
35	Metros de alambre	SAE 18	0.12	4.20
1	Bomba hidráulica		1,600.00	1,600.00
1	Válvulas de seguridad		205.71	205.71
2	Válvulas de aguja		92.57	185.14
2	Relay	120 voltios 10 Amperios	6.5	13.00
2	Contactador	120 voltios 1 N A	23.25	46.50
4	Pilotos de señalización	120 voltios neón	1.00	4.00
2	Switch	Pulsadores 10 amperios	1.50	3.00
1	Botonera anclaje	Con piloto	17.88	17.88
12	Terminales	Tipo bandera # 16	0.11	1.32
50	Pares de terminales	Rectas cilíndricas nº 18	0.07	3.05
20	Cinchos de seguridad	7"	0.48	9.60
20	Cinchos de seguridad	4"	0.25	5.00
2	Switch con piloto	15 amperios	0.74	1.48
3	Cable tsj	10 x 3	1.02	3.06
1	Regleta plástica de conexiones	Calibre 8	4.00	4.00
4	Conectores rectos para caja	3/4"	0.45	1.80
1	Caja de interconexión	8" x 6" x 4"	2.97	2.97
1	Tecnoducto	1"	0.45	0.45
5	Coraza plástica	3/4"	1.75	5.25
7	Coraza plástica	1/2"	1.50	10.5
5	Cable silicón alta temperatura	Nº 12	1.80	9.00
1	Base porta fusibles	Doble polo	8.94	8.94
2	Fusibles de cartucho	15 amperios	0.61	1.22
2	Espagueti	Calibre 3/8"	2.60	5.20
1	Térmico	15 amperios	4.30	4.30
4	Cable tsj	10 x 4	6.50	26.00

Cant.	Denominación	Especificaciones	PU	PT
			(US Dólares)	(US Dólares)
			<b>TOTAL</b>	<b>5455.23</b>

### 3.6.4 Costos de mano de obra en la fabricación de la máquina

La determinación de los costos de fabricación se determina realizando la sumatoria de todos los tiempos de fabricación de las piezas.

Después se multiplica el número de horas de trabajo por el salario recibido por hora de un trabajador.

Sumatoria de horas de trabajo de fabricación: 2,200 horas de trabajo

Salario por hora de trabajo de un empleado: 2.00 US Dólares

Costo total de mano de obra: 4,400.00 US Dólares

### 3.6.5 Tabla resumen de costos de la máquina de inyección

Tabla resumen de costos de la construcción de la máquina de inyección de termoplásticos hidráulicos.

Rubro de costos	Costo en US Dólares
Costo de materiales para fabricación	845.44
Costos de elementos hidráulicos y eléctricos	5455.23
Costos de herramientas especiales	405.29
Costos de mano de obra	4,400.00
<b>Sub total</b>	<b>11,105.96</b>
Imprevistos (7% de los costos por rubro)	889.42
<b>Costo total de la máquina de inyección</b>	<b>11,995.38</b>

### 3.7 Especificaciones de la máquina de inyección de termoplásticos

### 3.7.1 Especificación de la unidad de inyección

Diámetro del husillo (mm)	30
Relación L/D	7
Máxima presión de inyección (bar)	275
Volumen teórico de inyección (cm <sup>3</sup> )	57.0
Volumen efectivo de inyección (cm <sup>3</sup> )	40
Capacidad efectiva de inyección (cm <sup>3</sup> /s)	9.45
Capacidad de plastificación (kg/h)	6.54
Potencia instalada de calentamiento en el cilindro de plastificación (kw)	1.5
Numero de zonas de calentamiento del cilindro	1

### 3.7.2 Especificaciones de la unidad de cierre del molde

Fuerza de cierre del molde (toneladas)	13
Carrera de la placa móvil (mm)	210
Distancia entre las columnas (mm)	200
Dimensiones de las platinas (mm)	180

### 3.7.3 Especificaciones generales

Potencia del motor eléctrico (HP)	5
Potencia máxima (kw)	5.125
Ciclos de vacíos (ciclos por minuto)	1.5

## 4. Diseño del molde de prueba para inyección de termoplásticos

La pieza a moldear es una probeta para ensayos de tracción de materiales termoplásticos norma ISO 294-2:1996 (barras pequeñas para tracción)

La probeta se fabricará de polietileno de alta o baja densidad, por ser los de mayor uso en la industria nacional.

### 4.1 Características de la máquina de inyección

Las características de la máquina de inyección son:

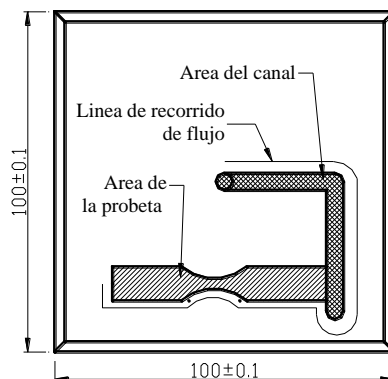
- Capacidad de inyección 40 gr
- Volumen de inyección 40 cm<sup>3</sup>
- Presión máxima de inyección 275 bar
- Fuerza de cierre 13 toneladas

### 4.2 Evaluación de los aspectos concernientes a la pieza a moldear

Para determinar los parámetros de inyección (presión de inyección y fuerza de cierre del molde) es necesario conocer los siguientes datos que se obtienen con ayuda de la **figura 4.1** y el plano 2 del molde.

- Espesor mínimo del molde 2.5 mm

- Longitud de recorrido del material fundido, el cual se determina siguiendo la mayor distancia a recorrer por el material fundido para este caso es de 177 mm
- Viscosidad de los materiales fundidos (referidos a las escalas A-B-C de la **figura 3.1**)
- Área proyectada es igual a la suma del área de la cavidad más la del canal la cual es de  $908.13 \text{ mm}^2$
- Volumen de inyección, se calcula determinando el volumen de la probeta el cual es igual al área proyectada de la probeta por su espesor, el volumen del canal es igual al área de la sección del canal por la longitud de este y el volumen del mazarote teniendo un volumen total de  $2,837 \text{ mm}^3$ , 2.83 gr. de material en peso aproximadamente.



**Figura 4.1.** Molde de probeta de inyección.

#### 4.3 Determinación de la presión de inyección

Con el material de trabajo, polietileno de alta densidad (PEAD), espesor de pared mínimo de la pieza a moldear y la longitud de recorrido del material fundido se entra a la **figura 3.1**.

De donde se determina que la presión de inyección ( $P_i$ ) necesaria es de 180 bar (2610 Psi)

#### 4.4 Fuerza de cierre del molde

Para calcular la fuerza de cierre se debe tomar un factor de seguridad de 1.2 para compensar cualquier incremento adicional en la presión de llenado del molde.

$$1.2 P_i = \frac{F}{AP}$$

#### Donde:

P<sub>i</sub>: Presión de inyección  
 F: Fuerza de cierre del molde  
 AP: Área proyectada del molde

Sustituyéndose estos datos en la ecuación se tiene una fuerza de: 19,638 N (2.0 Ton)

#### 4.5 Análisis de fuerzas y deflexión

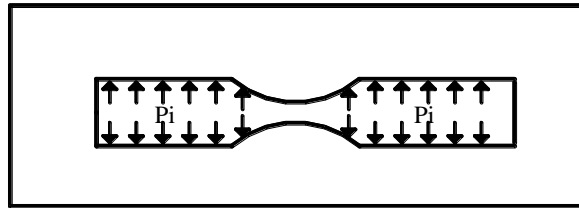
Para el análisis de fuerzas remítase a la sección 3.1.2 donde se determino que el área mínima del molde de inyección para condiciones críticas es una área cuadrada de 100 mm por lado.

Cuando el material inyectado entra a la cavidad del molde este es sometido a un esfuerzo de flexión por la presión de inyección. Por lo que se hace necesario calcular esta deflexión para verificar que esta no sea tal que sobrepase las tolerancias de la pieza, para nuestro caso según la norma la tolerancia es de  $\pm 0.1$  mm por lo que es de esperar que la deflexión sea mucho menor que este valor.

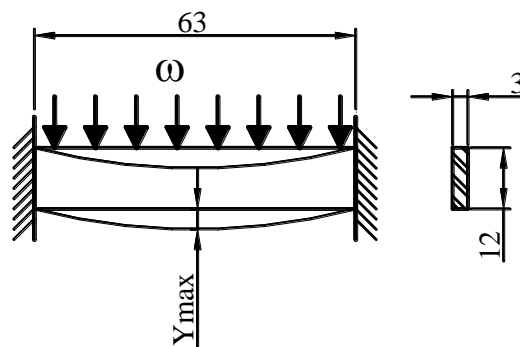
Para el cálculo de la deflexión se hacen las siguientes asunciones:

- La presión de inyección que actúa sobre las paredes de la cavidad, puede ser convertida a una carga uniformemente distribuida a lo largo de la cavidad **figura 4.2**.
- Se asume una sección uniforme rectangular debido a que esta presenta una mayor deflexión que la configuración de la probeta, simplificando el análisis.

- Doble empotramiento **figura 4.3.**



**Figura 4.2** Cavidad sometida a la presión de inyección



**Figura 4.3** Representación de cargas y deflexiones del molde

Del **anexo 3 figura d** se tiene

$$Y_{\max} = \frac{\omega L^4}{384EI}$$

Donde:

$Y_{\max}$ : Deflexión (metros)

$\omega$ : Carga distribuida (N/m)

L: Longitud de empotramiento (63 mm)

E: Módulo de elasticidad (207 GPa)

I: Momento de inercia (m<sup>4</sup>)

El valor de la carga distribuida se calcula multiplicando la presión de inyección por el área proyectada de la probeta que esta sometida a flexión y dividiéndola entre la longitud de empotramiento de donde se determina que  $\omega = 62,910$  N/m.

Sustituyendo estos valores en la ecuación de deflexión,  $Y_{\max} = 0.002$  mm la cual es mucho menor que la tolerancia de la pieza, por lo que se determina que las dimensiones del molde son correctas.

#### 4.6 Cálculo del tiempo de solidificación

Obtener la temperatura de inyección promedio de la **tabla 5.1**(235 °C), y considerando una temperatura de trabajo del molde de 50 °C y desmontar la pieza cuando la temperatura en el centro de la pared de mayor espesor es de 70 °C, sustituir valores en la siguiente fórmula empírica:

$$\bar{T} = \frac{\theta_M - \theta_w}{\theta_E - \theta_w}$$

Donde:

$\theta_M$ : Temperatura promedio de inyección (235 °C)

$\theta_w$ : Temperatura de pared del molde (50 °C)

$\theta_E = 70$  °C Temperatura media de desmolde

$\bar{T}$ : variable solidificación en el centro de la pared

Con el valor de  $\bar{T} = 9.35$ , espesor máximo de pared (3 mm) y conductividad térmica del molde ( $7.6 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/s), haciendo uso del nomograma del anexo 9, se determina un tiempo de solidificación en el centro de la superficie igual a 30 segundos.

## **5. Manuales de la máquina**

### **5.1 Manual del usuario**

#### **Contenido**

1. Descripción de la Máquina de Inyección.
2. Normas de Seguridad.
3. Esquema general de elementos de unidades de Cierre, Inyección, control, dosificación, térmico, temporizador y protección.
4. Verificación general de la máquina.
5. Calibración y verificación del sistema hidráulico de cierre.
6. Calibración y verificación del sistema hidráulico de inyección.
7. Calibración y verificación del sistema de dosificación.
8. Calibración y verificación del sistema térmico.
9. Calibración y verificación del sistema temporizador.
10. Montaje del molde.
11. Verificación del ciclo de trabajo en vacío.

12. Ciclo de trabajo.
13. Apagado general del sistema.
14. Circunstancias que influyen en el trabajo
15. Rutina de mantenimiento

### **1- Descripción de la máquina de inyección**

Es una máquina de inyección de termoplásticos con una capacidad máxima de inyección de 40 gramos, fuerza de cierre de 13 toneladas, presión de inyección de 4,000 PSI.

El sistema hidráulico de cierre es operado de forma mecánica.

Para la inyección se posee la alternativa de hacerlo de forma manual o automática por medio de una electroválvula.

Tiene la capacidad de fabricar piezas hasta de 40 gramos, el sistema de dosificación permite ingresar al cilindro de plastificación la misma cantidad de material que fue inyectada, el sistema térmico posee un regulador de temperatura analógico capaz de mantener una temperatura constante en el cilindro plastificación entre 30 y 400 °C durante el ciclo de operación.

Tiene una disposición física adecuada para la manipulación y operación segura de la misma. Trabaja por medio de energía trifásica tetrafilar.

### **2- Normas de seguridad.**

- Leer y comprender todo el manual de usuario antes de iniciar cualquier operación.
- No tocar elementos térmicos o los que se encuentran en contacto con los mismos, sin las debidas precauciones.
- No colocar las manos u objetos entre las placas y elementos móviles.

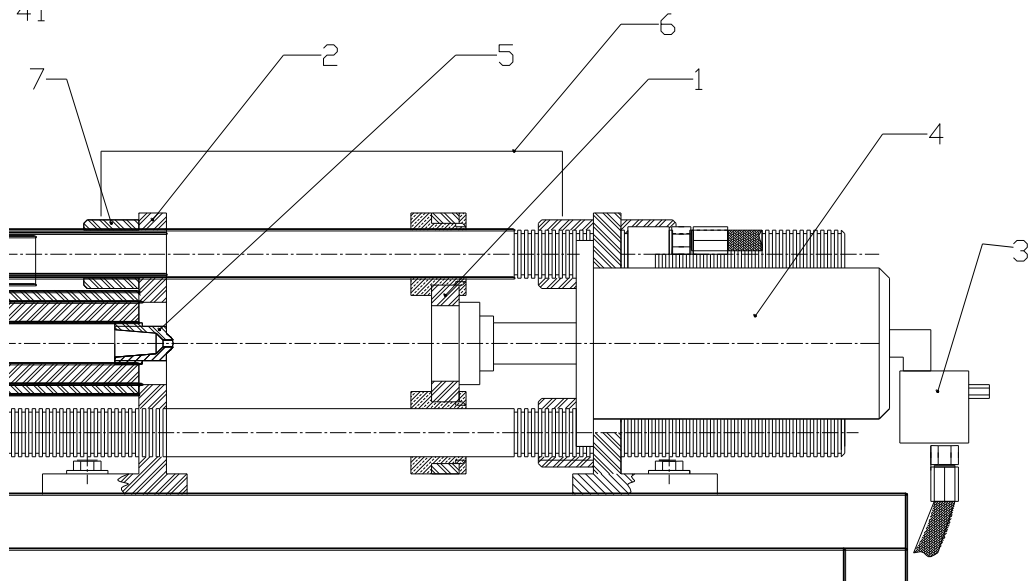
- No acercar elementos corto punzantes a mangueras, tuberías del sistema eléctrico.
- No golpear los elementos hidráulicos.
- No derramar sustancias corrosivas o inflamables.
- No calibrar o ajustar ningún elemento mecánico o eléctrico cuando estén operando o estén energizados.
- Verificar la limpieza del área de trabajo.

### **3- Esquema general de elementos de unidades de Cierre, Inyección, control y dosificación.**

#### **4- Verificación general de la máquina**

- Verificar que la toma de energía eléctrica este conectada a la red eléctrica.
- Revisar que las protecciones estén en buenas condiciones y activadas
- Activar el botón de paro general antes de conectar la toma a la red
- Antes de desactivar el botón de paro general, verificar que todos los elementos eléctricos estén en paro o reposo
- Hacer una inspección visual de las buenas condiciones del cableado del sistema eléctrico
- Hacer una inspección visual de las buenas condiciones de las mangueras y cilindros hidráulicos
- Verificar que las palancas estén en su posición de reposo
- Antes de cargar el sistema de materia prima verificar que la placa de cierre de la tolva este cerrada.
- Verificar que el sistema de enfriamiento este en buenas condiciones y conectado

#### **5- Calibración y verificación de la unidad de cierre.**



- Obtener la presión manométrica a la que se calibrará el cilindro de cierre con la presión de inyección(guía de laboratorio) y la siguiente ecuación:

$$P_{mc} = 201.41T$$

**Donde:**

201.41: Constante de conversión de toneladas a libras del área del cilindro de cierre más un factor de corrección por pérdidas.

$P_{mc}$ : Presión manométrica del cilindro de cierre (Psi)

T: fuerza de cierre requerida en toneladas

Aproximar el valor de la presión al inmediato superior múltiplo de 50

Ejemplo: Si  $P_{mc} = 320 \text{ Psi} \cong 350 \text{ Psi}$

- Abrir completamente la válvula de derivación del cilindro de cierre (40)
- Arrancar la bomba hidráulica “ON” (11)
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición “Cierre”.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre (30) hasta la posición “X”, en estas condiciones el cilindro de cierre quedará extendido.

- Cerrar lentamente la válvula de derivación (40) hasta que el manómetro de cierre (39) indique la presión manométrica de cierre calculada ( $P_{mc}$ )
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre (30) hasta la posición “Y”, en estas condiciones el cilindro de cierre quedará retraído.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre (30) hasta la posición de reposo(de centro), en estas condiciones el cilindro de cierre (4) quedará retraído e inactivo.
- Apagar la bomba hidráulica “OFF” (11)

#### **6- Calibración y verificación del sistema hidráulico de inyección.**

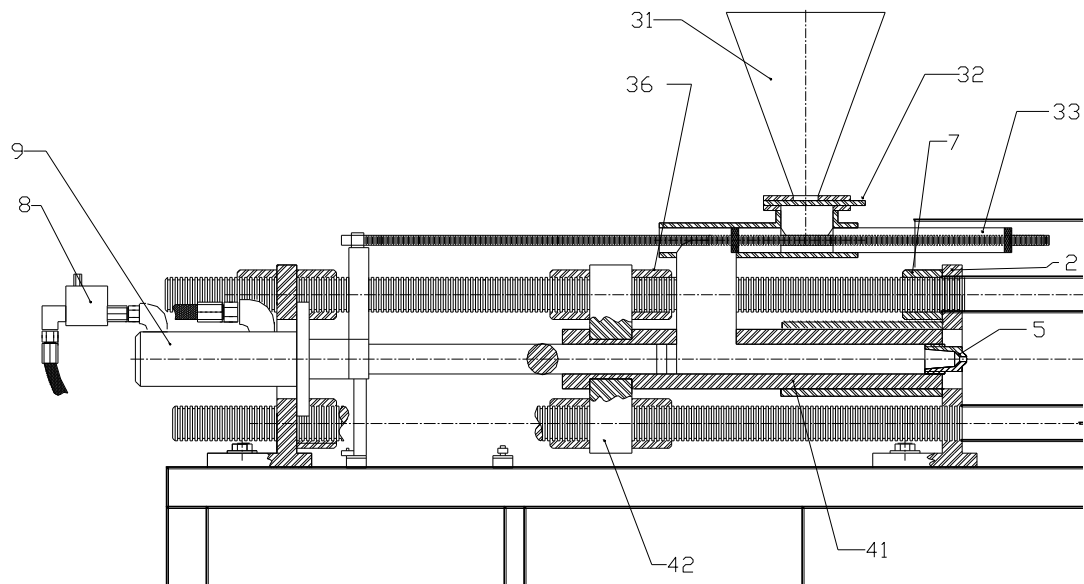
- Obtener la presión manométrica a la que se calibrara el cilindro de inyección con la presión de inyección(guía de laboratorio) y la siguiente ecuación:

$$P_{mi} = 0.21P_i$$

Donde:

$P_{mi}$  = Presión manométrica de inyección

$P_i$  = Presión de inyección en el cilindro de plastificación

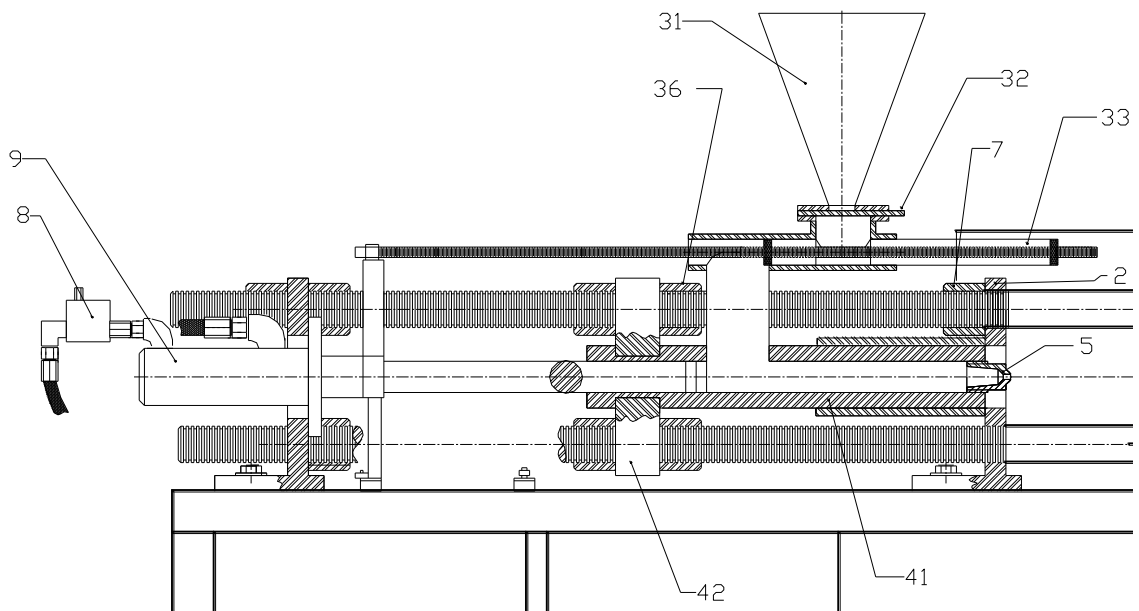


- Arrancar la bomba hidráulica “ON” (11)
- Abrir completamente la válvula de derivación de inyección (38)
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición “Inyección”.
- Cerrar lentamente la válvula de derivación (38) hasta que el manómetro de inyección (37) indique la presión manométrica de inyección ( $P_{mi}$ ) calculada.
- Asegurarse que la cubierta de acrílico este abierta
- Extender el cilindro de inyección a través del pulsador (17)
- Retraer el cilindro de inyección a través del pulsador (18)
- Observar que los desplazamientos se den adecuadamente
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición de reposo.
- Apagar la bomba hidráulica “OFF” (11)

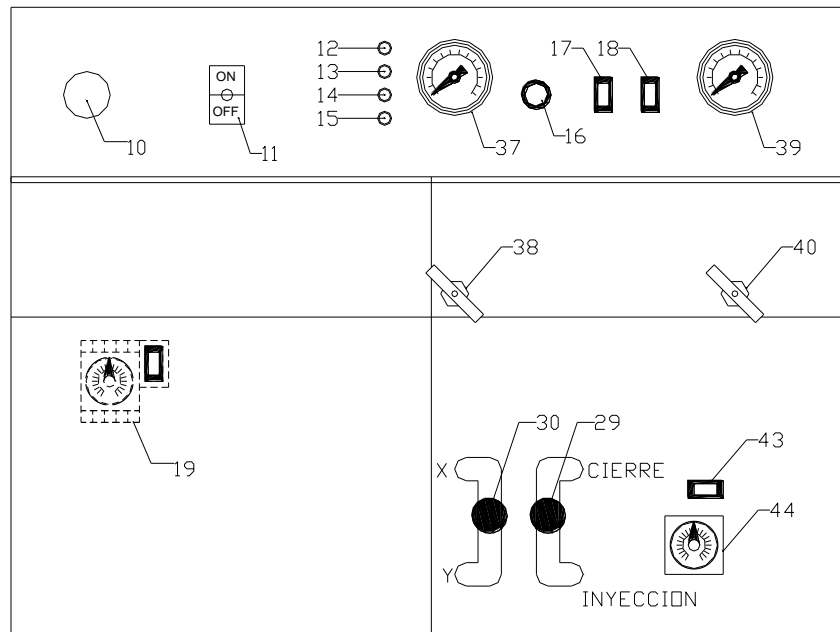
#### 7- Calibración y verificación del sistema de dosificación.

- Obtener el peso de la pieza a producir (gr) ver **sección 4.2**

- Cerrar la placa de cierre de la tolva(32)
- Girar el vástago de regulación (33), hasta cerrar completamente la cámara de dosificación
- Para calibrar el dosificador usar la siguiente relación 1vuelta del vástago de regulación(33) es igual a 0.5 gr.
- Asegurar el vástago de regulación (33) con la tuerca de fijación (34).



## 8- Calibración y verificación del sistema térmico.

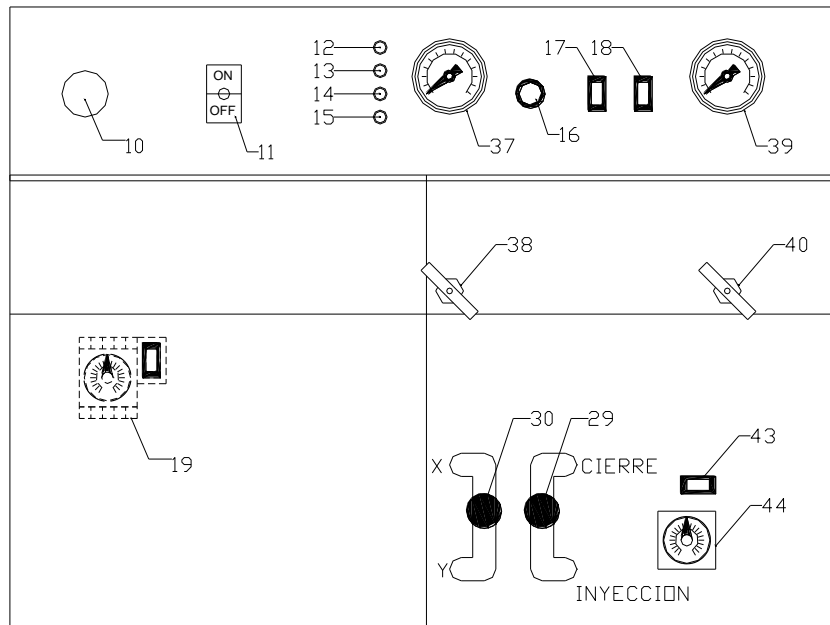


Obtener la temperatura promedio de plastificación de la materia prima a utilizar a través del siguiente tabla

**Tabla 5.1,** Temperaturas de trabajo para diferentes termoplásticos

Termoplástico	Temperatura Promedio (°C)	Rango de variación (°C)
Acetato de celulosa	220	± 10
PEBD	195	± 15
PEAD	235	± 15
Polipropileno	255	± 15
Polipropileno con fibra de asbesto	255	± 15
ABS - Copolimero	255	± 15
Poliestireno Impacto	195	± 15
Acrilo Nitrilo Estireno	215	± 15
Poliamida 66 (Nylon 66)	270	± 10
Poliamida 6 (Nylon 6)	240	± 10
Poliamida 610	240	± 10

- Girar la perilla del regulador de temperatura (44) hasta la temperatura de trabajo obtenida de la **tabla 5.1**
  - Conectar al sistema de distribución de agua potable la toma hembra del enfriador, y colocar al drenaje la descarga del enfriador.
- 9- Calibración y verificación del sistema temporizador.**

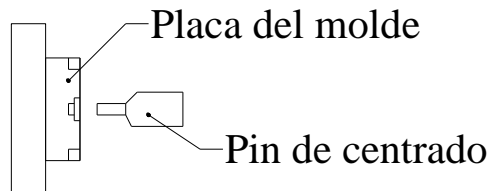


- Asegurarse que el valor tiempo calibrado sea 5 segundos, de lo contrario calibrar el temporizador(19), girando siempre la perilla en sentido de las agujas del reloj.

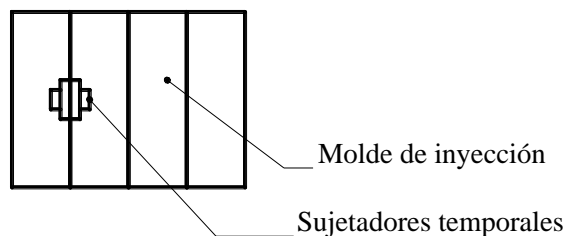
## 10- Montaje del molde

- Asegurarse que el cilindro de cierre (4) este retraído
- Adelantar el cilindro de plastificación(41) girando las tuercas de fijación (36) del soporte del cilindro de plastificación(42), hasta que la cara del cilindro quede en el mismo plano con la placa de cierre B(2)
- Instalar la boquilla de inyección(5)
- Retrasar el cilindro de plastificación(41) girando las tuercas de fijación (36) del soporte del cilindro de plastificación(42), hasta que la boquilla quede en el mismo plano con la placa de cierre B (2)
- Montar, centrar y fijar la placa 1 del molde sobre la placa de cierre B(2), por medio de las grapas rectas en las esquinas del molde.

- Asegurarse que la boquilla(5) este alineada sobre la placa 1 del molde, verificando con el pin de centrado, introduciéndolo desde la placa 1 del molde e ingresando a la boquilla sin ninguna dificultad



- Presionar la boquilla(5) sobre el bebedero de la placa 1 del molde girando las tuercas(36)
- Montar y unir la placa móvil del molde manualmente a través de los sujetadores temporales, sobre la placa 1 del molde



- Arrancar la bomba hidráulica presionando el pulsador “ON”(11)
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición “Cierre”.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre (30) hasta la posición “X”, en estas condiciones la placa móvil (1) comenzará a unirse con la placa móvil del molde, cuando se unan llevar la misma palanca hasta la posición de reposo.
- Sujetar la placa móvil del molde a la placa móvil (1), por medio de las grapas rectas en la placa móvil.
- **Soltar los sujetadores temporales del molde**

- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre(30) hasta la posición “Y”, en estas condiciones la placa 1 del molde comenzará a separarse de la placa móvil del molde
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre(30) hasta la posición “X”, en estas condiciones la placa móvil del molde comenzará a unirse con la placa 1 del molde
- Cuando ya estén unidas asegurarse de que exista un correcto contacto entre las placas de lo contrario repetir el mismo procedimiento anterior.
- Ajustar el brazo activador de los micro interruptores, para que cuando el molde sea cerrado estos sean activados

#### **11- Verificación del ciclo de trabajo en vacío.**

- Arrancar la bomba hidráulica presionando el pulsador “ON”(11)
- Activar el interruptor de encendido del temporizador (19)
- Cerrar la cubierta de seguridad y colocar el pasador de esta.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición “Cierre”.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre (30) hasta la posición “X”, en estas condiciones la placa móvil (1) comenzará a unirse la placa móvil del molde con la placa del molde 1, cuando se unan verificar que sea alcanzada la presión de cierre y llevar la misma palanca hasta la posición de reposo.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición “Inyección”.
- Pulsar el botón de inyección automática (16)
- Verificar que la extensión se mantenga activada durante 5 segundos y luego se retraiga el émbolo de inyección.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición “Cierre”.

- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre (30) hasta la posición “Y”, en estas condiciones el cilindro de cierre quedará retraído y abierto el molde.
- Abrir la cubierta de seguridad
- Apagar la bomba hidráulica “ON” (11)

## **12. Ejecutar ciclo de trabajo.**

- Activar el interruptor de encendido de la resistencia (43) y abrir la válvula del sistema de agua potable para hacer que esta circule a través del enfriador
- Esperar 12 minutos para que se plastifique el material termoplástico que se encuentra en la cámara de inyección.
- Abrir la placa de cierre de la tolva (32)
- Arrancar la bomba hidráulica “ON” (11)
- Cargar el cilindro de plastificación con material inyectando de forma manual utilizando el botón de extensión del cilindro de inyección (17) para introducir material y para retrocederlo utilizar el botón de retracción del cilindro de inyección (18), realizar el proceso dos veces.
- Mover la cubierta de seguridad (6) y colocarle el pasador
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición de “cierre”.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de la unidad de cierre de molde(30) hasta la posición de “x” y observar que el manómetro de cierre alcance la presión calibrada.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de cierre de molde (30) hasta la posición de reposo
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición de “Inyección”.
- Pulsar el botón de inyección automático (16)

- Cuando se ha retraído el pistón de inyección mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición de “reposo” y esperar el tiempo de solidificación calculado
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición de “cierre”.
- Mover la palanca de la válvula mecánica de la unidad de cierre de molde(30) hasta la posición de “y”
- Mover la palanca de la válvula mecánica de la unidad de cierre de molde(30) hasta la posición de “reposo”
- Mover la palanca de la válvula mecánica de selección (29) hasta la posición de “reposo”
- Retirar el pasador y mover la cubierta de seguridad (6)
- Retirar utilizando pinzas la pieza inyectada
- Para inyectar otra pieza repetir el procedimiento descrito anteriormente

### **13. Apagado general del sistema**

- Desactivar el interruptor de encendido de la resistencia (43)
- Cerrar la placa de cierre de la tolva (32)
- Inyectar mas piezas hasta purgar el sistema y observar que ya no se llena el molde
- Cerrar la válvula del sistema de agua potable
- Apagar la bomba hidráulica “OFF” (11)
- Desactivar el interruptor de encendido del temporizador (19)
- Activar el interruptor de paro de emergencia (10)
- Apagar la protección del sistema eléctrico de mando (27)
- Cerrar el dosificador a través de vástago de regulación (33)
- Aceitar la placa 1 y 2 del molde

- Desconectar al sistema de distribución de agua potable la toma hembra del enfriador, y retirar del drenaje la descarga del enfriador, enrollarlo y guardarlo.
- Desconectar del sistema de energía eléctrica trifásica trifilar y enrollar y guardar el cable.
- Limpiar la máquina y tapar la tolva con una capa plástica.

#### **14. Defectos y posibles causas en las piezas inyectadas**

##### **El molde no se llena por completo**

- La presión de inyección es muy baja.
- Dosificación insuficiente.
- Temperatura muy baja del sistema de plastificación.
- Molde muy frío.
- Tiempo de compresión muy corto.
- Orificio de la boquilla muy pequeño.

##### **Las piezas presentan rechupes**

- Las piezas de inyección muy baja.
- Tiempo de compresión muy corto.
- Sección insuficiente del sistema de llenado.
- Temperatura de elaboración muy alta.
- Molde muy caliente.

##### **Las piezas tienen burbujas**

- Temperatura de elaboración muy alta.
- Molde muy frío.
- Tiempo de compresión muy corto.
- Presión de inyección muy baja.

- Sección insuficiente de los canales de llenado.

### **Las piezas son escamosas y se exfolian**

- Temperatura muy alta en el sistema de plastificación.
- Ciclo de trabajo muy largo.
- Presión de inyección muy baja.
- Molde muy frío.
- El aire de las cavidades no escapa con suficiente rapidez.
- Material contaminado con masa de otra inyección.
- Material húmedo.
- La superficie de los expulsadores tiene aceite o grasa.
- Excesiva cantidad de aceite de desmoldeo.

### **Poca resistencia en las zonas de unión de flujo**

- Temperatura de elaboración muy baja.
- Punto de corte en lugar desfavorable.
- Presión de inyección muy baja.
- Molde muy frío.
- El aire del molde no puede escapar.

### **Las líneas del flujo quedan muy marcadas**

- Temperatura de elaboración insuficiente.
- Molde muy frío.
- Presión de inyección muy baja.
- Material húmedo.
- Excesivo desmoldeante.

### Las piezas son frágiles y se rompen

- Temperatura de elaboración insuficiente.
- Material impurificado.
- Porcentaje de regenerado incorporado muy alto.
- El molde no tiene la temperatura necesaria.
- Excesiva duración de la compresión.

### La coloración de las piezas obtenidas con material teñido en seco no es uniforme

- Excesiva sección de corte de los canales.
- La boquilla mezcladora empleada no es apropiada.
- La adhesión del pigmento es insuficiente (colorante muy viejo; se recomienda
- Usar un dispersante apropiado.
- Los colorantes usados no son estables a la temperatura.

### 15. Rutina de mantenimiento

Actividad \ Período	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Chequear el nivel de aceite en el tanque	X			
Inspeccionar que no existan fugas de aceite en el sistema hidráulico	X			
Chequear los finales de carrera, que estén ajustados correctamente	X			
Revisar el buen estado de todas las mangueras (rotas, desgastadas, aplastadas, quebradas)	X			
Revisar y calibrar la presión de la válvula de seguridad (2000 Psi)		X		
Aceitar los ejes guías		X		
Apretar todas las tuercas de fijación de los ejes guías			X	
Inspeccionar que no existan fugas de aceite en los cilindros				X
Cambio del aceite hidráulico				X
Limpie o reemplace el filtro de aceite de retorno en el tanque				X

<b>Actividad</b>	<b>Período</b>			
	<b>Diario</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>Semestral</b>
Calibrar la termopcupla del sistema de calentamiento				X
Inspeccionar los bushing de la placa móvil				X
Chequear el apriete de todos los pernos de la máquina				X
Remover cubiertas laterales para verificar que no existan fugas internas				X
Revisión general del motor eléctrico				X
Revisión del sistema de cableado eléctrico de toda la máquina				X

## 6 Guía de laboratorio

La presente guía desarrolla los pasos a seguir para realizar el proceso de inyección de una probeta para ensayos de tracción norma ISO 294-2:1996 (barras pequeñas para tracción)

### Objetivos de la guía de laboratorio

#### Objetivo general:

Realizar la inyección de una pieza de material termoplástico para conocer los procedimientos y determinar los parámetros que intervienen en el proceso de inyección de una pieza.

#### Objetivos específicos:

- Que el estudiante conozca sobre el proceso de inyección de termoplásticos a través de la utilización de la máquina de inyección.

- Que el estudiante sea capaz de determinar los parámetros fundamentales del proceso de inyección como los son: material de trabajo, temperatura de inyección, presión de inyección, fuerza de cierre, volumen a inyectar, tiempo de solidificación.
- Que el estudiante pueda regular la máquina de acuerdo a los parámetros de inyección determinados.

### 6.1 Desarrollo de la práctica

1. Leer detenidamente el manual de usuario capítulo 5, para comprender y conocer cada uno de los elementos de la máquina, normas de seguridad, procedimientos de calibración, encendido, funcionamiento y apagado de esta.
2. Determine de la pieza a moldear los siguientes parámetros:
  - Volumen de la pieza: este incluye el volumen de la pieza misma, de los canales de alimentación y el bebedero. Determinar su peso para compararlo con la capacidad máxima de inyección (40 gr) es decir el peso de la pieza debe ser menor que 40 gr, **sección 4.2**
  - Área proyectada: Calcular el área proyectada de la pieza, los canales de alimentación sobre la superficie de la placa móvil **sección 4.2**
  - Calcule la máxima distancia recorrida por el material termoplástico fundido de acuerdo con la **sección 4.2**
  - Con el material a inyectar, la distancia recorrida y el espesor de pared mínimo determinar la presión de inyección necesaria **sección 4.3 y figura 3.1**
  - Con la presión de inyección necesaria calcular la fuerza de cierre requerida, esta fuerza debe ser menor que 13 toneladas por ser la capacidad máxima de cierre de la máquina **sección 4.4**.

- Con los datos anteriores se determina si la máquina posee la capacidad de realizar la inyección y luego se procede a la calibración de esta.
3. Calibración de la máquina: para la calibración de la máquina refiérase a la **sección 5.1 numerales 5 al 9**
  4. Montaje del molde: para la realización del montaje del molde remítase a la **sección 5.1 numeral 10**
  5. Realizar la inyección de acuerdo a la **sección 5.1 numeral 12** y tabular los siguientes datos:

**Tabla 6.1** Parámetros del proceso de inyección

Material termoplástico	
Peso inyectado (gr)	
Presión de inyección (Psi)	
Presión manométrica de inyección (Psi)	
Fuerza de cierre (Toneladas)	
Presión manométrica de cierre (Psi)	
Temperatura de inyección (°C)	
Tiempo de solidificación (s)	
Cantidad de piezas inyectadas	

## **Conclusiones**

- En la industria nacional los procesos de moldeo mas utilizados son la inyección, extrusión y soplado. Utilizando principalmente como materia prima en estos procesos polietileno, poliestireno y polipropileno.
- La máquina de inyección diseñada y construida se convertirá en una herramienta para el desarrollo de investigaciones en el área de los plásticos.
- La calidad de una pieza inyectada depende de la materia prima, el molde y la máquina. Al referirnos a la máquina es el control de los parámetros de temperatura de plastificación, tiempo de solidificación, presión de inyección y fuerza de cierre que son parámetros regulables en la máquina construida.

## **Recomendaciones**

- Incorporar elementos que permitan la realización de ciclos semiautomáticos o automáticos.
- Instalar un sistema de refrigeración en el molde.
- Diseñar y construir un molino para material plástico.

## **Bibliografía**

- **PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK** de la “Society of the Plastics Industry, Inc.”
- **Carl A. Keyser**  
CIENCIA DE LOS MATERIALES PARA INGENIERÍA  
Editorial Limusa, 1<sup>ra</sup> edición 1972, 3<sup>ra</sup> reimpresión 1988, México.
- **Lawrence H. Van Vlack**  
TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES  
Fondo Educativo Interamericano, 1<sup>ra</sup> edición 1984, México.
- **B.H. Amstead, Ph.F. Ostwald, M.L. Begeman**  
PROCESOS DE MANUFACTURA VERSIÓN SI  
Editorial CECSA, 1<sup>ra</sup> edición 1981, 10<sup>0</sup> reimpresión 1995, México.
- **Leo Alting**  
PROCESOS PARA INGENIERÍA DE MANUFACTURA  
Editorial Alfaomega, 3<sup>ra</sup> edición 1990, México.
- **Arturo Horta Subyaga**  
LOS PLÁSTICOS MÁS USADOS  
Dpto. Ciencias y Técnicas Fisicoquímicas, UNED 1996, España

- **Donald R. Askeland**

LA CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

Grupo Editorial Iberoamericana, 1<sup>ra</sup> edición 1987, México

- **O. Laguna Castellanos, R. Arganza Mateos**

MANUAL DE MOLDES PARA INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

Editorial HÉROES S.A., 1<sup>ra</sup> edición, España 1978

- **Gianni Bodini, Franco Cacchi Pesan**

MOLDES Y MÁQUINAS DE INYECCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN DE  
PLÁSTICOS. (Tomo I y II)

Editorial Mc Graw Hill, 2<sup>da</sup> edición, México, 1993

- **Sasso John**

PLASTIC OF INDUSTRIAL USE

Editorial Mc Graw, 1<sup>ra</sup> edición, 5<sup>ta</sup> reimpresión, USA, 1942

- **Schneider**

CONDUCCIÓN DE CALOR

Editorial Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 2<sup>da</sup> edición, USA, 1957

- **B.V. Karlekar, R.M. Desmond**  
TRANSFERENCIA DE CALOR  
Editorial Interamericana, 2<sup>da</sup> edición, México, 1985
- **Krar Oswald, St Amand**  
OPERACIÓN DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS  
Editorial Mc Graw Hill, 1<sup>ra</sup> edición en español, México, 1985
- **Joseph Edward Shigley**  
DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Editorial Mc Graw Hill, 4<sup>ta</sup> edición, México, 1988
- **G. Menges / G. Mohren**  
EL PLÁSTICO EN LA INDUSTRIA, Tratado Práctico  
Ediciones G. Gili SA De CV, 1<sup>ra</sup> edición 1990, México
- **SIEMENS**  
APARATOS Y SISTEMAS  
Catalogo 1997
- **ENERPAC**  
POTENCIA HIDRÁULICA PARA TODAS LAS APLICACIONES INDUSTRIALES  
Catalogo 1999.

## Glosario

**Acero aleado.** Acero con grandes cantidades de elementos de aleación (distintos al carbono y de las cantidades comúnmente aceptadas de magnesio silicio, azufre y fósforo), agregado para efectuar cambios en las propiedades mecánicas y físicas

**Acetato de polivinilo.** Una resina preparada por la polimerización de acetato de vinilo soló.

**Alesar.** operación de torneado, de trabajar superficies internas de una pieza.

**Carga o relleno.** Un material relativamente inerte que se añade a un plástico o aun adhesivo para modificar su resistencia y otras propiedades de trabajo o para bajar el costo de los artículos.

**Catalizador.** Una sustancia que se añade en pequeñas porciones para acelerar una reacción química.

**Cloruro de polivinilo.** Una resina preparada por la polimerización de cloruro de vinilo.

**Coefficiente de viscosidad.** El esfuerzo de corte necesario para provocar un gradiente de flujo con la unidad de velocidad de un material

**Condensación.** Una reacción química en la que dos o más moléculas se combinan, con separación de agua o de alguna otra sustancia sencilla. Si se forma algún polímero se llama proceso de poli condensación.

**Copolímero.** polímero por adición producido al unir más de un tipo de monómero.

**Curado.** Conversión a un estado duro definitivo, a través de una acción química o física, tales como condensación, polimerización, oxidación, vulcanización, gelificación, hidratación o evaporación de constituyentes volátiles.

**Degradación.** Un cambio perjudicial en la estructura química de un plástico.

**Ductilidad.** Es la propiedad de un material para deformarse o doblarse permanentemente sin romperse.

**Fatiga.** Situación de esfuerzos a la cual puede estar sometida una pieza, en el cual el esfuerzo fluctúa de una manera cíclica.

**Fuerza de cierre.** Fuerza generada por el pistón hidráulico, que mantendrá cerrado el molde

**Hoja de proceso.** Hoja que describe el procedimiento de fabricación de una pieza de trabajo y presenta parámetros de fabricación, herramientas a utilizar, etc.

**Mero.** Molécula a partir de la cual un polímero es producido después de que se rompe el doble enlace covalente.

**Monómero.** Un compuesto químico relativamente sencillo que puede reaccionar para formar polímeros.

**Piloto.** Elemento que genera una luz e indica una acción

**Plastificante.** Material incorporado a un plástico o aun adhesivo para mejorar su manejo y su flexibilidad.

La adición de plastificante puede disminuir la viscosidad del material fundido, la temperatura de transición vítrea, o el módulo de elasticidad del material plástico.

**Polietileno.** Un material termoplástico o resina preparada por la polimerización de etileno, que es fundamentalmente el único monómero.

**Polipropileno:** Un plástico o resina preparada por la polimerización de propileno que es fundamentalmente el único monómero.

**Resina.** Un material sólido, semisólido o, de naturaleza orgánica, que tiene un peso molecular indefinido y frecuentemente elevado, y exhibe una tendencia a fluir cuando se somete a esfuerzo, usualmente tiene una zona de temperatura de ablandamiento o fusión.

**Temperatura de transición vítrea.** La temperatura o zonas de temperatura en la que tiene lugar la transición vítrea. El valor que se obtiene para esta temperatura depende de los detalles del método de medida.

**Temporizador.** Elemento electromecánico que retarda la acción de abrir o cerrar circuitos.

**Tenacidad.** Es la propiedad de un material para soportar cargas de impacto.

**Termofragantes.** Sinónimo de termofijo y termoestables.

**Termopar.** Dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica.

**Transición vítrea.** El cambio en un polímero amorfo o en las regiones amorfas de un polímero parcialmente cristalino desde un estado viscoso análogo al caucho hacia un estado duro y relativamente quebradizo.

**Tratamiento térmico.** Una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicados a un metal o aleación en estado sólido en forma tal que producirá las propiedades deseadas.