

300617



**UNIVERSIDAD LA SALLE, A. C.**  
**ESCUELA DE INGENIERIA**  
**INCORPORADA A LA U.N.A.M.**



**DISEÑO DE UN MOLDE PARA INYECCION  
DE POLIPROPILENO PARA UNA TAPA  
PILON 28"**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
ING. MECANICO ELECTRICISTA  
**P R E S E N T A N :**  
**ATANASIO GONZALEZ MARTINEZ**  
**RAMON PALLARES FRAGOSO**  
DIRECTOR DE TESIS:  
ING. JORGE SALCEDO GONZALEZ

MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

	Pág.
* <b>Introducción</b>	1
* <b>Generalidades</b>	4
* <b>Capítulo No. 1</b>	
<b>Panorama General de los Plásticos</b>	8
1.1. Generalidades	8
1.2. Clasificación	15
1.3. Propiedades y Comportamientos Generales	28
1.4. Procesos de Transformación	38
1.5. Panorama Comercial en México y en el Mundo	42
* <b>Capítulo No. 2</b>	
<b>Inyección de Plásticos</b>	52
2.1. El Proceso de Inyección y sus Consideraciones Técnicas	53
2.2. Prensas para la Inyección de Plásticos	72
* <b>Capítulo No. 3</b>	
<b>Aceros</b>	112
3.1. Generalidades	112
3.2. Clasificación del Acero	113
3.3. Influencia de los Elementos de Aleación de los Aceros	126

	Pág.
3.4. Templabilidad y Dureza del Acero	131
■ Capítulo No. 4	
Tratamientos Térmicos de los Aceros	144
4.1. Generalidades	144
4.2. Temple	147
4.3. Revenido	160
4.4. Recocido	167
4.5. Tratamientos Termoquímicos	170
4.6. Tratamientos Isotérmicos	190
■ Capítulo No. 5	
Teoría de Moldes	193
5.1. Características por el Tipo de Inyección	196
5.2. Características por el Tipo de Construcción	213
5.3. Características por el Tipo de Extracción	217
5.4. Características por el Sistema de Transmisión	221
■ Capítulo No. 6	
Diseño del Molde	223
- Selección No. de Cavidades	223
- Planos del Molde	257

	<b>Pág.</b>
<b>* Capítulo No. 7</b>	
<b>Análisis Económico</b>	<b>262</b>
- Listados de Costos	<b>262</b>
- TIR Molde 16 cavidades	<b>274</b>
- TIR Molde 24 cavidades	<b>277</b>
- TIR Molde 32 cavidades	<b>278</b>
<b>* Conclusiones</b>	<b>281</b>
<b>* Bibliografía</b>	<b>286</b>

## INTRODUCCION.

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal el diseñar un molde más funcional y más productivo de los que se tienen trabajando actualmente en plantas de inyección. Este molde es para producir una tapa comercial llamada PILON 28, la cual es utilizada para pasta dental (Crest y Colgate), en la modalidad de tubos de estaño grandes (125 ml), los volúmenes de producción requeridos son muy altos, por lo que se debe diseñar un molde que soporte la carga de trabajo, es decir que no haya que hacerle reparaciones constantes y costosas; y que tanto la cantidad como la calidad de su producción sean las mejores. En el capítulo 6 "Diseño del Molde" y en el capítulo 7 "Análisis Económico", se describe desde 2 puntos de vista muy diferentes, cómo se llegó a la conclusión de que el diseño del molde más adecuado a las necesidades es el presentado.

Para llegar a la conclusión anterior es necesario estar empapado en los temas de plásticos, procesos de transformación del plástico, moldes para inyección de plástico, materiales para su fabricación, etc, para esto nos auxiliamos de los primeros 5 capítulos de este trabajo, los cuales vienen presentados de la siguiente manera:

En el capítulo 1 "Generalidades de los plásticos", se explica que son los plásticos, sus diferentes procesos de obtención, su clasificación, sus diferentes propiedades y características, sus usos y aplicaciones más comunes. La idea de tratar este tema es para entender el comportamiento de los plásticos, bajo diferentes condiciones y circunstancias y poder así determinar la mejor forma de diseñar el molde.

En el capítulo 2 "Proceso de inyección de termoplásticos", se describen principalmente las variables en el proceso de inyección y su influencia en el resultado, también se habla del equipo necesario para su operación, al final se tienen tablas de los materiales más comunes donde se describen las condiciones óptimas para su operación.

En el capítulo 3 y en el capítulo 4, se tiene un cambio radical de tema, pero de extrema importancia para el diseño de molde, los temas tratados son aceros y sus tratamientos térmicos respectivamente; su clasificación, sus principales características, sus usos y aplicaciones, la influencia que ejercen los diferentes elementos de aleación, los materiales adecuados a cada tratamiento, etc, todo esto con el fin de poder seleccionar el acero adecuado con su tratamiento térmico adecuado para la fabricación de las diferentes piezas del molde, dependiendo cual vaya a ser su función.

Finalmente, en el capítulo 5 "Teoría de Moldes", se hace una explicación de los diferentes tipos de moldes de inyección de plásticos, sistemas de inyección, canales de distribución, diferentes sistemas de extracción de la pieza moldeada, en fin, aquí se hace una breve descripción de los moldes, para tener mayor conocimiento de ellos y ver lo interesante y complicado que puede ser la fabricación de un molde determinado.

## GENERALIDADES.

Los moldes para la industria del plástico son muy variados ya sea por construcción o por el proceso mediante el cual van a ser utilizados. Esto es, puede haber moldes para sople, inyección, inyección-sople, compresión, vaciado, etc. Todos estos moldes son construidos de diferente forma y con diferentes materiales. Los moldes de inyección como se explica más extensamente en el capítulo 5 tienen diferentes clasificaciones dependiendo de como sea la pieza a inyectar.

Para el diseño del molde se requiere no solamente conocimientos teóricos, sino mucha experiencia en el ramo para poder obtener los mejores resultados, tanto en el diseño como en la construcción del molde lo mas difícil son los detalles.

Al iniciar el diseño de algun molde, es muy importante tener el dibujo de producto, o en su defecto una muestra y con ella obtener el dibujo de producto; si no se tiene nada de lo anterior hay que diseñarlo y esto es lo más difícil y tardado del diseño. Una vez ya definida la pieza se procede a diseñar el molde que la va a producir, seleccionando sistema y tipo de inyección, tipo de molde, la extracción de la pieza, sistema de acondicionamiento de temperatura, ya

sea refrigeración o calefacción, selección de los diferentes aceros y sus tratamientos termicos. Hay que definir tambien 2 cosas muy importantes que son el material termoplástico que se va a utilizar para la inyección de la pieza, el cual se puede definir mediante costos, funcionamiento del molde o apariencia de la pieza y el número de cavidades que llevará el molde; esto depende de muchos factores como son: producción requerida, personal disponible, forma de hacer el molde, equipo disponible, y la máquina en la que va a trabajar el molde. Esto último es muy importante porque se necesita definir la sujeción del molde, la fuerza de cierre que tiene la máquina, la cantidad del material que puede inyectar, etc.

Para determinar si el molde trabaja adecuadamente en la máquina designada se hace un pequeño cálculo del area frontal proyectada, que es el area máxima perpendicular al eje de inyección.

$$F = P \times A \quad \text{por lo tanto} \quad P = \frac{F}{A}$$

Donde:

F = Fuerza de cierre requerida por el molde

P = Presión máxima permitida por el material plástico dentro del molde.

A = Area de la pieza x No. cavidades x Factor de colada ( 1.15 ).

Este pequeño cálculo no es lo único que determina si el molde cabe en la máquina, hay que analizar también la inyección, la extracción y si cabe el molde físicamente o no.

A continuación se muestra un algoritmo general para el diseño y construcción de los moldes de inyección:

#### INFORMACION BASICA

General: Numero de piezas a producir, costo estimado del molde, tiempo de entrega.

Producto: Geometría, dimensiones, tolerancias, material, propiedades, acabado superficial, etc.

Máquina: Capacidades de inyección y plastificación, fuerza de cierre, dimensiones, etc.

|

Determinación del número de cavidades del molde

|

Distribución de las cavidades en el area disponible

|

Determinación de la línea de partición del molde

|

Determinación de los insertos o postizos del molde

|

Selección del tipo de colada y canales de distribución

|  
**Selección del tipo de entrada de material al molde**

|  
**Colocación del sistema de acondicionamiento de temperatura**

|  
**Dimensionamiento de las placas del portamolde**

|  
**Selección y colocación del sistema de expulsión**

|  
**Colocación de los pernos y bujes guía del molde**

|  
**Localización del venteo en el molde**

|  
**Selección del sistema de sujeción del molde a las platinas  
de la máquina de inyección.**

CAPÍTULO No. 1 .- PANORAMA GENERAL DE LOS PLÁSTICOS

1.1 .- GENERALIDADES

Plástico es una palabra derivada del griego Plastikos que significa capaz de ser moldeado, por ello se designa con este nombre a las sustancias que se les puede transformar bajo la influencia de presión, temperatura o de ambos factores, y una vez transformados conservan la forma obtenida.

La mayor parte de los plásticos son productos de la química orgánica, debido a que son materiales cuyas moléculas están formadas por pequeñas unidades iguales o similares, que se repiten un gran número de veces, esto se debe principalmente a una capacidad que tiene el Carbono que es su componente principal, de unirse con cuatro elementos a la vez y consigo mismo ( Nitrógeno, Hidrógeno, Oxígeno, Azufre ) por lo que casi todos los plásticos son compuestos del carbono.

Otra característica importante de éstos materiales es que prácticamente todos ellos son obtenidos sintéticamente.

Estos compuestos presentan enlaces múltiples como etileno, propileno, butadieno, etc; éstos enlaces pueden ser químicos o físicos; los químicos son uniones muy fuertes que se rompen únicamente con reacciones químicas, mientras que

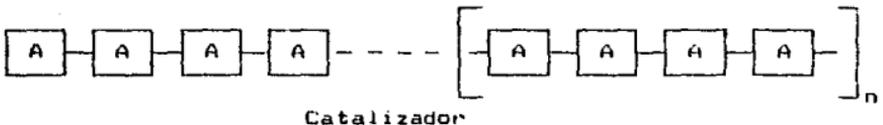
## Panorama General de los Plásticos

los físicos son uniones de carácter eléctrico mucho más sencillas de romper que los químicos.

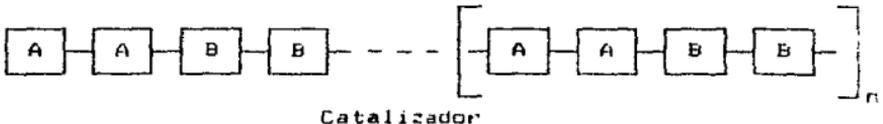
La palabra plástico es el nombre genérico por el cual se conoce a este material y corresponde químicamente a la familia de los polímeros; los cuales son compuestos orgánicos naturales o sintéticos que tienen una estructura muy grande y con un alto peso molecular, estos compuestos están constituidos por la unidad repetitiva llamada Monomero la cual es una molécula constituida básicamente de carbono siendo de estructura sencilla y bajo peso molecular.

Los polímeros pueden ser de dos tipos :

Homopolímeros : Son polímeros obtenidos de un monomero único con la ayuda de agentes iniciadores.



Copolímeros : Son polímeros obtenidos de dos o más monomeros de diferente tipo, mejorándose así las propiedades del polímero puro.



## Panorama General de los Plásticos

Donde A y B son monómeros diferentes donde su arreglo da el tipo de polímero.

### 1.1.1 .- OBTENCION DE LOS PLASTICOS

Los polímeros pueden ser de origen natural como las proteínas, el almidón, etc: o de origen sintético, fabricados por el hombre y se conocen como plásticos que son producidos predominantemente del petróleo y del gas natural, según ASTM ( American Society for Testing Materials ) " Son materiales que contienen esencialmente sustancias orgánicas de alto peso molecular que son sólidas en su estado final, pero son formadas por flujo de algún estado de su manufactura o durante el proceso de artículos terminados ". Los polímeros tienen propiedades que dependen de su tamaño, tipo de enlace que une a los monómeros, así como de los elementos químicos involucrados.

Existen dos métodos para la obtención de polímeros, los cuales se mencionarán a continuación :

Polimerización por Adición : El monómero contiene dobles enlaces que se rompen por medio de un iniciador. De éste modo la molécula se encuentra activada y se une a otras del mismo tipo, dando lugar a un polímero generalmente lineal. Los iniciadores en su mayoría radicales libres, son

moléculas que contienen electrones no apareados. Para obtener radicales libres se pueden tratar los compuestos adecuados por calor, luz ultravioleta, descarga eléctrica u otras sustancias llamadas promotores. En esta polimerización existen tres etapas de reacciones :

- A) Reacción de Iniciación .- Se forma el radical libre y se activan las moléculas del monómero.
- B) Reacción de Propagación .- Se efectúa la reacción entre monómeros activados y se produce la polimerización.
- C) Reacción de Terminación .- Los radicales libres se consumen, por lo que se detiene el proceso.

Para controlar el Peso Molecular dentro de los límites deseados se usan "Agentes de Transferencia ", los cuales regulan el crecimiento de la cadena sin afectar la velocidad de polimerización; también existen sustancias que retrasan el proceso, las cuales son los inhibidores que reaccionan con los radicales libres, para obtener la polimerización.

En este tipo de polimerización pueden combinarse monómeros del mismo tipo, los que dan lugar a las "Macromoléculas" con idénticas unidades de repetición, dando como resultado el ya mencionado Homopolímero. Si se combinan

## Panorama General de los Plásticos

diversos monómeros, el resultado es un Copolímero que puede tener diferente estructura. Cada tipo de polímero tiene características diferentes y por lo general buscan combinarse las mejores propiedades de distintos monómeros, para producir un copolímero con cualidades superiores a las de los homopolímeros correspondientes. Los principales polímeros que se producen por adición son:

CLORURO DE POLIVINILO (PVC)

POLIETILENO (PE)

POLIESTIRENO (PS)

POLIPROPILENO (PP)

Polimerización por Condensación : Los polímeros son producidos mediante reacciones químicas. Esta polimerización tiene lugar en presencia de un catalizador y/o por la acción del calor. En algunos casos además del polímero se obtiene de la reacción un producto secundario de bajo peso molecular, como agua, amoníaco, cloruro de sodio, ácido clorhídrico, etc; que es necesario separar de la mezcla final. En esta polimerización no existen las etapas de iniciación, propagación y terminación, y el crecimiento del polímero se lleva a cabo en forma desordenada. El tipo de polímero que se obtiene depende de la funcionalidad de las moléculas reactivas. Las moléculas monofuncionales o sea aquellas que tienen un solo grado funcional producen polímeros de bajo

peso molecular, de las moléculas bifuncionales se obtienen polímeros lineales, y de las polifuncionales se dan lugar a entrecruzamientos.

Los polímeros más importantes producidos por condensación son :

POLIAMIDAS (NYLON 6 , NYLON 6/6)

POLICARBONATO (PC)

ACETAL (POM).

#### 1.1.2 .- METODOS DE FABRICACION ACTUALES

En la actualidad existen cuatro métodos que se utilizan para la fabricación de los polímeros más importantes :

A) Método Directo : En éste método se hace reaccionar el monómero puro con aditivos y son mezclados en un reactor agitador, provisto de un sistema de calentamiento o enfriamiento, de ésta forma se producen polímeros de buena calidad y con las propiedades del polímero puro. Se recomiendan para reacciones por condensación, porque en éstas, el calor desprendido es bajo, y mientras que en las reacciones de adición la cantidad de calor es mayor y es difícil eliminarlo del reactor, por lo que se corre el riesgo de que se pierda el control sobre la reacción. Este método tiene aplicaciones económicas

## Panorama General de los Plásticos

cuando se requieren polimeros especiales de alta calidad. En éste método el polímero se obtiene en bloque y no en polvo o grano.

B) Método en Solución : En este método disminuye la velocidad de la reacción y así se controla mejor la temperatura, el monómero se diluye en un solvente con el catalizador y al no poderse recuperar el solvente, el procedimiento resulta costoso y únicamente se utiliza cuando no se desean materiales sólidos, sino soluciones, como recubrimientos y adhesivos líquidos. Se utiliza también un reactor con agitación y controlador de temperatura, su inconveniente es el manejo de solventes, por lo que se corre el riesgo de la toxicidad o inflamabilidad.

C) Método en Suspensión : En este método, el monómero y el iniciador se mezclan y se dispersan en agua, mediante un sistema de agitación que mantiene ésta suspensión a lo largo de la reacción, controlándose también de este modo la temperatura. Se pueden usar como auxiliares, agentes como el talco, gelatina, etc. Una vez terminada la reacción, se descarga el reactor y el polímero es separado, el producto final tiene la apariencia de pequeñas perlas.

D) Método de Emulsión : En este método, el monómero se emulsiona en agua o en algún otro líquido dispersante utilizando también agentes emulsificantes como el jabón que logran disminuir el tamaño de la partícula con lo que pueden obtenerse polímeros de mayor peso molecular.

## 1.2 .- CLASIFICACION

En la actualidad existen una gran variedad de plásticos y es debido a esto que su comportamiento y características son determinantes para su uso.

Los plásticos son clasificados por su estructura química ya que esta es la que determina las propiedades de cada plástico para un uso determinado.

De su estructura química se pueden obtener tres características o propiedades principales las cuales se describen a continuación :

A) Comportamiento al Calor : Generalmente los plásticos se agrupan en tres grandes clases, para así poder diferenciar sus características :

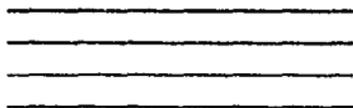
- Termoplásticos :

Estos materiales son aquellos que se reblandecen y fluyen por la aplicación de calor y presión,

por lo cual los termoplásticos pueden remodelarse varias veces con la aplicación de estas dos.

Los materiales Termoplásticos presentan una estructura lineal, la cual puede ser :

**NO RAMIFICADA**



**RAMIFICADA**

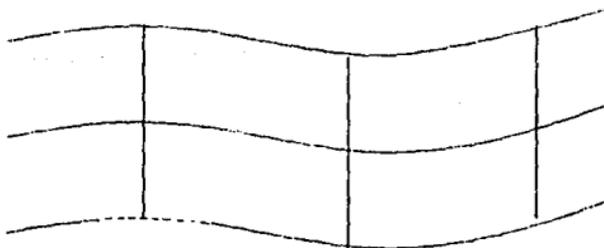


Debido a ésta estructura, los termoplásticos tienen uniones muy débiles y cuando se les aplica calor fluyen fácilmente.

- Termofijos :

Son aquellos materiales que no se reblandecen con la aplicación de calor cuando ya han sido transformados, muchos de los materiales que se usan actualmente se curan por la acción de catalizadores y no requieren la aplicación de calor, por lo tanto a diferencia de los termoplásticos, éstos materiales ya no pueden remodelarse porque el calor los destruye.

Los materiales Termofijos tienen uniones muy fuertes entre molécula y molécula y es ésta la razón por la cual no fluyen al aplicarles calor, presentando cadenas entrecruzadas.



## ESTRUCTURA DE LOS TERMOFIJOS

- Elastómeros :

Recientemente ha surgido un grupo de plásticos, los cuales por sus características un poco especiales fueron asignados en un nuevo grupo, llamados Elastómeros o Polímeros elásticos, y está constituido por la goma natural y todas las gomas sintéticas que se caracterizan por un alargamiento de ruptura muy elevado, del orden del 200 al 1000 %.

La propiedad elástica de la goma natural y sintética alcanza su valor máximo después de un tratamiento de vulcanización por medio de azufre, cambiando la estructura molecular de la goma.

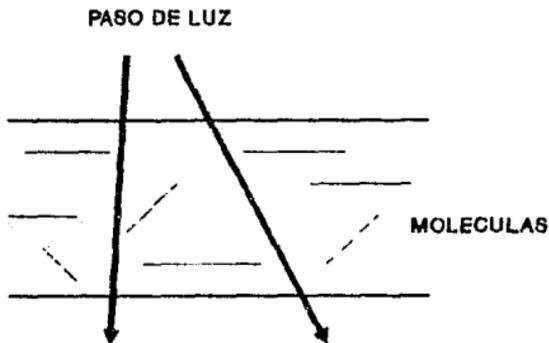
Dentro de éste grupo de elastómeros se han integrado últimamente algunas gomas termoplásticas que tienen la misma propiedad elástica de las gomas vulcanizadas, éstas no necesitan ser tratadas para poder alcanzar éstos valores de elasticidad y por ser termoplásticos pueden ser recicladas por medio de presión y temperatura.

B) Cristalinidad : Otra característica importante que influye en los plásticos, está determinada por el

acomodo de sus moléculas en las cadenas del polímero y con base a esto se clasifican en:

- Amorfos (Transparentes) :

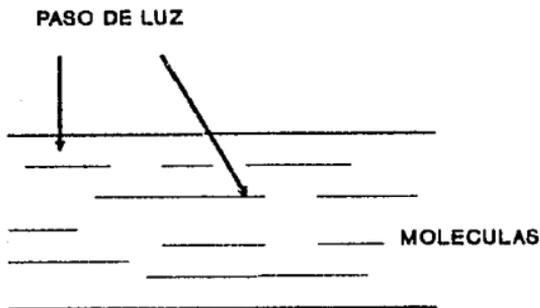
Los polímeros amorfos tienen sus moléculas en completo desorden, por lo cual dejan pasar la luz entre los huecos que se forman y por lo tanto son transparentes.



Algunos materiales que presentan dicha estructura son : Policarbonato, Poliestireno, PVC, etc.

- **Cristalinos (Opacos) :**

Los polímeros cristalinos tienen sus moléculas parcialmente ordenadas por lo que el paso de la luz se dificulta, dando como resultado materiales translúcidos u opacos.

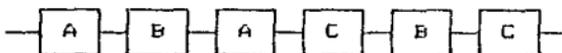


Algunos de los materiales de este grupo son :  
Poliámidas, Acetales, Polietileno, etc.

C) **Presencia de Monómeros** : Como se menciona anteriormente, los polimeros pueden estar formados con un solo tipo de monómeros o de una mezcla de dos o más monómeros diferentes los cuales modifican las características de los polimeros, haciendolos distintos o superiores a los polimeros con un solo monomero, por lo tanto se puede dar la clasificación siguiente :

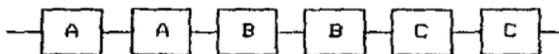
- Homopolimeros : Cuando se tiene la presencia de una sola clase de monómero, tales como el polietileno y poliestireno.
- Copolimero : Cuando dos o más monómeros se polimerizan conjuntamente, pero éstos a su vez pueden acomodarse en distintas formas.

\* **Al azar** : Cuando el acomodo de las moléculas no llevan una secuencia

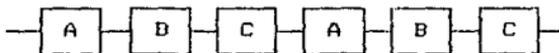


\* **En Bloque** : Las moléculas toman lugar por grupos bien definidos, tal como la resina K.

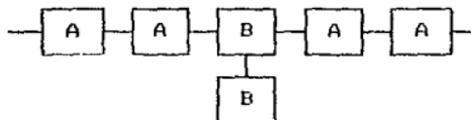
## Panorama General de los Plásticos



\* Alternado : Las moléculas se unen alternando un monómero y otro, tal como el ABS



\* Injerto : Es cuando se tiene una cadena principal con monómeros del mismo tipo en donde se injertan pequeñas cadenas de otro monómero, como el polietileno de bajo peso molecular.



Donde A, B y C son monómeros diferentes.

De las clasificaciones vistas la más importante, o por lo menos la más usada tanto en el medio técnico como en el medio comercial es la primera, por lo tanto se muestra en las tablas 1.1, 1.2 y 1.3 la nomenclatura, abreviaturas, aplicación y presentación comercial de los plásticos más comunes (Prontuario de Materiales Plásticos - Sandretto).

Tabla 1.1

## CARACTERÍSTICAS DE TERMOPLÁSTICOS

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA	PRESENTACION COMERCIAL	APLICACIONES COMUNES
<u>POLIOLEFINAS</u>			
POLITILENO	PE	GRANULO	PELICULAS ARTICULOS PARA EL HOGAR EMPAQUES + ENVASES
POLIPROPILENO	PP	GRANULO	PELICULAS RIFA FIBRAS TEXTILES
<u>POLIMEROS Y COPOLIMEROS DE ESTIRENO</u>			
POLISTIRENO	PS	GRANULO	EMPAQUE + ENVASES JUGUETES ARTICULOS PARA EL HOGAR INDUSTRIA MUEBLEFA
ACRILONITRILÓ-BUTADIENO-ESTIRENO	ABS	GRANULO	PIEZAS AUTOMOTRICES ARTICULOS PARA EL HOGAR
ESTIRENO - ACRILONITRILÓ	SAN	GRANULO	PIEZAS AUTOMOTRICES CARCAZAS DE ELECTRODOMESTICOS.
<u>POLIMEROS HALOGENADOS</u>			
CLORURO DE POLIVINILO	PVC	POLVO, GRANULO, LIQUIDO VISCOSO	TUBERIA BOTELLAS LOSETAS PELICULA FLEXIBLE + RIGIDA PARTES AUTOMOTRICES

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA	PRESENTACION COMERCIAL	APLICACIONES COMUNES
CLORURO DE POLIVINILIDENO	PVC	GRANULO	FELICULA PARA EMPAQUE
POLITETRAFLUOROETILENO	PTFE	GRANULO	RECUBRIMIENTOS DE SARTENES
<u>POLIACRILATOS</u>			
POLIMETILMETACRILATO (ACRILICO)	PMMA	GRANULO	ANUNCIOS LUMINOSOS TINAS PARA BAÑO CANCELERIA
<u>POLIOXIDOS</u>			
POLIOXIDO DE FENILENO	FPD	GRANULO	CARCAZAS PARA COMPUTADORAS
POLIOXIDO DE METILENO (ACETALES)	POM	GRANULO	MAQUINARIA INDUSTRIAL MECANISMOS AUTOMOTRICES
<u>POLIESTERES</u>			
POLICARBONATO	PC	GRANULO	CASCOS DE SEGURIDAD PARABRISAS DE MOTOCICLETAS ANUNCIOS LUMINOSOS
POLIBUTILENTEREFTALATO	PBT	GRANULO	CARCAZAS DE APARATOS ELECTRICOS. PARTES AUTOMOTRICES
POLIETILENTEREFTALATO	PET	GRANULO	BOTELLAS PARA BEBIDAS CARBONATADAS. FELICULAS

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA	PRESENTACION COMERCIAL	APLICACIONES COMUNES
<u>POLIAMIDES</u>			
NYLON 6	FA-6	GRANULO	ENGRANES
NYLON 6/6	FA-6/6	GRANULO	SUELAS PARA ZAPATOS
NYLON 11	PA-11	GRANULO	TANQUES PARA GASOLINA
<u>POLISULFONAS</u>			
POLIESTER SULFONA	PES	GRANULO	CARCAZAS PARA BOMBAS
POLIFENILEN SULFONA	PPS	GRANULO	CONECTORES ELECTRICOS AUTOMOTRICES.

Tabla 1.2

## CARACTERÍSTICAS DE TERMOPLÁSTICOS

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA	PRESENTACION COMERCIAL	APLICACIONES COMUNES
<u>FENOFLÁSTICOS</u>			
RESINA FENOLICA	FF	LIQUIDO / GRANULO	ACCESORIOS ELECTRICOS
CRESOL FORMALDEHIDO	CF	LIQUIDO / GRANULO	ACCESORIOS ELECTRICOS
<u>AMINOFLÁSTICOS</u>			
UREA FORMALDEHIDO	UF	LIQUIDO	PARTES ELECTRICAS VAJILLAS
MELAMINA FORMALDEHIDO	MF	LIQUIDO / GRANULO	MADERA AGLOMERADA
POLITESTER INSATURADO	UP	LIQUIDO / GRANULO	LAMINAS MEZCLADO CON FIBRA DE VIDRIO.
RESINA EPOXI	EF	LIQUIDOS / PASTA	RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS
POLIURETANOS	FUR	LIQUIDO	COLCHONES ASIENTOS - VOLANTES DE AUTOMOVILES.

Tabla 1.3

## ELASTOMEROS PRINCIPALES

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA
GOMA NATURAL	NR
ELASTOMERO BUTILICO ( ISOBUTILENO - ISOPRENO )	IIR
ELASTOMERO POLIBUTADIENO	BR
ELASTOMERO ESTIRENO - BUTADIENO	SBR
ELASTOMERO ETILENO - PROPILENO	EPDM
ELASTOMERO URETANICO	AU - EU
ELASTOMERO CLOROPRENO	CR
ELASTOMERO NITRILICO - BUTADIENO	NBR
ELASTOMERO ACRILICO	ACM
ELASTOMERO SILICONICO	MQ

### 1.3 .- PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTOS GENERALES

Las propiedades de un polímero son determinadas por su peso molecular y su estructura. La estructura puede definirse por los arreglos que presentan las cadenas del polímero y por su grado de entrecruzamiento, es debido a esto que los plásticos como tales tienen diversos comportamientos básicos que se describen a continuación.

#### 1.3.1 .- COMPORTAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS ANTE LA TEMPERATURA

Debido a la estructura química que presentan los plásticos, el comportamiento que presentan ante los cambios de temperatura es muy diferente al de los compuestos de bajo peso molecular. A diferencia de dichos compuestos, que presentan una temperatura de fusión definida, los plásticos se funden en un rango más o menos amplio de temperatura, además de que presentan un segundo punto de transición, la temperatura de transición vítrea, abajo de la cual los termoplásticos amorfos y la fase amorfa de los termoplásticos semicristalinos presentan características similares a las del vidrio (son muy frágiles).

El movimiento que adquieren las moléculas por la adición de calor está limitado por la magnitud de las fuerzas de atracción entre cadenas, en los termoplásticos y por los entrecruzamientos intermoleculares, en los termofijos.

Los termoplásticos en estado sólido pueden ser maquinados en forma normal por torneado, fresado, taladrado, etc., pueden pegarse (por medio de un adhesivo, utilizando solventes adecuados en las superficies a unir) y algunos pueden soldarse por ultrasonido.

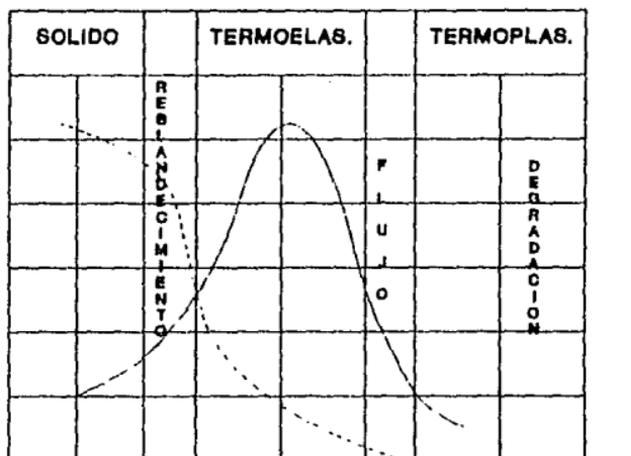
En el estado termoelástico, las fuerzas intermoleculares de unión son un poco débiles y los materiales se encuentran reblandecidos, pudiendo ser transformados por doblado, estirado y termoformado. En ésta etapa pueden soldarse también.

Una vez que las moléculas tienen la suficiente energía para proporcionar al material un estado líquido viscoso, los termoplásticos pueden ser inyectados, extruidos, calandreados, rotomoldeados, etc.

Cuando el material que se encuentra en estado termoplástico se le añade una cantidad mayor de calor, éste se degenerará por la destrucción de la estructura que le da forma.

A continuación se muestran en la Fig 1.1 el diagrama de comportamiento para los termoplásticos amorfos y en la Fig. 1.2 el diagrama de comportamiento para los termoplásticos semicristalinos. (Prontuario de Materiales Plásticos Sandretto).

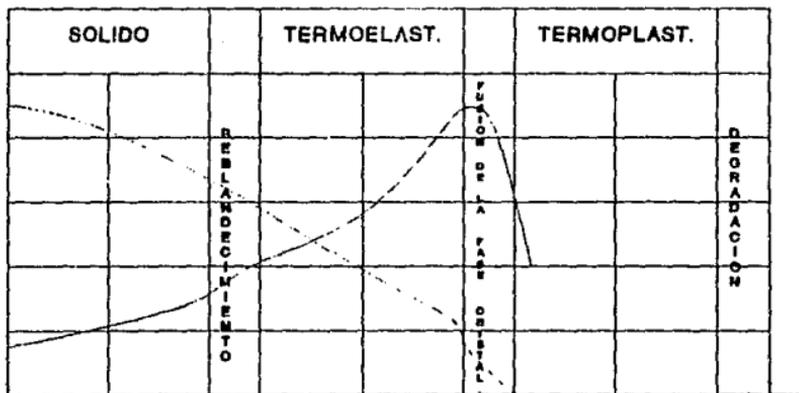
FIG. 11  
TERMOPLASTICOS AMORFOS ANTE LA TEMPERATURA



RESISTENCIA .....  
ALARGAMIENTO \_\_\_\_\_

TEMP.

FIG. 12  
TERMOPLASTICOS SEMICRISTALINOS ANTE LA TEMPERATURA



RESISTENCIA .....  
ALARGAMIENTO \_\_\_\_\_

TEMP.

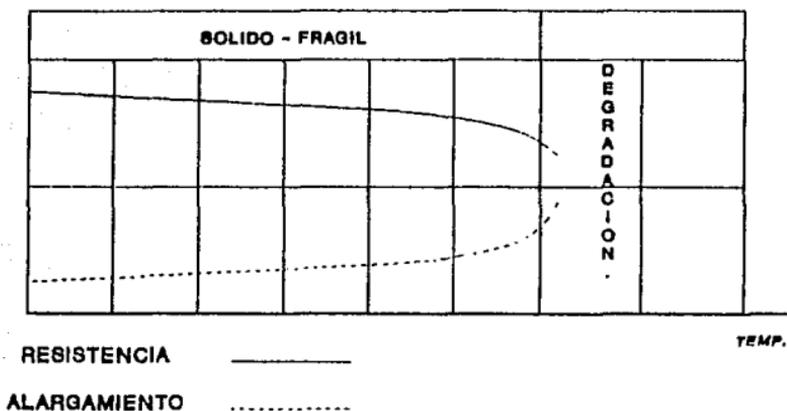
Dado que los termofijos están constituidos por moléculas, que durante el procesamiento (compresión, inyección, etc) reaccionan químicamente para formar una red tridimensional por medio de enlaces de tipo primario, no es posible propiciar cambios de estado en el material por aumentos en la temperatura. Es por ésto que los termofijos permanecen en estado sólido cuando se les aplica calor y permanecen así hasta una temperatura en la cual empiezan a descomponerse (destrucción de la estructura).

Los materiales termofijos pueden maquinarse también por los métodos tradicionales, pero no pueden soldarse, doblarse, estirarse, etc.

Los elástomeros debido a su estructura molecular químicamente entrecruzada, tampoco pueden fundirse mediante la aplicación de calor, soportan sin fundirse la adición de éste, pero llegando a un límite mucho menor que en el caso de los termofijos, se descompone la estructura.

A continuación se muestra en la Fig 1.3 el diagrama de comportamiento para los termofijos. (Prontuario de Materiales Plásticos - Sandretto).

FIG. 13  
TERMOFIJOS ANTE LA TEMPERATURA



### 1.3.2 .- COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS PLASTICOS

Los plásticos se comportan en forma muy diferente a los metales bajo la presencia de cargas. Esta diferencia se debe básicamente a la capacidad de cada una de las respectivas estructuras químicas para soportar dichas cargas. En el caso de los plásticos, las propiedades mecánicas, como son resistencia a la tracción, a la compresión, a la torsión, el alargamiento a la ruptura, etc., son fuertemente dependientes de la temperatura.

Los materiales termoplásticos sujetos a tracción, no cumplen totalmente la ley de Hooke (deformación proporcional

a la carga). A temperatura normal ( 23° C), se presenta un fenómeno en éstos materiales cuando son sometidos a carga constante, llamado escurrimiento viscoso (creep), esto es, aunque la carga que actúa sobre el material desaparezca, el material presentará la misma deformación durante un cierto tiempo. A temperaturas más elevadas la resistencia mecánica de los plásticos disminuye notablemente.

Los factores que influyen en forma más notable en las propiedades mecánicas de las piezas y su estabilidad dimensional son :

- Variaciones en la temperatura de trabajo y absorción de humedad.
- Tipo y duración de la carga a la que se encuentra sometida la pieza.
- Degradación provocada por agentes del medio ambiente o químico.
- Tensiones internas generadas durante el moldeo.

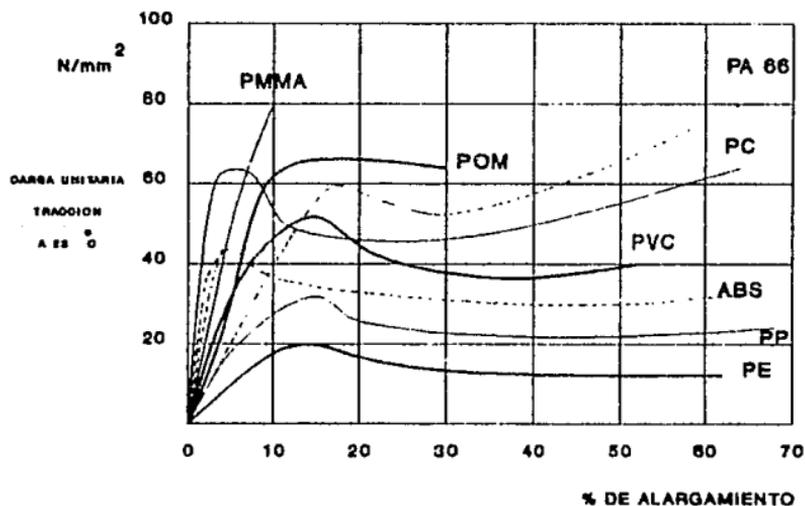
Las consideraciones mencionadas pueden crear perjuicios acerca de la aplicación de materiales plásticos en elementos mecánicos o en piezas que requieran alta estabilidad dimensional o tolerancias muy estrictas. Sin embargo, debe hacerse notar que existen una serie de materiales diseñados (modificados) especialmente para usos técnicos, cuyas propiedades mecánicas se han mejorado mediante la adición de cargas de refuerzo, aditivos, etc. Por otro lado, muchas aplicaciones de materiales tradicionales (metal, cerámica,

vidrio, etc.), presentan propiedades sobradas para el trabajo que desempeñan y es precisamente aquí donde un buen diseño de los diferentes artículos pueden realizarse en plástico.

En la Fig 1.4 se muestra el diagrama carga-alargamiento de algunos materiales, en él se pueden distinguir a los materiales frágiles (PMMA) que sufren la ruptura después de un alargamiento muy corto, de los materiales tenaces (PA 66), que después de sufrir un alargamiento prolongado (deformación permanente), se rompen.

FIG 1.4  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS PLÁSTICOS

CURVA CARGA-ALARGAMIENTO PARA DIVERSOS MATERIALES REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO.



(Prontuario de Materiales Plásticos - Sandretto)

En donde :

ABS	ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO
PA 66	POLIAMIDA (NYLON) 66
PC	POLICARBONATO
PMMA	POLIMETILMETACRILATO (ACRILICO)
POM	POLIOXIMITILENO
PP	POLIPROPILENO
PVC	POLICLORURO DE VINILO (RIGIDO)
PE	POLIETILENO

Debido a la estructura molecular reticulada de los termofijos, estos presentan un comportamiento mecánico diferente a los termoplásticos. Son materiales que se pueden utilizar a temperaturas muy elevadas cuyo módulo de elasticidad es muy alto y presentan un escurrimiento menor que los termoplásticos, por lo cual resisten mejor las cargas permanentes.

En general, los elastómeros sufren una deformación instantánea cuando son sometidos a cualquier tipo de carga y dependiendo del tamaño de ésta, la deformación producida será de carácter elástico (reversible) o plástico (irreversible).

Cuando se habla del módulo en los elastómeros, no se habla del módulo de elasticidad como en el caso de termoplásticos, sino del alargamiento que puede soportar el material antes de romperse, expresandose en porcentaje con relación a la longitud original.

### 1.3.3 .- RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

Los plásticos pueden verse afectados por agentes atmosféricos (como el ozono, el agua, etc.) y la luz solar, especialmente los rayos ultravioletas (UV). El polímero al degradarse produce manchas superficiales, cuarteaduras, decoloraciones y variaciones de algunas de sus propiedades físicas. La resistencia a los agentes químicos viene determinada por el tipo de enlaces de la cadena y por los grupos colgantes.

Los polímeros lineales, que poseen enlaces C - C y grupos como fluor y cloro, son más resistentes a los agentes químicos. Sin embargo, los polímeros ramificados son susceptibles a la oxidación por lo que es necesario añadirles agentes antioxidantes. Los polímeros que tienen dobles enlaces son atacados por el oxígeno, ozono y halogenuros de hidrógeno. Los que poseen grupos ésteres, amida y policarbonato pueden sufrir alteraciones por el agua y los polímeros con grupo hidroxilo son muy reactivos.

Por lo que respecta al ataque de luz U.V., los polímeros saturados son más resistentes que los no saturados. Sin embargo, para determinar perfectamente la influencia de la luz U.V. , en el polímero, es necesario someter a éste a pruebas en aparatos especiales como el llamado Fadeómetro. Para aumentar la resistencia de la luz U.V. existen estabilizadores y absorbentes.

#### 1.3.4 .- RESISTENCIA A LOS SOLVENTES

Los plásticos lineales son fácilmente solubles con solventes específicos. Estos actúan entre las cadenas, separándolas unas de otras y las disuelven.

Sin embargo, para que la disolución ocurra deben cumplirse dos condiciones :

- Que el polímero y el solvente tengan un valor similar en el parámetro de solubilidad, los cuales son tabulados u obtenidos experimentalmente.
- Es necesaria la existencia de una cierta interacción entre el solvente y el polímero, es decir, un polímero donador de protones se disuelve en un solvente receptor de protones y viceversa.

Los polímeros entrecruzados son más resistentes al ataque de solventes. Esta resistencia está en función del grado de entrecruzamiento. Sólo rompiendo las uniones entrecruzadas es posible la disolución.

1.4 .- PROCESOS DE TRANSFORMACION.

Los materiales que más se han parecido a los plásticos a lo largo de los años son los hules, los cuales surgieron alrededor de 1900.

Este tipo de compuestos siempre se transformaron por calandreo hasta que surgieron unas máquinas que los plastificaban y lograban conducirlos a cámaras en donde recibían su forma definitiva. El equipo utilizado era de longitud corta y con un sistema de pistón para empujar el material, por lo que la plastificación no era homogénea y quedaba la pieza curada en forma no uniforme.

Este equipo se usó en un principio para transformar los plásticos pero posteriormente en 1935, Paul Forester en Alemania diseña la primera máquina extrusora específica para plásticos, la cual en lugar de poseer un sistema de pistón se ayudaba para el transporte de material por medio de un husillo sinfin. Además éste husillo y la cámara circundante estaban provistas de resistencias eléctricas para lograr el calentamiento del material.

En años subsecuentes el principio básico de las extrusoras de 2 husillos es conseguida en Italia por Roberto

## Panorama General de los Plásticos

Columbo y Carl Pesquetti, y así continuó el desarrollo de cada uno de los procesos de transformación.

Si bien existen más de 20 métodos para transformar plásticos, su gran mayoría están basados en el proceso de extrusión debido a que por éste principio básico se logra la plastificación del material.

Por otro lado y aún cuando el gran campo de los plásticos ha logrado un desarrollo enorme en el aspecto de materiales, ésto no hubiera llegado a tal éxito si los equipos de transformación no sufrieran día con día innovaciones y modificaciones; es por ello que algunos sistemas de transformación son especiales para determinados materiales o piezas, debido a que han surgido por la necesidad de propiedades, funciones o aprovechamiento máximo del material.

Los procesos de transformación se pueden clasificar de acuerdo al tipo de materia prima que manejan, de tal forma que basandose en que existen termoplásticos y termofijos quedarían divididos como se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4

CLASIFICACION DE PROCESOS DE TRANSFORMACION

TERMOPLASTICOS

EXTRUSION  
 INYECCION  
 SOPLADO  
 CALANDREO  
 BINTERIZADO  
 RECUBRIMIENTO POR CUCHILLAS  
 INMERSION  
 VACIADO  
 ROTOMOLDEO  
 COMPRESION  
 ESPREADO  
 RIM

TERMOFIJOS

LAMINADO  
 TRANSFERENCIA  
 EMBOBINADO DE FILAMENTO  
 PULTRUSION  
 VACIADO  
 ROTOMOLDEO  
 COMPRESION  
 ESPREADO  
 RIM

Estos son los procesos mas generales, pero solo se describira brevemente el proceso de extrusión por ser el proceso base de los demás procesos de transformación.

#### 1.4.1.- EXTRUSION.

Es un proceso continuo en donde el polímero en forma de pellets se alimenta y funde por la acción de presión y temperatura, forzándose a pasar a través de un dado el cual le proporciona la forma final.

En este proceso se alimentan los pellets a la tolva, de donde pasan a la cavidad del cañón de la extrusora. Este cañón posee a su alrededor resistencias que calientan al material y en su interior un husillo que girará para plastificar al material, comprimirlo y forzarlo a transportarse a lo largo del cañón ; al final de éste existe un adaptador, en el cual se colocan mallas para aumentar la presión del material, homogeneizarlo y filtrar cualquier impureza que hubiera llegado a ésta parte del proceso. Alineado al adaptador existe el dado que será la parte de la maquinaria que le proporcionará la forma final al material. Las partes mencionadas en éste proceso se muestran en la figura 1.5

FIG. 1.5  
EXTRUSION

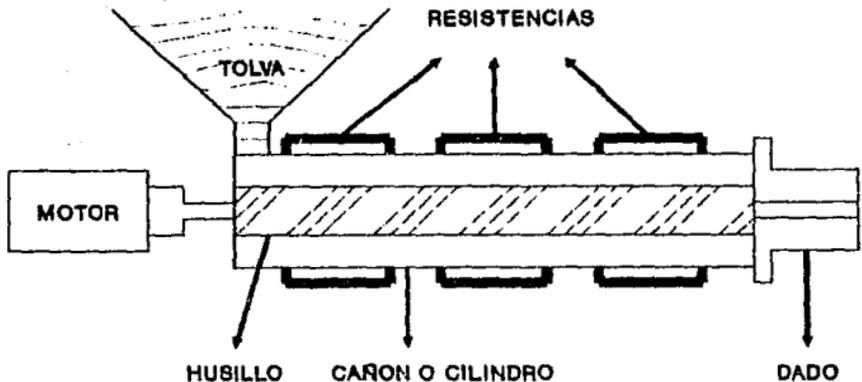


FIG. 1.5

### 1.5 .- PANORAMA COMERCIAL EN MEXICO Y EL MUNDO

Actualmente una de las industrias que está teniendo un gran auge en México y el Mundo es la del Plástico, éste es por su gran versatilidad, bajo costo y facilidad de procesamiento.

Si se retrocede en el tiempo se observa que no es sino hasta el año de 1940 cuando en México se logra el conocimiento de los Plásticos, iniciando su colocación como

## Panorama General de los Plásticos

sustitutos de materiales como en el caso de la madera (en radios) por la bakelita, la caseína (de los peines) por acetato de celulosa y el reemplazo del cuero para elaborar maletas, sillac y diversos artículos por el PVC.

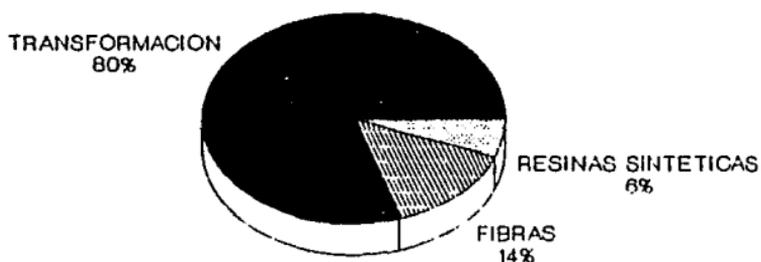
Además de éstos plásticos, también hay otros que sustituyen materiales tradicionales como por ejemplo el vidrio usado para producir botellas y tarros por el PET y varios metales utilizados para fabricar baleros, ruedas y piezas para maquinado por el poliuretano; han logrado entrar en mercados en los cuales solo ellos cubren propiedades específicas, que anteriormente ningún otro material había logrado. Por ejemplo, se pueden hacer mecanismos de una sola pieza en un solo material; lo que antes se hacía de varias piezas y materiales (metálicos).

### 1.5.1 .- LA INDUSTRIA DEL PLASTICO

En México la Industria del Plástico ocupa a 180,000 personas, con una derrama económica de 800 mil millones de pesos, distribuidos en industrias que producen resinas sintéticas, fibras o que transforman productos plásticos, tal como lo indica la Fig 1.6. (Toda la información de este capítulo, así como gráficas y tablas, se obtuvieron del Instituto Mexicano del Plástico industrial).

FIG 16

## LA INDUSTRIA DEL PLASTICO EN MEXICO



La Industria del Plástico en México se encuentra estructurada como se muestra en la tabla 1.5.

Tabla 1.5

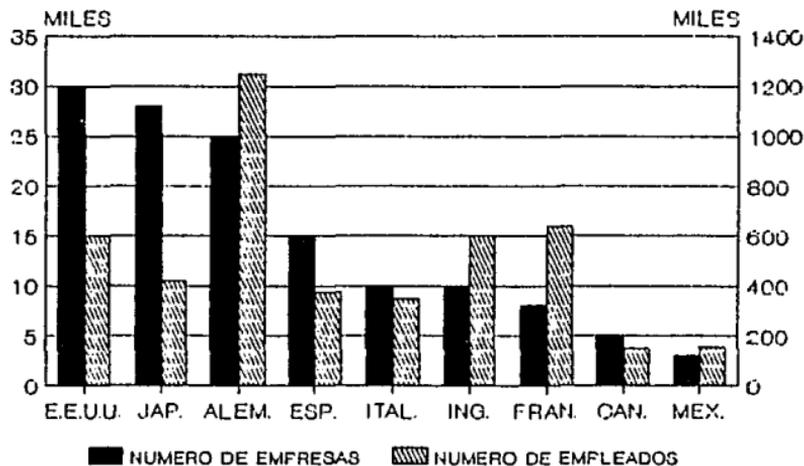
## LA INDUSTRIA DEL PLASTICO EN MEXICO

	EMPRESAS	
TRANSFORMACION	3000 20 50 50	TRANSFORMADORAS FABRICANTES DE EQUIPO FABRICANTES DE PERIFERICOS FABRICANTES DE MOLDES
MATERIAS PRIMAS	15 125 50	FABRICANTES DE MONOMEROS FABRICANTES DE POLIMEROS FABRICANTES DE ADITIVOS
COMERCIALIZACION	30 30 1000	REPRESENTANTES DE EQUIPO DISTRIBUIDORAS DE MATERIA PRIMA DISTRIBUIDORAS DE PRODUCTO TERMINADO
AGRUPACIONES	3 5 1	ASOCIACIONES CENTROS DE TECNOLOGIA INSTITUTO MEXICANO DEL PLASTICO INDUSTRIAL

En la siguiente grafica (Fig 1.7) se puede observar a nivel mundial el número de empresas y empleados en la Industria del Plástico.

FIG. 17

LA INDUSTRIA DEL PLASTICO EN EL MUNDO



1.5.2 .- CLASIFICACION POR CONSUMO

Desde el punto de vista comercial, los plásticos también tienen una clasificación de acuerdo a su consumo :

## Panorama General de los Plásticos

COMODITIES ( Alto Consumo ) : Polietilenos  
Cloruro de Polivinilo  
Polipropileno  
Poliestireno

VERSATILES ( Medio Consumo ) : Ureicas  
Poliuretano  
Poliester  
Fenolicas  
Acrilico  
Epóxicas  
Melamina

ESPECIALIDADES ( Bajo Consumo): ABS  
PET  
Poliamida  
Acetal  
Policarbonato

Todos éstos materiales presentan características de acuerdo al mercado y aplicación a que vayan. En las siguientes tablas se pueden observar los consumos y porcentajes de cada plástico, así como sus características más importantes.

## Panorama General de los Plásticos

**COMODITIES** : Es el grupo de polímeros que presentan un alto índice de consumo.

Tabla 1.6

### CONSUMO DE PLASTICOS COMODITIES

MATERIAL	MILES DE TONS.	%
POLIETILENO	498	60
PVC	130	16
POLIPROPILENO	112	14
POLIESTIRENO	87	10

#### Características

- Competencia con base a precios
- Precios de acuerdo a costos
- Altos volúmenes de producción y ventas
- Mezclas con aditivos para ser competitivos
- Facilidad de integración
- Comercialización dinámica y exportaciones

**VERSATILES** : Es el grupo de polímeros representado por un consumo medio en donde las características varían básicamente por el mercado de aplicación.

## Panorama General de los Plásticos

Tabla 1.7

### CONSUMO DE PLASTICOS VERSATILES

MATERIAL	MILES DE TONS.	%
UREICAS	75	46
POLIURETANO	35	22
POLIESTER	19	12
FENOLICAS	15	4
ACRILICO	8	5
EPOXICAS	6	4
MELAMINA	4	2

#### Características :

- Competencia con base a facilidad de procesamiento
- Tecnología en transformación
- Por lo general se acude a mercados bien definidos
- Competencia en base a un buen diseño y creatividad

**ESPECIALIDADES :** Estos plásticos son también llamados de ingeniería, porque en la mayoría de sus aplicaciones sustituyen partes metálicas de mecanismos internos.

Tabla 1.8

## CONSUMO DE PLASTICOS DE INGENIERIA

MATERIAL	MILES DE TONS.	%
ABS	9	47
PET	6	32
POLIAMIDAS	2	11
ACETALES	1	5
POLICARBONATO	1	5

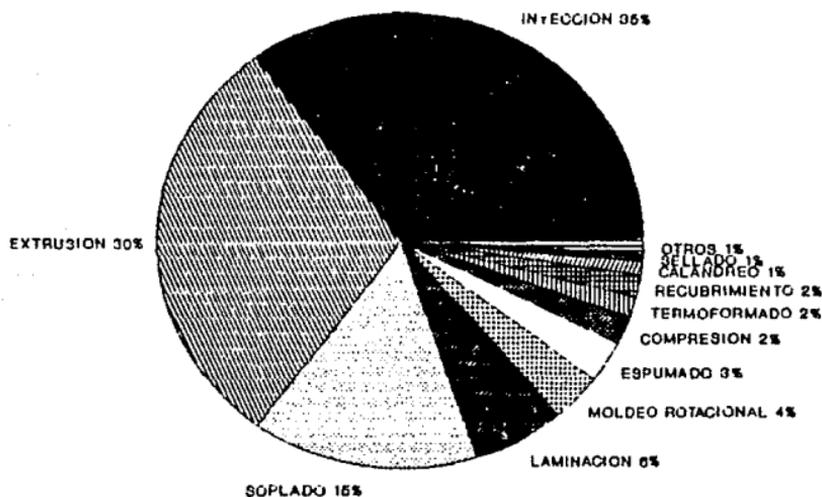
Características :

- Procesamiento y equipos más especializados
- Es necesario la asociación tecnológica
- Se venden con base a las propiedades de la resina
- Presentan bajos volúmenes de producción y ventas
- Son necesarias las formulaciones
- Tienen un amplio futuro en el mercado especial
- Se venden con servicio técnico

Por otro lado, la industria del plástico en México se encuentra encaminada básicamente hacia las empresa transformadoras, por lo que es importante señalar este punto

y analizar el tipo de empresas que de éste tipo existen en nuestro país, observando la Fig 1.8 se puede tener una idea de como éste tipo de empresas están distribuidas.

FIG. 1.8  
LAS EMPRESAS TRANSFORMADORAS EN MEXICO



## CAPITULO No. 2 .- INYECCION DE PLASTICOS

El desarrollo del proceso de inyección fue introducido gracias al surgimiento de nuevos materiales plásticos, ya que éstos presentaban ciertas exigencias técnicas necesarias para su transformación, además de requerir menores tiempos de producción.

Las principales ventajas del procedimiento de inyección están basadas en el ahorro de material, el menor espacio de fabricación y menor tiempo de producción, sin embargo existen otras ventajas que ofrece el proceso :

- Máxima exactitud de forma y dimensiones de las piezas inyectadas.
- Posibilidad de formar orificios, refuerzos, ajustes y marcas, así como de inserción de elementos de otros materiales, con lo que la producción se hace completa.
- Buenas propiedades de resistencia a pesar de espesores muy finos, con una configuración de las piezas adecuado al proceso y al material.

- Rápida producción de una gran cantidad de piezas en moldes simples o múltiples, lo que permite plazos de entrega relativamente cortos.
- Gran aprovechamiento del material empleado, ya que en su mayoría es totalmente reciclable.

## 2.1 .- EL PROCESO DE INYECCION Y SUS CONSIDERACIONES TECNICAS.

La inyección de plásticos es un proceso discontinuo, donde se introduce en la cavidad de un molde relativamente frío una cantidad dosificada de material plástico fundido en forma homogénea; tras un cierto período de tiempo, solidifica la masa inyectada y la pieza puede extraerse del molde abierto.

En la Figura 2.1 se representa esquemáticamente el proceso de inyección en una máquina de embolo-husillo.

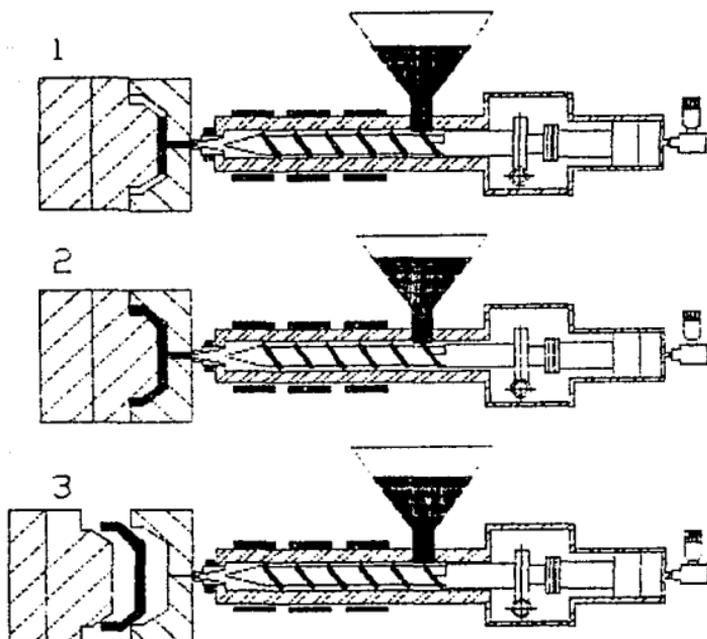
La explicación del proceso seguirá el camino del material, que se vierte inicialmente en forma de pellets en la tolva, situada sobre la unidad inyectora de la máquina, una cantidad de material es empujada hacia la parte

## Inyección de plásticos.

delantera de la cámara de plastificación gracias al giro y retroceso del husillo, durante este trayecto el material es calentado y plastificado gracias a la acción de las bandas calefactoras de la cámara de plastificación y a la fricción que se logra entre las paredes de ésta y del husillo con el material. Cuando se ha plastificado la cantidad necesaria de material, se interrumpe el movimiento del husillo mediante la acción de un interruptor de límite, en el siguiente movimiento el husillo actúa como émbolo teniendo un desplazamiento hacia adelante, comprimiendo el material y llevándolo a través de la boquilla hacia el molde, consiguiendo así su llenado, terminando éste, permanece efectiva una presión reducida para asegurar que las piezas no se deformen por contracción.

La masa plastificada se enfría dentro del molde debido a un sistema de refrigeración dispuesto en él, que disipa el calor y acelera el proceso de solidificación, finalizando ésta, puede abrirse el molde y extraer la pieza mediante diversos sistemas que dependen de la configuración de ésta.

FIG. 2.1  
PROCESO DE INYECCION



### 2.1.1 .- EL CICLO DE INYECCION.

El principal objetivo del maquinador de inyección es fabricar piezas de buena calidad y lo más rápidamente posible, por lo tanto el tiempo necesario para realizar un ciclo completo de moldeo es un factor importante de la producción. A éste tiempo se le conoce como " Ciclo de Moldeo ".

Si consideramos el funcionamiento general de una máquina de inyección como el mencionado anteriormente podemos señalar cuatro etapas principales :

#### 1 .- Tiempo de Inyección :

Es aquel que tarda el husillo en inyectar la masa plastificada en la cavidad o cavidades del molde.

#### 2.- Tiempo de Sostenimiento :

Es aquel que tarda el husillo ejerciendo una presión de sostenimiento sobre el plástico.

#### 3.- Tiempo de Enfriamiento :

Es el tiempo necesario para que la pieza pueda enfriarse, cabe mencionar que ésta empieza a enfriar tan pronto es ejercida la inyección de la masa, pero como por lo regular éste no es suficiente, se requiere tiempo adicional

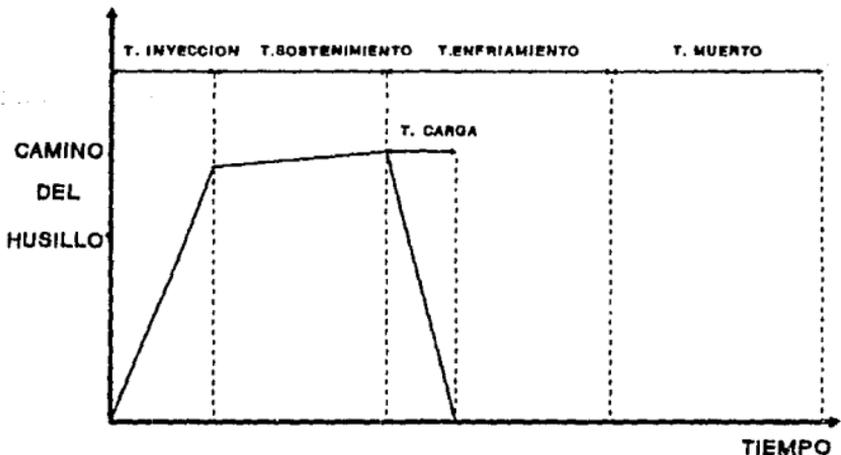
para que solidifique la pieza. Durante este tiempo, inmediatamente después de que actúa el de sostenimiento, el husillo retrocede para hacer la carga y plastificar el material para el siguiente ciclo.

4.- Tiempo Muerto :

Es aquel que se necesita para poder abrir el molde, expulsar la pieza y volver a cerrarlo.

La Figura 2.2 muestra una gráfica del ciclo de moldeo, y el camino que sigue el husillo durante este.

FIG. 2.2  
CICLO DE MOLDEO



2.1.2 .- VARIABLES DEL PROCESO.

El proceso de moldeo por inyección depende primordialmente de la correcta combinación de cuatro variables principales, las cuales son:

1.- Presión de Inyección :

Es aquella que sirve para poder introducir el material plastificado en una o varias cavidades del molde, el valor de ésta presión depende de la cantidad de piezas a inyectar y de los caminos de flujo por donde pasa el material para llegar a las cavidades, además de la temperatura a la que éste se encuentre y por supuesto, de su viscosidad.

Además de ésta presión existen otras dos en el proceso, de menor importancia, pero si necesarias:

- Presión de Sostenimiento : Esta es la que sigue a la presión de inyección, la cual sirve para evitar al máximo la contracción de la pieza inyectada; ésta presión siempre será menor o igual a la presión de inyección.
- Contrapresión : Es la que se origina en el retorno del husillo al estar dosificando el material, ya que en el regreso de éste el aceite que se utilizó para dar la presión de inyección tiene que regresar por

## Inyección de plásticos.

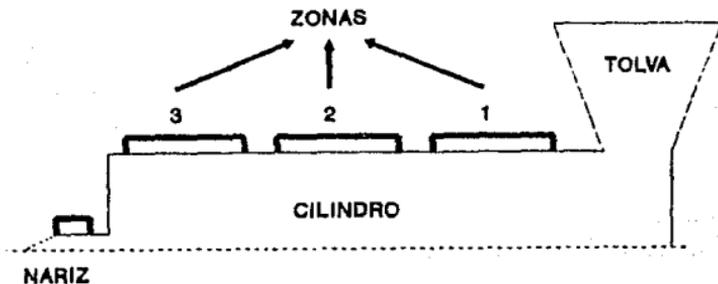
una válvula, la cual puede regularse, con esto el husillo presenta un retorno más forzado aumentando así la plastificación del material.

### 2.- Temperatura del Cilindro :

Las temperaturas en el moldeo por inyección también tienen una gran importancia para poder obtener piezas de buena calidad, tanto en su estructura como en su apariencia. La temperatura es variable dependiendo del tipo de plástico que se vaya a procesar; es de vital importancia que la temperatura no sea más alta que su temperatura de plastificación máxima permisible, para que no haya una degradación del mismo, por lo que se entiende que la temperatura debe ser suficiente para poder plastificarlo.

Generalmente el conteo de las zonas de calentamiento empiezan desde el lado donde se encuentra la tolva, la temperatura menor debe de estar al lado de la misma para evitar así que el material se aglomere y pueda cerrar la entrada, las siguientes zonas van incrementando su temperatura según sea el plástico a utilizar. El calentamiento del cilindro se logra por la acción de bandas calefactoras que lo envuelven totalmente y que son regulables por medio de un pirómetro. El ordenamiento de las zonas de calentamiento se puede observar en la Figura 2.3.

FIG. 2.3  
ZONAS DE CALENTAMIENTO



### 3.- Temperatura del Molde :

Otra de las variables que debe de ser controlada para poder obtener piezas de calidad es la temperatura del molde, ya que esta determina en parte la velocidad de llenado de la cavidad o cavidades, ésta temperatura debe ser mucho menor a la del cilindro de plastificación, y con un adecuado control se pueden obtener ventajas tales como:

## Inyección de plásticos.

- Buena superficie exterior (brillo).
- Buen comportamiento de fluidez.
- Pequeños grados de orientación y poca tensión interior.
- Poca contracción posterior.

Esta variable como las anteriores depende del material que se está inyectando, y es regulable mediante un sistema de canales de refrigeración en el molde donde circula agua o aceite cuya temperatura se rige por medio de un termoregulador.

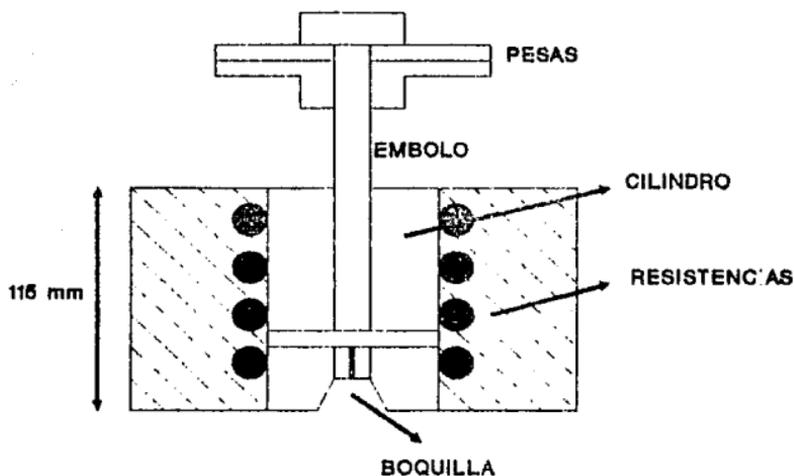
### 4.- Velocidad de Inyección :

Esta es la velocidad con la que se desplaza el husillo para inyectar el material plastificado al molde, la cual depende del plástico que se usa en el proceso, pero específicamente del índice de fluidez del mismo, el cual es medido por un sistema llamado " Shmelzindex " que consiste en lo siguiente:

Este proceso se lleva a cabo por un aparato mostrado en la Figura 2.4 que se compone de un pistón y/o embolo, un cilindro perforado con un barreno de 9.5 mm de diámetro, el cual tiene una altura de 115 mm cuando menos, en la parte superior se encuentra una boquilla cilíndrica que tiene un diámetro de 2.1 mm por donde fluye el material gracias a

la acción de una presión determinada que se suministra a base de pesas que pueden ser de 2.16 Kp o de 5 Kp y a la acción de una resistencia que sirve para calentar el material hasta su zona de plastificación y que varía dependiendo del material. La medida final se da en gramos por cada diez minutos (g/10 min).

FIG. 2.4  
APARATO DE SCHMELZINDEX



### 2.1.3 .- FUNCION DE LA PRESION Y TEMPERATURA DURANTE EL MOLDEO.

Cuando el plástico fundido entra en el molde y toca las paredes relativamente frías de éste, la capa de fundido más externa que está en contacto con la superficie metálica se enfría casi instantáneamente, por lo que en un principio la pieza consiste de una corteza de polímero sólido que rodea a un núcleo fundido; ésta capa sólida va engrosando en forma gradual hasta que todo el polímero solidifica. El punto de entrada a la cavidad es generalmente la zona más estrecha del sistema, que presenta la máxima relación superficie/volumen para la transmisión de calor y por lo tanto es la que más rápido se enfría y la primera zona en donde la solidificación se hace total. Si consideramos la sección transversal de dicha zona de entrada, que en éste punto es la sección de que se dispone para el paso del plástico, su tamaño real va disminuyendo a medida que se enfría y solidifica hasta que sella completamente. Dicho tamaño real dependerá por lo tanto del tiempo de enfriamiento transcurrido.

La máxima presión que a través de la entrada puede mantenerse dentro de la cavidad dependerá del tamaño real de la entrada, de las dimensiones del núcleo fundido y de la fluidez del plástico. Cuanto más tiempo ha estado

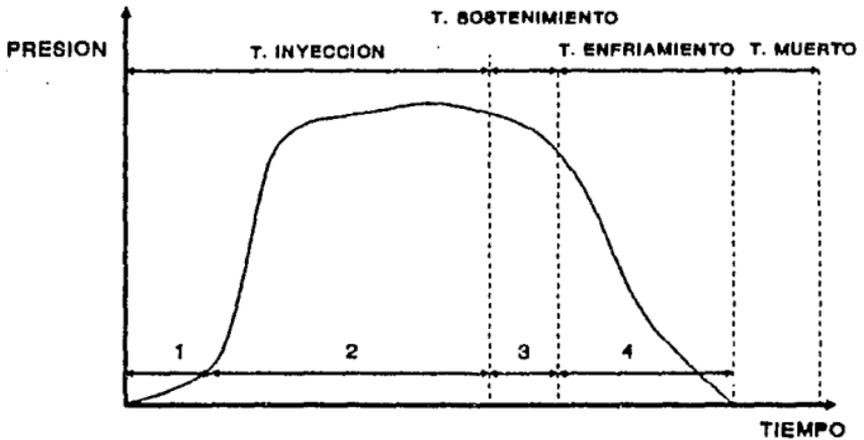
## Inyección de plásticos.

enfriándose más pequeña será la fluidez y menor el tamaño real de la entrada; por lo tanto, mayor será la caída de presión en el sistema y menor la presión dentro de la cavidad. Cuando la caída de presión, el tamaño real de la entrada, la fluidez del polímero y la velocidad de enfriamiento del sistema alcanzan un estado de equilibrio, ya no hay flujo de polímero hacia la cavidad; el material que ocupa los canales del molde queda prácticamente independiente del material que ocupa la cavidad y la entrada se puede considerar cerrada.

Una vez que la entrada se ha cerrado, la presión dentro de la cavidad disminuirá a medida que el plástico se enfría y se contrae; la presión en la cavidad variará con la temperatura de la pieza, por lo que se entiende que hay una estrecha relación entre la presión, el volumen y la temperatura correspondiente a la pieza moldeada que se está enfriando.

En la Figura 2.5 se muestra un gráfica típica del comportamiento de la presión en la cavidad durante un ciclo de moldeo, donde el origen de tiempos se toma en el momento que se cierra el molde.

FIG. 2.5  
PRESIONES EN LA CAVIDAD



Se puede concluir que al enfriarse el material aparecen dos efectos contrarios y simultáneos que se compensan mutuamente. Por un lado tiene lugar una contracción del material, que tiende a reducir el volumen de la pieza moldeada; por otro lado, disminuye la presión a que está sometido el material, y ésto permite la expansión del

## Inyección de plásticos.

material, con el consiguiente aumento de volumen de la pieza. Estos dos efectos tienen lugar simultáneamente y se compensan de tal manera que el volumen de la pieza se mantiene constante.

Fijando una temperatura de extracción a la cual la pieza no pueda sufrir deformación alguna al sacarla de la cavidad, la relación entre presión, temperatura y volumen de ésta, en el momento de abrir el molde ha de ser tal, que cumplirá uno de los tres casos siguientes:

A) La presión ha disminuido hasta ser prácticamente nula, y al disminuir ha compensado exactamente la contracción originada por el enfriamiento de la pieza, de manera que el volumen de esta permanece constante y se extrae de la cavidad fácilmente.

Esta es la situación ideal que debe buscarse para obtener piezas de buena calidad.

B) Después de que la disminución de volumen debido a la contracción termina, ha sido totalmente compensada por los efectos debidos a la disminución de presión, queda aún una presión residual sobre la pieza que, al desaparecer permite una última expansión de ésta dentro de la cavidad. Esto origina el que la pieza se ajuste fuertemente contra las paredes de la

## Inyección de plásticos.

cavidad, lo que tiene como consecuencia dificultar la extracción de la pieza.

- C) El último caso que se puede presentar es que la presión en el material que llena la cavidad del molde se anule antes de que la temperatura disminuya hasta su valor previsto para la extracción. En este caso, como la presión ya no puede disminuir más, el único efecto que subsiste es el de contracción de la pieza hasta que se enfría a la temperatura de extracción, dando lugar a la aparición de rechupes en el exterior o bien a burbujas en el interior de la pieza.

### 2.1.4 .- LLENADO DE LA CAVIDAD; DESCRIPCION DEL FLUJO DE POLIMERO DENTRO DEL MOLDE.

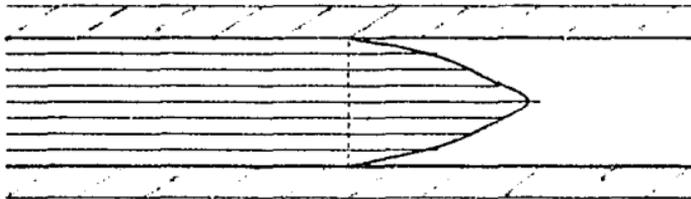
El mecanismo de flujo que permite el llenado de una cavidad es uno de los puntos menos conocidos del moldeo por inyección. Esto es debido a la diversidad de materiales y moldes que se utilizan, lo cual hace difícil tener una teoría general del llenado de una cavidad relativamente fría en que la fluye un polimero caliente que se enfría a medida que avanza por el molde y varía su viscosidad con el tiempo, sin embargo se pueden definir algunos criterios generales.

Si consideramos una porción de una cavidad que se acaba de llenar y hacemos un corte transversal en ella, suponiendo

## Inyección de plásticos.

que las paredes de ésta están a la misma temperatura y presentan idéntico coeficiente de fricción, tendremos una representación del flujo del polímero con una distribución de velocidades como la que se muestra en la Figura 2.6, en la que la capa de polímero situada junto a la pared tiende a retrasarse debido al efecto de enfriamiento de la pared; éste enfriamiento hace aumentar su viscosidad y reduce su velocidad; la capa central es la menos afectada por el enfriamiento y la que se mueve a mayor velocidad.

FIG. 2.6  
FLUJO DEL POLIMERO EN LA CAVIDAD



La disminución de velocidad cerca de las paredes está determinada por la velocidad de enfriamiento y por el coeficiente de fricción en las paredes que, naturalmente variarán con el espesor de la pared del molde y con su temperatura. En la práctica éste flujo no es por lo general simétrico puesto que la fricción en las paredes de la cavidad será causa de que el material desvíe su flujo hacia la zona en la que la fricción sea mayor.

Otro fenómeno que tiene lugar durante el llenado de las cavidades es la formación de líneas de soldadura. La presencia de una línea de soldadura en las piezas inyectadas son un frecuente problema desde el punto de vista de resistencia y aspecto de las piezas.

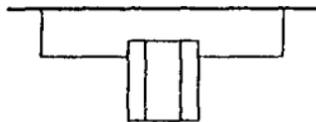
En el caso más general, el flujo dentro de una cavidad no es tan sencillo, el frente de flujo a medida que avanza en la cavidad, encuentra continuamente obstáculos que retardan su avance y otras zonas más favorables en las que puede avanzar más rápido. Por lo general cuando un frente de flujo se encuentra con un obstáculo, se parte en dos y le bordea para seguir avanzando; cuando los dos frentes de flujo se encuentran de nuevo, tienen tendencia a soldarse, particularmente en su parte central donde el material está más caliente; si los dos frentes de flujo provienen de dos diferentes entradas a la cavidad, la unión de los dos es menos probable, a menos de que las entradas sean similares y

## Inyección de plásticos.

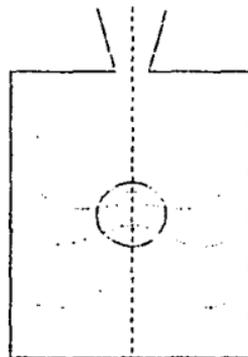
los dos frentes estén suficientemente calientes; lo más probable es que los bordes de ambos frentes se hayan enfriado demasiado y al unirse entre sí produzcan una mala soldadura que da lugar a lo que se llaman "líneas de soldadura".

En la Figura 2.7 se muestra un ejemplo en donde el flujo frontal se encuentra un obstáculo en su camino, al principio el material fluye alrededor del obstáculo, pero después intenta fluir por encima, cuando lo consigue, el flujo por el centro queda retrasado y se forman dos frentes de flujo que van más despacio y tienden a formar una línea de soldadura.

FIG. 2.7  
LINEAS DE SOLDADURA



VISTA DEL CORTE LATERAL



VISTA SUPERIOR

### 2.1.5.- CONTRACCION.

El fenómeno de la contracción de una pieza inyectada cuando se enfría dentro de la cavidad es de gran complejidad y depende en gran manera del tamaño y forma de la pieza, así como también de la estructura molecular del material a inyectar.

En principio la contracción de una pieza debe considerarse como un fenómeno que tiene lugar en tres dimensiones; la longitud, el ancho y la altura, cada una de ellas debe tener su propio factor de contracción.

En la práctica se puede observar que la contracción es de mayor magnitud en el sentido del flujo que en sentido transversal, en la mayoría de los casos la diferencia es pequeña y sólo para algunos materiales muy cristalinos como el polietileno y nylon, se encuentran grandes diferencias de contracción en uno y otro sentido, por lo cual la solución es agrandar convenientemente las dimensiones de las cavidades del molde según el material a inyectar.

Las variables de inyección afectan directamente ésta contracción, por lo cual puede ser regulada hasta cierto grado; teóricamente una pieza inyectada después de que la entrada a la cavidad se ha solidificado, no comienza a contraer hasta que el polímero, debido a su enfriamiento

deja de compensar la disminución en la presión interna de la cavidad. Naturalmente cuanto mayor es la temperatura inicial del polímero, tanto menor es su densidad y tanto mayor es la probabilidad de que la presión interna pueda compensar la contracción debido al enfriamiento.

### 2.2 .- PRENSAS PARA LA INYECCION DE PLASTICOS.

Las prensas para el moldeo de inyección de plásticos es una derivación de las máquinas para moldeo de algunos metales por preno-fusión tal como el aluminio.

La primera máquina para la producción de piezas plásticas mediante el moldeo por inyección fué construida en Alemania en 1920, ésta era una prensa de accionamiento manual que al cerrar el molde la inyección se efectuaba a mano por medio de palancas. En 1927 surge también en Alemania una prensa de accionamiento neumático basada en la necesidad de disponer de presiones específicas y regulables en momentos determinados.

Hoy en día se encuentran máquinas de funcionamiento totalmente automático que no requieren ninguna intervención del operador, con ciclos regulados mediante computadoras, al igual que automáticamente se pueden realizar la carga de material como extracción de piezas. Existen en el mercado

## Inyección de plásticos.

máquinas con capacidad de inyección de pocos gramos hasta 30 Kg, y con una fuerza de cierre de 2 a 10,000 Toneladas.

### 2.2.1 .- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

A pesar de que se menciona con anterioridad el procedimiento de inyección, se recuerda que consiste en calentar el material que viene en forma de polvo o pellets fundiéndolo en un cilindro llamado "cilindro de plastificación" e inyectarlo sucesivamente en la cavidad o cavidades de un molde del cual asumirá la forma definitiva; debido a que el molde se mantiene a una temperatura inferior al punto de fusión del material después de la inyección el material se solidifica rápidamente. En éste momento se obtiene la terminación del ciclo de trabajo y la expulsión de la pieza del molde.

La duración del ciclo de trabajo de la prensa varia dependiendo del tipo de plástico empleado y de la configuración de la pieza a moldear, y va de 1 segundo ( en las prensas más veloces que moldean piezas de 5 gr ), hasta 1 minuto o más ( para prensas que moldean piezas de 2 o más Kg ). Por otro lado el molde puede ser de una o más cavidades; se tienen ejemplos de moldes de 240 cavidades con los cuales se obtienen resultados satisfactorios, por tal motivo se puede afirmar que las prensas de inyección son máquinas con elevada productividad.

## Inyección de plásticos.

Para ejemplificar el principio de funcionamiento de una prensa de inyección tomaremos la Fig 2.8 que es un esquema elemental de una prensa de inyección, en donde se pueden observar sus partes más importantes.

Las funciones principales de las prensas de inyección son las siguientes:

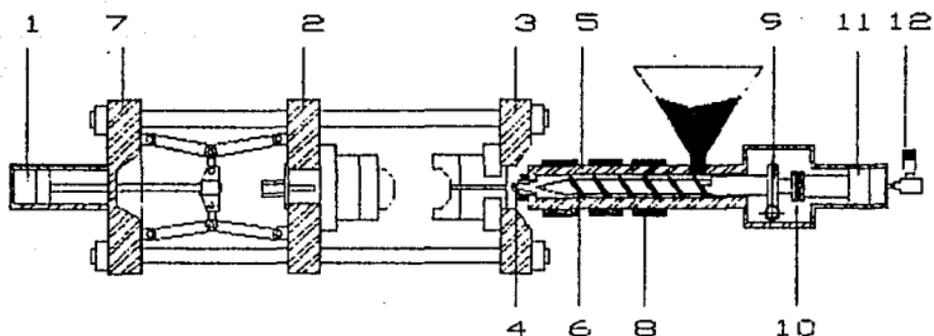
- A) Cierre del molde debido a la acción del pistón de cierre-apertura (1).
- B) Inyección del material fundido, en donde el pistón de inyección (11) empuja el husillo (6) hacia adelante transportando el material plastificado de la cámara de inyección (5) al molde.
- C) Sostenimiento del material dentro del molde, en donde el pistón de inyección (11) sostiene el husillo adelante un tiempo determinado, con menor presión que la de inyección.
- D) Plastificación del material, terminando la fase de sostenimiento, el husillo comienza a girar accionado por el motorreductor (9), éste movimiento combinado con la forma de tornillo sin fin del husillo

## Inyección de plásticos.

ocasiona que el material de la tolva sea transportado hacia la parte delantera de la cámara de plastificación, durante éste camino, el material se plastifica por efecto del calor generado por las resistencias (8), además de que contribuye el roce del material con el husillo y la pared de la cámara de plastificación. Durante el paso del material hacia adelante el husillo es empujado hacia atrás, ya que el pistón de inyección queda libre, sin embargo se puede utilizar lo que se conoce como contrapresión y que no es otra cosa más que una válvula (12) localizada a la salida del pistón de inyección que puede regularse para forzar el regreso del husillo y ayudar a la plastificación.

- E) Pausa para enfriamiento de las piezas inyectadas; durante éste periodo de tiempo, el cilindro de cierre-apertura permanece con presión, evitando así cualquier apertura del molde.
- F) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada, gracias a la acción del pistón de cierre-apertura.

FIG. 2.8  
PRENSA DE INYECCION



- 1.-Pistón de cierre-apertura; 2.-Platina móvil; 3.-Platina fija; 4.-Boquilla; 5.-Cilindro de plastificación; 6.-Husillo  
7.-Cabezal; 8.-Bandas calefactoras; 9.-Motor hidráulico (motorreductor); 10.-Acoplamiento; 11.-Pistón de inyección; 12.-Válvula de contrapresión.

## 2.2.2 .- CONJUNTO DE CIERRE DE MOLDE.

Este es el órgano de la máquina que tiene las funciones de sostener el molde, hacer el cierre y apertura del mismo, generar la fuerza necesaria para mantener cerrado el molde durante la fase de inyección y genera la expulsión de las piezas moldeadas durante la apertura del molde.

Existen en la actualidad 3 diferentes sistemas de cierre que son:

- Cierre por rodillera (Sencilla o Doble).
- Cierre por pistón.
- Cierre mixto rodillera-pistón.

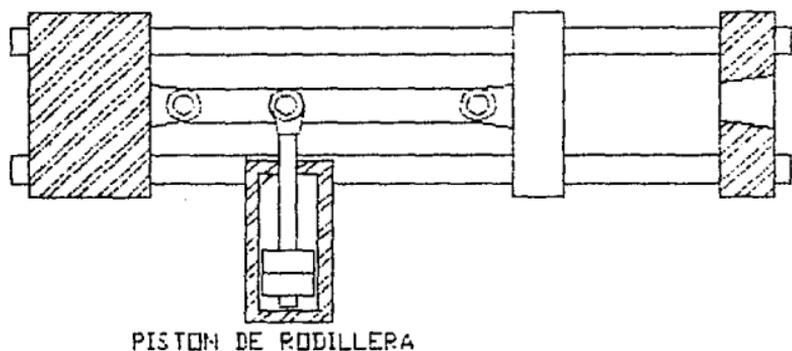
De éstos 3 sistemas, el más utilizado es el de rodillera doble, en especial para prensas con fuerza de cierre hasta de 1000 ton.

### 1.- Cierre por Rodillera Simple:

Es importante aclarar que la rodillera consiste en un sistema de bielas que multiplican la fuerza que se les aplica, realizando la fuerza de cierre necesaria; la multiplicación de fuerza varía de 15 a 25 veces para una rodillera simple y de 25 a 50 veces para una rodillera doble, en donde la fuerza es normalmente proporcionada por un cilindro hidráulico.

En la Figura 2.9 se muestra un esquema de una prensa con rodillera simple, la cual está constituida por un sistema de biela que acciona al centro del grupo entre la platina móvil y el cabezal, impulsada por un cilindro hidráulico. En la actualidad la rodillera simple se usa para máquinas con fuerza de cierre hasta de 70 toneladas.

FIGURA 2.9  
CIERRE DE RODILLERA SIMPLE



## 2.- Cierre por Rodillera Doble:

El sistema de rodillera doble es el más usado hoy en día en todo el mundo, para máquinas con fuerza de cierre hasta de 1000 toneladas. La razón de tal difusión es el de que éste sistema permite altas velocidades para el cierre y apertura, y por tanto menor tiempo total de ciclo.

En la Figura 2.10 se muestra un esquema de un sistema de cierre con rodillera doble en donde el cilindro hidráulico acciona la rodillera, la cual a su vez acciona la platina móvil que lleva a cabo la apertura y cierre del molde. La rodillera está compuesta de manivelas, bielas y palancas, éstas a su vez se encuentran unidas al accionamiento del pistón mediante la cabeza de cruz. Todo el complejo de la rodillera se encuentra montado entre el cabezal y la platina móvil, la cual se desliza sobre cuatro columnas guías, fijas por un lado en el cabezal y por el otro a la platina fija, y es así como la fuerza de cierre se lleva a cabo ya que tanto el cabezal y la platina fija se encuentran fijas a la prensa.

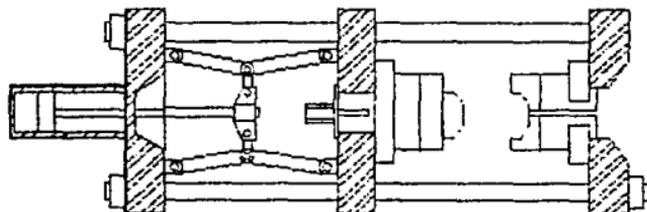
Cabe señalar que el sistema de regulación para el espesor del molde, es decir el espacio existente entre las platinas móvil y fija a rodillera cerrada, se encuentra dado por unas tuercas de ajuste que se encuentran sincronizadas entre sí por un engrane central, el cual se gira ya sea

## Inyección de plásticos.

manualmente o con un pequeño motor, regulando así el espacio; dichas tuercas se encuentran montadas una en cada columna, provocando así que el deslizamiento del cabezal sea uniforme.

FIGURA 2.10

### CIERRE POR RODILLERA DOBLE

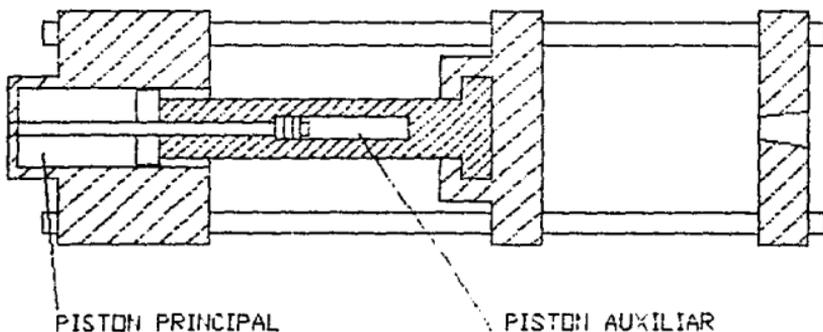


### 3.- Cierre por Pistón:

Este sistema de cierre no es muy usado actualmente en Europa, sin embargo los constructores americanos lo están adoptando ultimamente para maquinaria pesada.

Con respecto al cierre por rodillera, éste sistema de cierre es más lento, pero permite obtener grandes espesores de molde sin aumentar el costo de la máquina. En éste sistema la fase de acercamiento de la parte móvil y fija se realiza mediante un pequeño pistón central o por medio de dos cilindros laterales y que tienen por objeto disminuir el consumo de aceite hidráulico, la fuerza de cierre verdadera está dada por el pistón principal, según se muestra en la Figura 2.11.

FIGURA 2.11  
CIERRE POR PISTON

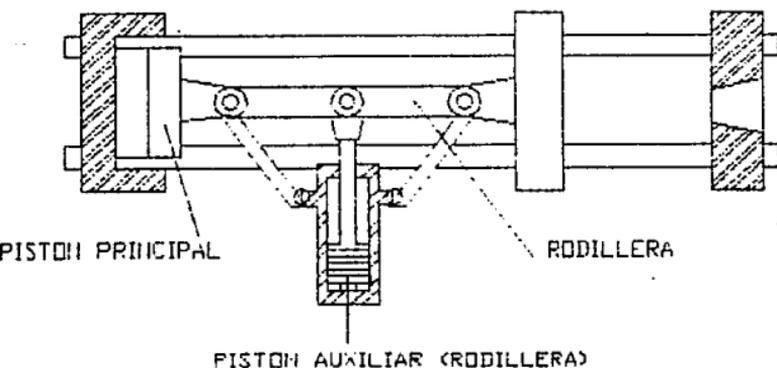


#### 4.- Cierre Mixto (Rodillera-Pistón).

Este sistema de cierre es el más costoso de todos y es utilizado básicamente por constructores de prensas en los Estados Unidos.

El sistema presenta la ventaja de que la fase de acercamiento del molde se realiza mediante la rodillera, y la fase de compresión del molde se realiza mediante el pistón principal que ejerce la fuerza de cierre sobre el molde a través de la rodillera, como se muestra en la Figura 2.12.

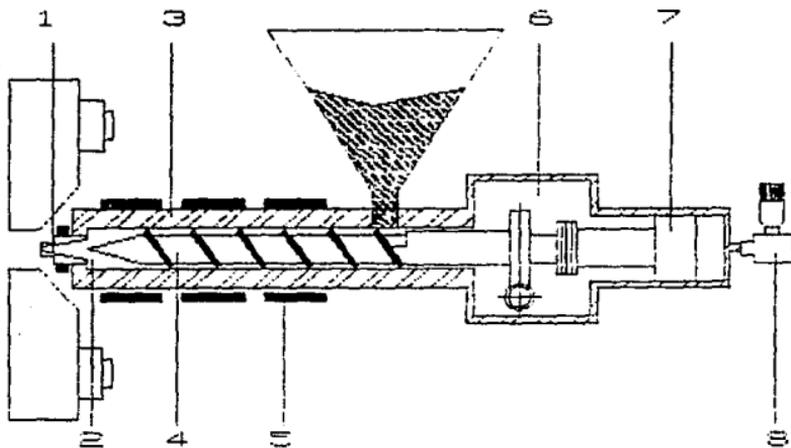
FIGURA 2.12  
CIERRE MIXTO



2.2.3 .- CONJUNTO DE INYECCION.

Este es la parte de la maquina que lleva a cabo la alimentación de material, la plastificación del mismo y la inyección en el molde. En la Fig. 2.13 se puede observar como está compuesto:

FIG. 2.13  
CONJUNTO DE INYECCION



1.- Boquilla; 2.- Cámara de plastificación; 3.- Cilindro o cañón; 4.- Husillo; 5.- Resistencias calefactoras; 6.- Motor hidráulico; 7.- Pistón de inyección; 8.- Válvula de contrapresión.

## Inyección de plásticos.

Normalmente las máquinas de inyección pueden ser dotadas de 3 tipos de cilindros de plastificación, teniendo cada uno un diámetro diferente de husillo; éstos cilindros por acuerdo internacional se denominan como N.1 , N.2 y N.3.

En la mayoría de los casos, se emplea el cilindro de plastificación N.2, ya que es el cilindro medio, provisto de un husillo con una presión específica de inyección de 1500 bar, con éste valor se pueden moldear casi todos los materiales existentes en el mercado. Sin embargo hoy en día se deben moldear piezas con paredes muy sólidas, para la cual se utilizan materiales muy viscosos en estado termoplástico como el PVC, policarbonato, etc; para eso se necesita mayor presión específica de inyección y por lo tanto se utiliza el cilindro N.1 que tiene una presión de 2000 bar.

Para el moldeo de materiales más fluidos como el polietileno, polipropileno, etc, o cuando se tengan que moldear piezas de espesor elevado se emplea el cilindro N.3 que tiene una presión específica de 1200 bar.

En la tabla 2.1 se muestran las características de los 3 tipos de cilindros de inyección para una prensa de 360 toneladas.

Tabla 2.1

Características de los cilindros de plastificación  
de una prensa de 360 Ton.

CARACTERISTICAS		CILINDRO		
		N.1	N.2	N.3
Diámetro del Tornillo	mm	60	70	80
Volúmen Efectivo de Iny.	cm <sup>3</sup>	745	1015	1325
Capacidad Efectiva de Iny. (Poliestireno)	g	780	1065	1390
Presión Específica Máx.	bar	2050	1510	1150

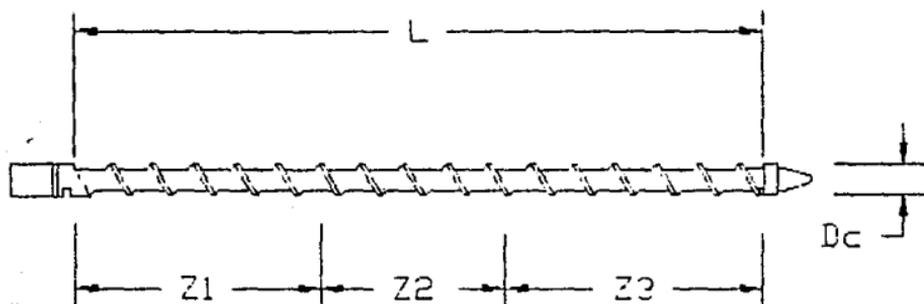
(Injection Molding Handbook - Dominick V. Rosato)

La forma del husillo es un factor muy importante para obtener buenos resultados en el moldeo, generalmente se utilizan husillos de tipo "universal", que sirven para plastificar la mayoría de los materiales, solo en algunos casos especiales tales como el del PVC son necesarios husillos especiales para evitar la degradación del material.

Las principales características de un husillo son las mostradas en la Figura 2.14 :

FIG. 2.14

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN HUSILLO



- Donde:
- $L$  = Longitud del husillo
  - $D_c$  = Diámetro del husillo
  - $Z_1$  = Zona de alimentación.
  - $Z_2$  = Zona de compresión.
  - $Z_3$  = Zona de mezclado.

## Inyección de plásticos.

Estas características dan lugar a relaciones y proporciones que definen todas las cualidades del husillo:

- Relación L/D .- Es la proporción de cuántas veces cabe el diámetro en la longitud del husillo, coincidiendo en algunas ocasiones con el número de cuerdas o filetes. Las L/D más comunes son de 20:1, 24:1, 28:1, 30:1 y 36:1. siendo las de mayor uso las dos primeras. Los diámetros más comunes son de 30, 45, 50, 60, 75, 120 y 150 mm; se considera la longitud del husillo de la primera cuerda hasta la punta del mismo. La ventaja de L/D grandes es que se logra una mayor plastificación y un excelente mezclado, además de tener un mejor control de temperaturas.
- Relación de Compresión .- Es la proporción de cuántas veces cabe la altura de la primera cuerda en la altura de la última cuerda. Debido a que el husillo no presenta paredes paralelas sino que éstas inician una inclinación hacia su punta, van dejando un menor espacio entre el husillo y el cilindro; de tal forma que al principio se comprime el material para fundirlo y al final se deja un menor espacio para dejar paso al material plastificado. Las relaciones de compresión más comunes son: 3:1 y 3.5:1.

## Inyección de plásticos.

- Zonas del Husillo .- Los husillos se dividen en 3 zonas, de acuerdo a la variación de la profundidad del filete, es decir la primera cuerda presenta una  $h_1 = h_i$  y permanece aproximadamente constante hasta un  $h_2$  donde cambia y que permanece constante hasta llegar a la siguiente zona donde cambia a una  $h_3$  que es igual a la  $h_f$ . Estas tres zonas son:

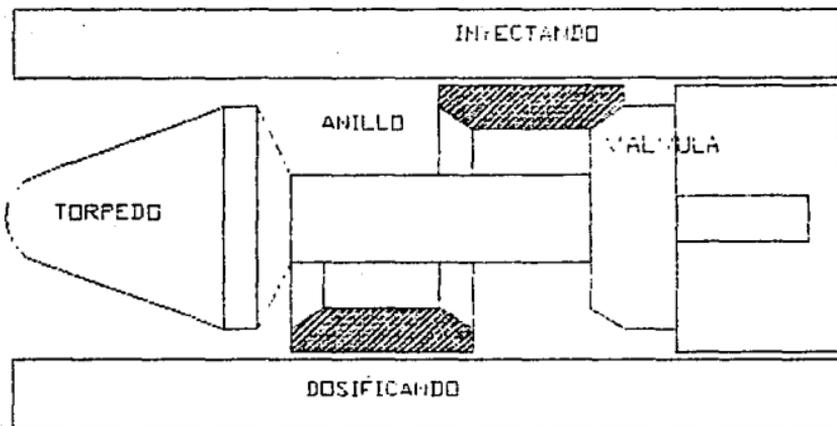
- A) Alimentación: Su función es tomar el material en forma de pellets, transportarlo, comprimirlo y alimentarlo a la zona de compresión.
- B) Compresión: En ella se efectúa la transición del polímero de su estado sólido a un estado viscoelástico. De ésta forma el material logra estar lo suficientemente viscoso y deformable para que se mezcle homogéneamente y se transporte a la zona de mezclado libre.
- C) Mezclado: Esta zona mantiene el estado viscoelástico del material y termina de homogeneizarlo para enviarlo al molde.

Sobre la cabeza del husillo se monta una válvula de no retorno, que tiene la finalidad de impedir el regreso del material plastificado al husillo durante la fase de inyección, esta válvula se monta en todos los tornillos

Inyección de plásticos.

exceptuando en el de PVC donde el paso debe ser libre. En la Fig. 2.15 se muestra un diagrama de esta válvula en sus 2 posiciones.

FIG. 2.15  
VÁLVULA DE NO RETORNO



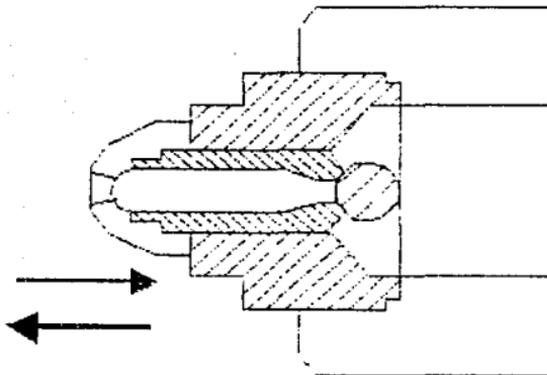
Otra de las partes importantes del cilindro de plastificación es la boquilla, la cual tiene la finalidad de canalizar el material fundido del cilindro al bebedero del molde. Existen una gran diversidad de boquillas, sin embargo las más comunes son las siguientes:

## Inyección de plásticos.

- **Automática** : Es aquella que presenta un mecanismo el cual es accionado con la inyección que abre la boquilla permitiendo el paso del polímero, una vez terminada ésta, se cierra para evitar el escurrimiento de material. Se muestra en la Fig. 2.16.

FIGURA 2.16

### BOQUILLA AUTOMÁTICA



- **Libre**: Es aquella que no presenta ninguna restricción para el paso del polímero. En éste tipo de boquillas existe otra clasificación:

## Inyección de plásticos.

### Por su forma exterior:

- **Convexa:** Se refiere al tipo de boquilla que posee una curvatura que se acopla al canal del bebedero del molde de tal manera que facilita la inyección. Se muestra en la Fig. 2.17a
- **Plana:** Este tipo de boquilla se utiliza cuando no existe bebedero en el molde por lo cual la inyección es directa. Se muestra en la Fig. 2.17b.

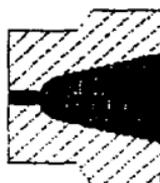
### Por su tipo de Orificio:

- **Cónico:** Es el más sencillo de fabricar y por lo tanto el más utilizado para la mayoría de los materiales. Se muestra en la Fig. 2.17c.
- **Cilíndrico:** Se utiliza para reducir la resistencia al flujo en materiales sumamente viscosos. Se muestra en la Fig. 2.17d.

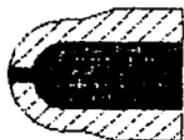
FIGURA 217  
BOQUILLAS LIBRES



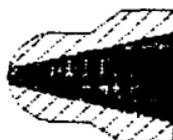
A) CONVEXA



B) PLANA



C) CILINDRICO



D) CONICO

#### 2.2.4 .- EQUIPO PERIFERICO.

Además de la prensa de inyección, existen una serie de equipos que no son indispensables para el moldeo, pero que si ayudan notablemente en el proceso, y que gracias a ellos actualmente éste se puede realizar de una manera completamente automática, tales equipos son:

##### **Enfriador :**

Su función es la de proveer de agua fría al sistema hidráulico de la prensa para mantener al aceite a buena temperatura de trabajo, también abastece de agua fría al molde cuando éste así lo requiere.

##### **Termoregulador:**

Tiene como finalidad la de mantener la temperatura del molde homogénea circulando en él, aceite templado, la temperatura de éste depende del material a inyectar.

##### **Dehumificador:**

Elimina la humedad que adquieren algunos materiales higroscópicos, evitando así que el material pase al cilindro de plastificación con cierta humedad y puedan salir ráfagas en las piezas. La temperatura de dehumificación así como el tiempo también son diferentes para cada material.

## Inyección de plásticos.

### **Cargadores:**

Su función es transportar el material de los recipientes contenedores o almacenadores a la tolva de alimentación de la prensa continuamente, de manera de que nunca le falte material.

### **Mezcladores:**

Tiene la finalidad de mezclar el plástico virgen con aditivos, pigmentos o remolidos en cantidades exactas, de acuerdo a las especificaciones del producto.

### **Molino:**

Es muy utilizado para triturar el desperdicio generado durante el proceso, ya sea el que se produce por la colada o por piezas de mala calidad. Este molido puede ser reutilizado en el proceso suministrado en pequeños porcentajes por cada ciclo.

### **Motores de desenrosque:**

Estos son pequeños motores hidráulicos que sirven para generar transmisión a los moldes de desenrosque, obtienen su potencia ya sea por un generador hidráulico independiente a la prensa o a través del sistema de la misma. Son motores con bajas revoluciones y altos pares de fuerza.

## Inyección de plásticos.

### 2.2.5 .- CONDICIONES DE ALGUNOS PLASTICOS PARA EL MOLDEO POR INYECCION.

A continuación se presentaran tablas de los principales materiales termoplásticos, en cada una de ellas se describen las características principales del plástico y las condiciones recomendables para su inyección. Todos los datos de estas tablas fueron obtenidos del Prontuario de Materiales Plásticos - Sandretto.

TABLA 2.2

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. ACETATO DE CELULOSA

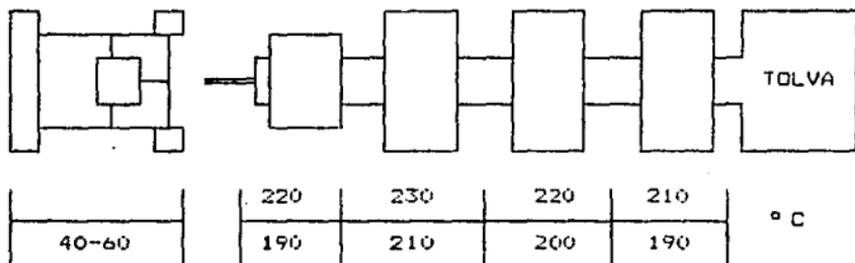
ESTRUCTURA. AMORFA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

CA

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.28
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	63 - 80
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	1500-2200
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	11-26



TEMPERATURA DE FUSION: 130-170 °C

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.3 - 0.7 %

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

Pre calentamiento en aire a 80 °C por 3 hrs.

TABLA 2.3

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIMETIL METACRILATO

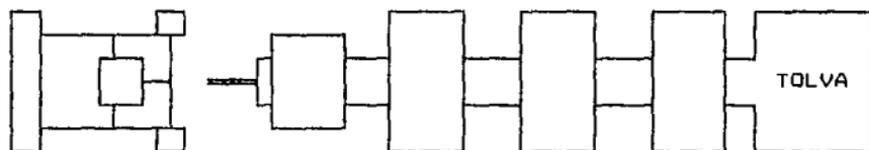
ESTRUCTURA. AMORFA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

PMMA

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.18-1.20
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	90-110
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	3000-3400
RESISTENCIA AL IMPACTO 1Z0D	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	5-12



	220	210	200	190	°C
50-80	200	190	180	170	

TEMPERATURA DE FUSION: 150-180 °C

PRESION DE INYECCION: 1000-1600 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 500-800 BAR

CONTRAPRESION: 100-160 BAR

CONTRACCION : 0.4-0.8 %

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

Calentamiento en aire a 70 °C por 3 hrs.

TABLA 2.4

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIETILENO BAJA DENSIDAD

TERMOPLASTICO

ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

SIMBOLO ISO

PELD

	NORMA	UNIDADES	VALOR
FESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	.918-.930
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	85-100
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	600-800
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	NO SE ROMPE



TEMPERATURA DE FUSION: 110°C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 500-1000 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 250-500 BAR Ninguno.

CONTRAPRESION: 50-100 BAR

CONTRACCION : 0.6-1.2 %

TABLA 2.5

INYECCION DE PLASTICOS

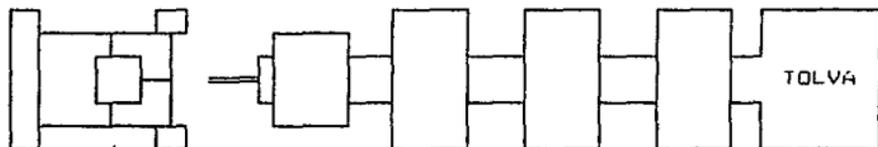
MATERIAL. POLIETILENO ALTA DENSIDAD  
 ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

FEHD

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	.950-.965
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	° C	90-105
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	800-1300
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	4-14



	240	250	240	220	° C
30-50	210	220	210	190	

TEMPERATURA DE FUSION: 130 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR Ninguno.

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.6-1.2 %

TABLA 2.6

INYECCION DE PLASTICOS

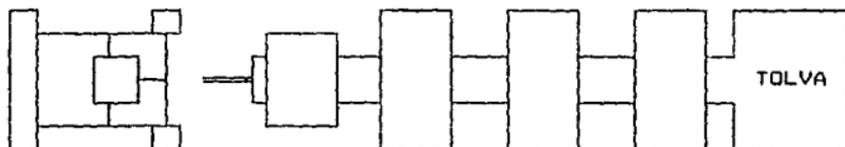
MATERIAL. POLIPROPILENO  
 ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

PP

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	0.90
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	° C	95-115
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	1200-1500
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	6-12



30-50	270	270	260	250	° C
	240	240	230	220	

TEMPERATURA DE FUSION: 165 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

FRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR Ninguno.

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.5-1 %

TABLA 2.7

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO.

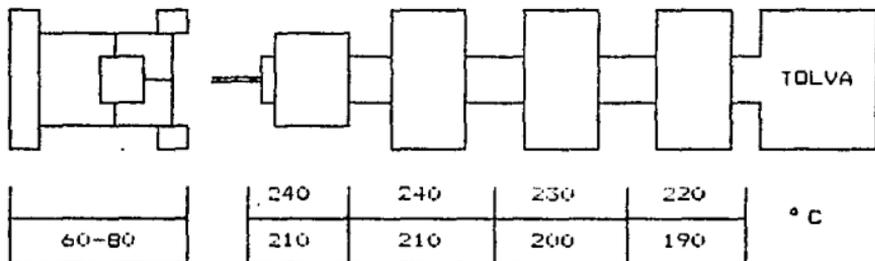
TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

ESTRUCTURA. AMORFA

ABS

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.03-1.06
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	92-100
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	2000-2800
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	10-24



TEMPERATURA DE FUSION: 170-200 °C

TRATAMIENTO FRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR

Calentamiento en aire a 70 °C por 2 hrs.

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.4-0.7 %

TABLA 2.8

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIESTIRENO BUTADIENO  
 ESTRUCTURA. AMORFA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

SB

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.04-1.10
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	85-90
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	1400-3000
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	3-6



TEMPERATURA DE FUSION: 130-160 °C

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.3-0.6 %

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

Calentamiento en  
 aire a 60 °C por  
 3 hrs.

TABLA 2.9

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. ESTIRENO ACRILONITRILLO

TERMOPLASTICO

ESTRUCTURA. AMORFA

SIMBOLO ISO

SAN

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.08
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	° C	95-100
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	3500
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	2-4



TEMPERATURA DE FUSION: 140-170 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR

Calentamiento en aire a 70 °C por 2 hrs.

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.4-0.6 %

TABLA 2.10

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. FOLICLORURO DE VINILO

ESTRUCTURA. AMORFA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

PVC

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	$g/cm^3$	1.35-1.40
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	$^{\circ}C$	75-80
MODULO ELASTICO	ASTM D790	$N/mm^2$	2500-3000
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	$mJ/mm^2$	4-11



TEMPERATURA DE FUSION: 130-160  $^{\circ}C$

PRESION DE INYECCION: 1000-1600 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 500-800 BAR

CONTRAPRESION: 100-160 BAR

CONTRACCION : 0.4-0.8 %

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

Calentamiento en aire a 60  $^{\circ}C$  por 2 hrs

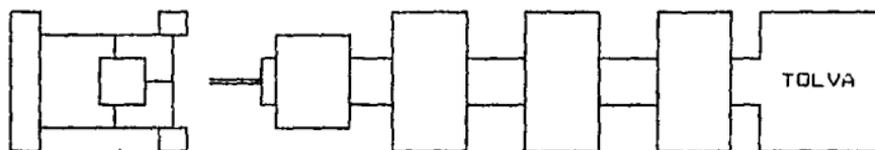
TABLA 2.11

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIACETAL  
 ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

TERMOPLASTICO	
SIMBOLO	ISO
POM	

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.42
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	160
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	2800
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	7-10



60-90	210	200	200	190	°C
	190	180	180	170	

TEMPERATURA DE FUSION: 175 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 600-1500 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-750 BAR Ninguno.

CONTRAPRESION: 60-150 BAR

CONTRACCION : 1.5-3.5 %

TABLA 2.12

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIAMIDA 66 (NYLON 66)

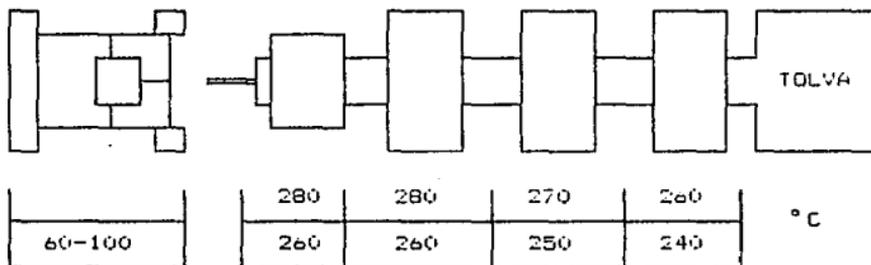
ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

PA 66

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.14
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	200
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	2500
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	12-15



TEMPERATURA DE FUSION: 255 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR Ninguno.

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 1.2 - 2.5 %

TABLA 2.13

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIAMIDA 6 (NYLON 6)

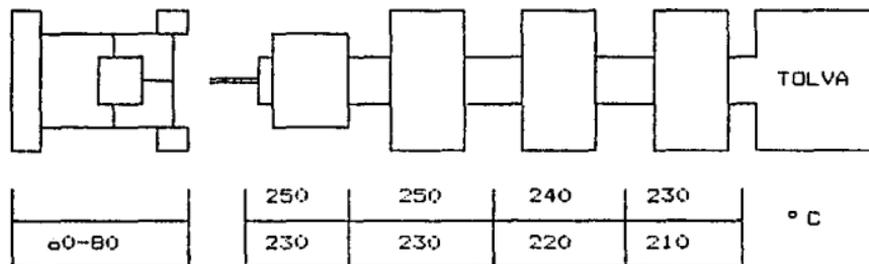
TERMOPLASTICO

ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

SIMBOLO ISO

PA 6

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.14
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	165
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	1200-1700
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	25



TEMPERATURA DE FUSION: 220 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 800-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 400-600 BAR Ninguno.

CONTRAPRESION: 80-120 BAR

CONTRACCION : 0.8-2 %

TABLA 2.14

INYECCION DE PLASTICOS

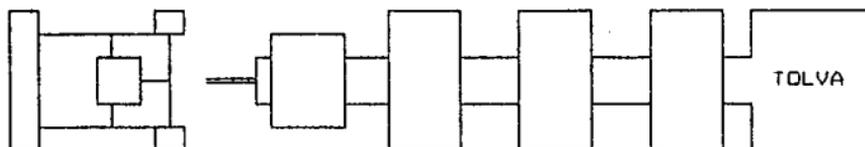
MATERIAL. POLICARBONATO  
 ESTRUCTURA. AMORFA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

PC

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.2
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	145-150
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	2300
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	60-80



	310	320	310	300	°C
80-120	290	300	290	280	

TEMPERATURA DE FUSION: 220-260 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 1000-1200 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 500-600 BAR

Calentamiento en aire a 120 °C por 8 hrs.

CONTRAPRESION: 100-120 BAR

CONTRACCION : 0.5-0.8 %

TABLA 2.15

INYECCION DE PLASTICOS

MATERIAL. POLIBUTILENTEREFTALATO

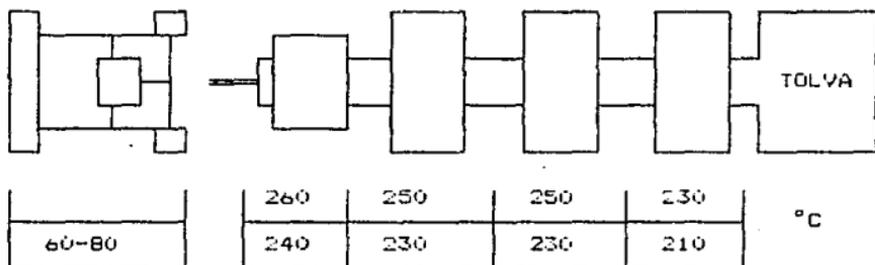
TERMOPLASTICO

ESTRUCTURA. SEMICRISTALINA

SIMBOLO ISO

FBT

	NORMA	UNIDADES	VALOR
FESO ESPECIFICO	ASTM D792	$g/cm^3$	1.30
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	$^{\circ}C$	180
MODULO ELASTICO	ASTM D790	$N/mm^2$	2500
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	$mJ/mm^2$	9-10



TEMPERATURA DE FUSION: 225  $^{\circ}C$

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 1000-1400 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 500-700 BAR

Calentamiento en aire a 120  $^{\circ}C$  por 4 hrs.

CONTRAPRESION: 100-400 BAR

CONTRACCION : 1.2 - 2.8 %

TABLA 2.16

INYECCION DE PLASTICOS

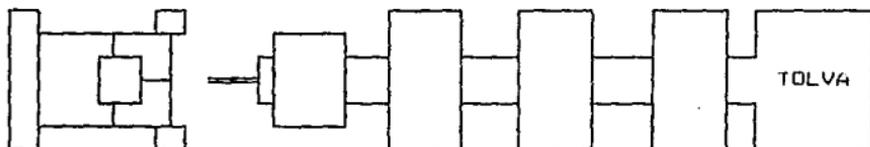
MATERIAL. POLIOXIDO DE FENILENO  
 ESTRUCTURA. AMORFA

TERMOPLASTICO

SIMBOLO ISO

PFO

	NORMA	UNIDADES	VALOR
PESO ESPECIFICO	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.06
TEMPERATURA DE REBLANDECIMIENTO	ASTM D1525	°C	130
MODULO ELASTICO	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	2500
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD	ISO 180	mJ/mm <sup>2</sup>	20



	290	300	290	270	°C
80-100	270	280	270	250	

TEMPERATURA DE FUSION: 240-270 °C

TRATAMIENTO PRE INYECCION :

PRESION DE INYECCION: 1000-1500 BAR

PRESION DE SOSTENIMIENTO: 500-750 BAR

Calentamiento en aire a 110 °C por 4 hrs.

CONTRAPRESION: 100-150 BAR

CONTRACCION : 0.5-0.8 %

2.2.6.- SELECCION DE LA PRENSA

Como se mencionó en las generalidades, la forma de selección para una prensa de inyección, depende del area de la pieza a inyectar, y de la presión específica que dará el husillo a utilizar, como el material a utilizar en la tapa pilón es polipropileno, se utilizara un husillo No.2 que tiene una presión específica de 1500 bar, y el radio de la pieza es de 9 mm, por lo tanto:

$$A = 3.1416 * (9)^2 = 254.46 \text{ mm}^2 * 16 \text{ (No. cavidades)}$$

$$A = 4071.36 \text{ mm}^2$$

Multiplicando por un factor que supone el area de la colada:

$$A = 4071.36 * (1.2) = 4885.63 \text{ mm}^2$$

De la formula:  $P = F/A$

$$F = 48.8563 \text{ cm}^2 * (1500 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$F = 73284.45 \text{ Kg} = 73.28 \text{ Ton (requeridas)}$$

Tomando en cuenta de que una prensa de inyección, como cualquier otra maquinaria, no debe trabajar al 100 %, tenemos que:

$$F = 73.28 * (1.15) = 85 \text{ Ton de cierre reales.}$$

## CAPITULO No. 3 .- ACEROS

## 3.1 .- GENERALIDADES.

El acero es una aleación maleable de hierro y carbono, cuyo contenido de carbono esta generalmente comprendido entre 0.03 y 1.70 % ; además puede contener elementos de aleación con la finalidad de influir las propiedades químicas, físicas y mecánicas. No contiene escoria y se puede moldear, laminar y forjar. El carbono es un constituyente muy importante, por su habilidad de aumentar la dureza y la resistencia del acero, no obstante que el acero puede ser vaciado en moldes para conformarlo a un perfil y tamaño definido y complejo; lo más común es que se le moldee en forma de lingotes, para usarlo después, en la fabricación de tubos, barras, láminas o formas estructurales. Una de las características más importantes de los aceros es responder sensiblemente al cambio de propiedades por " Tratamiento Térmico ", en función del contenido de carbono.

El acero se produce a partir del arrabio, que es el producto de los altos hornos que resulta de la reducción del mineral de hierro, mediante la eliminación de impurezas en un horno básico de oxígeno, en un horno de hogar abierto o en un horno electrico.

### 3.2 .- CLASIFICACION DEL ACERO.

Para clasificar el acero se pueden utilizar varios metodos :

A) Por sus usos :

- Maquinaria.
- Construcción.
- Herramientas.

B) Por su composición química :

- Al carbono.
- Aleados.

#### 3.2.1 .- CLASIFICACION POR SU USO.

Este método se refiere generalmente al uso final que se le dará al acero, como acero para máquinas, acero estructural, o acero para herramientas; de ésta clasificación destacan por su amplia aplicación los aceros para herramientas.

El método de identificación y tipo de clasificación de los aceros para herramientas adoptado por la AISI (American Iron And Steel Institute) tiene en cuenta el método de templado, aplicaciones, características particulares y

aceros especiales. Los aceros para herramienta más utilizados se han agrupado en siete divisiones y a cada subdivisión o subgrupo se le ha asignado una letra del alfabeto como sigue :

GRUPO	SIMBOLO	TIPO
Templados en agua	W	Templabilidad al agua
Resistentes al impacto	S	Templabilidad al aceite
Trabajo en frío	O	Templable en aceite
	A	Mediana aleación y temple al aire.
	D	Alto carbono y alto cromo.
Trabajo en caliente	H	H1-H19 inclusive, base cromo.
		H20-H39 inclusive, base tungsteno.
		H40-H59 inclusive, base molibdeno.

Alta velocidad	T	Tungsteno
	M	Molibdeno
Moldes	P	P1-P19 inclusive, bajo carbon.
		P20-P39 inclusive.
Propósitos especiales	L	Baja aleación.
	F	Carbono - Tungsteno

## GRUPO W :

Del inglés WATER (Agua), presentan templabilidad al agua, sin riesgo de fracturas; los más comunes son del W1 al W7. Estos aceros se templean a una temperatura aproximada de 790 - 830 ° C y alcanzan una dureza de 58 - 64 HRC. Se utilizan mucho para la fabricación de muelles y resortes. Poseen una superficie resistente al desgaste y un núcleo de excelente tenacidad.

## GRUPO S :

Del inglés SHOCK (Choque), éste acero es muy recomendable para trabajos donde el esfuerzo mecánico a soportar es el choque o impacto; van del S1 al S55. El temple de estos aceros es al aceite entre 920 - 960 ° C,

alcanzando durezas entre 42 - 50 HRC. Por su alta resistencia al golpe se utilizan para trabajos en frío y en caliente. Se utilizan también, para cinceles, herramientas neumáticas y hojas de cizalla; los más comunes son S1, S2, S5 y S7.

#### GRUPOS O, A y D :

Los tres son aceros para trabajo en frío, de gran resistencia al corte y al desgaste. El tipo "O" del inglés OIL (Aceite), el cual tiene temple al aceite, de buena maquinabilidad, utilizado para la fabricación de troqueles de corte complicado, presenta una temperatura de temple entre 790 - 820 °C, alcanzando una dureza de 58 - 64 HRC, se tienen principalmente el O1, O2 y O7; se utilizan también para machuelos, herramientas de rosca y rimas. El tipo "A" del inglés AIR (Aire) presenta un temple al aire y se tienen principalmente del A2 al A10; su principal característica es su excelente estabilidad dimensional y buena resistencia al desgaste. Son útiles para troqueles, sierras, bujes, calibradores, punzones, etc. El tipo "D" del inglés DRILL (Perforar), que tienen alto cromo y alto carbono son de gran resistencia al desgaste, se usan principalmente en la fabricación de troqueles, presentan una temperatura de temple de 960 - 1020 °C y alcanzan durezas entre 58 - 64 HRC, se tienen del D1 al D7, poseén también

Buena estabilidad dimensional, se utiliza también en piezas sometidas a la fricción y herramientas de alta duración.

GRUPO H :

Del inglés HOT (Caliente), recomendados para trabajos en caliente, continuos choques termicos, dados de forja, herramientas para extrusión, moldes de inyección, etc. Del H1 al H19 son aceros al cromo, del H20 al H39 al tungsteno y del H40 al H50 al molibdeno. Las temperaturas de temple recomendadas son de 990 - 1040 °C, alcanzando durezas de 48 - 54 HRC y no son aptos para cementar. Mantienen su dureza a muy altas temperaturas; son aceros finos.

GRUPOS T y M :

El tipo T son aceros al tungsteno que van del T1 al T9, con temperaturas de temple entre 1260 - 1310 °C y durezas entre 60 - 65 HRC, se utilizan en herramientas de corte de alto rendimiento, son aceros de alta velocidad. Tienen alta resistencia al desgaste.

El tipo M son aceros al molibdeno y van del M1 al M10, M15, M30, M35 y M36, son aceros rápidos indicados para herramientas de corte con alta tenacidad, tienen una temperatura de temple de 1190 - 1230 °C y alcanzan durezas

de 60 - 65 HRC. Poseen buena resistencia al desgaste y a pesar de la dureza alcanzada, es fácil de rectificar. Se utiliza en la fabricación de brocas, rimas, etc.

GRUPO P :

Del inglés PATTERN (Molde), son aceros para moldes que van del P1 al P6, propios para el clavado de cavidades para la industria del plástico ya que aseguran un pulido a espejo perfecto, presentan una temperatura de temple de 970 - 1000 °C alcanzando durezas de 60 - 64 HRC templados al aceite. Estos aceros se pueden cementar alcanzando durezas similares a las obtenidas en el temple. Poseen buena maquinabilidad y alta resistencia al desgaste. El problema con estos aceros es que casi no se encuentran en México.

GRUPO L y F :

El tipo L del inglés LOW (Bajo), es un acero de baja aleación de muy alta tenacidad, con una temperatura de temple de 790 - 850 °C con temple al aire y al aceite, con durezas entre 58 - 62 HRC y van del L1 al L7.

El tipo F que van del F1 al F3 son aceros para herramientas para aplicaciones especiales y contienen principalmente tungsteno.

### 3.2.2 .- CLASIFICACION POR SU COMPOSICION QUIMICA .

#### 1.- ACEROS AL CARBONO :

Son aquellos cuyas propiedades particulares son debidas principalmente a la presencia de ciertos porcentajes de carbono sin cantidades sustanciales de otros elementos de aleación.

Un acero con respecto a su contenido de carbono, se puede clasificar según el diagrama Hierro-Carbono en :

Aceros de Bajo Carbono.

Aceros de Medio Carbono.

Aceros de Alto Carbono.

#### ACEROS DE BAJO CARBONO :

Es un acero que no contiene el carbono suficiente para adquirir temple cuando se calienta a una cierta temperatura de transformación y se enfría rápidamente en aceite o al aire. Sin embargo si se utiliza el agua como medio de enfriamiento, éstos aceros si adquieren temple. El contenido de carbono puede variar desde 0.05 a 0.20 %.

Con este tipo de acero se fabrican clavos, tornillos, elementos de máquina, malla, roldanas, en fin, piezas que no van a resistir gran esfuerzo. Se fabrica también lámina; es el principal producto de éste tipo de acero utilizado en

conservas alimenticias, lámina galvanizada para la construcción, láminas de buena calidad utilizadas en automóviles, muebles, refrigeradores y una gran cantidad de productos.

#### ACEROS DE MEDIO CARBONO :

Este acero es más resistente que el anterior, debido al aumento de carbono y por consiguiente se logra aumentar más aun su resistencia mecánica mediante la aplicación de un tratamiento térmico. El contenido de carbono puede variar desde 0.20 a 0.60 %.

Estos aceros se emplean para fabricar una amplia variedad de piezas como tuercas, tornillos, pernos, elementos de fijación, guías, pasadores, cigüeñales, etc; que en su vida útil estarán sometidos a esfuerzos mecánicos de consideración. Se utilizan mucho en la industria de la construcción como aceros estructurales, disponibles en placas, pilotes, barras, varillas, perfiles y todo tipo de laminados en caliente.

#### ACEROS DE ALTO CARBONO :

Contienen desde 0.60 a 1.30 % de carbono y es por el alto contenido de éste que su ductilidad se ve reducida en mucho, por lo que un acero de ésta naturaleza se utiliza cuando la dureza es más importante que la ductilidad.

Encuentran su aplicación en herramientas de corte y piezas con propiedades de resistencia a la abrasión.

## 2.- ACEROS ALEADOS.

Un acero aleado es al que se le ha añadido algún elemento además del carbono, tal como níquel, cromo, molibdeno, tungsteno, vanadio, manganeso, etc; con el fin de mejorar o cambiar sus propiedades físicas.

Los aceros aleados se clasifican de la manera siguiente :

- Aceros de Baja Aleación .- En los cuales la suma de los elementos de aleación sin contar el carbono es menor del 8 %.
- Aceros de Alta Aleación .- En los cuales la suma de los elementos de aleación sin contar el carbono es mayor al 8 %.

Aun cuando todos los aceros aleados no contienen todas las características siguientes, se les adjudican:

- Mejor ductilidad sin disminución de la resistencia a la tensión.
- Facilidad de ser endurecido por enfriamiento brusco en aceite o en aire en vez de agua, disminuyendo así la posibilidad de rajaduras o torceduras.

- Habilidad de retener propiedades físicas a altas temperaturas.
- Baja tendencia a la corrosión y al desgaste.

La SAE (Society of Automotive Engineers) junto con la AISI (American Iron and Steel Institute) clasifican por grupos al acero de acuerdo a su aleación. Esta clasificación es realizada mediante un sistema numérico de series de cuatro dígitos correspondientes a los distintos tipos de acero al carbono y aleados.

#### ACEROS AL CARBONO.-

- 1XXX Aceros al carbono
- 10XX Aceros al carbono obtenido en convertidor Bessemer ácido. Van del 1006 al 1095.
- 11XX Mecanizado libre (Resulfurizado), altos en azufre, bajos en fósforo, obtenidos en convertidor Bessemer ácido. Van del 1108 al 1151.
- 12XX Resulfurizado y refoforizado. Alto en azufre y fósforo. Van del 1211 al 1214.

#### ACEROS ALEADOS .-

- 13XX Manganeso de 1.6 a 1.9 %. Van del 1320 al 1340.
- 2XXX Niquel.
- 23XX Niquel 3.5 %.

Aceros.

25XX	Níquel 5.0 %.
3XXX	Níquel - Cromo
31XX	Níquel 1.25 % , Cromo 0.60 %.
32XX	Níquel 1.75 % , Cromo 1.00 %.
33XX	Níquel 3.50 % , Cromo 1.50 %.
4XXX	Molibdeno.
40XX	Molibdeno 0.25 % . Van del 4024 al 4068
41XX	Molibdeno 0.20 % , Cromo 1.00 % . Van del 4130 al 4150.
43XX	Molibdeno 0.25 % , Cromo 0.50 % , Níquel 1.8 % . Van del 4317 al 4340.
46XX	Molibdeno 0.25 % , Níquel 1.75 % . Van del 4608 al 4640.
47XX	Molibdeno 0.20 % , Níquel 0.45 % .
48XX	Molibdeno 0.25 % , Níquel 3.5 % . Van del 4812 al 4820.
5XXX	Cromo.
50XX	Cromo 0.5 % .
51XX	Cromo 1.0 % . Van del 5120 al 5152.
52XX	Cromo 1.5 % . Van del 52095 al 52101.
6XXX	Cromo - Vanadio.
61XX	Cromo 1.0 % , Vanadio 0.14 % . Van del 6120 al 6152.
7XXX	Tungsteno.
8XXX	Cromo - Níquel - Molibdeno.

Aceros.

86XX	Níquel 0.55 %, Cromo 0.50 %, Molibdeno 0.20 %. Van del 8615 al 8660.
87XX	Níquel 0.55 %, Cromo 0.50 %, Molibdeno 0.25 %. Van del 8720 al 8750.
9XXX	Manganeso - Silicio , Cromo - Níquel - Molibdeno.
92XX	Manganeso 0.80 % , Silicio 2.00 %.
93XX	Cromo 1.2 % , Molibdeno 0.15 % , Níquel 3.0 % , Manganeso 0.55 % y Silicio 0.28 %.
98XX	Cromo 0.80 % , Molibdeno 0.25 % , Níquel 1.0 %. Van del 9840 al 9850.
XXBXX	Boro 0.005 %.
XXBVXX	Boro - Vanadio.

El Boro se indica con la adición de una B, el Boro - Vanadio con la adición de BV. Si aparece alguna letra antes de los números, esta indica lo siguiente:

- A .- Horno de hogar abierto
- B .- Carbono ácido Bessemer
- C .- Carbono básico horno abierto
- D .- Carbono ácido horno de hogar abierto
- E .- Horno eléctrico.

El significado total de los dígitos es el siguiente :

## Aceros.

- El primer dígito indica el grupo al cual pertenece, los grupos son los siguientes:

1	Carbono
2	Níquel
3	Cromo - Níquel
4	Molibdeno
5	Cromo
6	Cromo - Vanadio
7	Tungsteno
8	Cromo - Níquel - Molibdeno Manganeso - Molibdeno
9	Manganeso - Silicio.

- El segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento de aleación predominante.

- Las 2 ó 3 últimos dígitos expresan el contenido de carbono en centésimas de por ciento.

Ejemplo :

Acero 5140	5	Aceros al cromo
	1	Aprox. 1.0 % de Cromo
	40	Aprox. 0.40 % de Carbono
Acero 52100	5	Acero al cromo
	2	Aprox. 2.0 % de cromo
	100	Aprox. 1.00 % de carbono

Los aceros inoxidable son :

2XX	Cromo - Niquel - Manganeso
3XX	Cromo - Niquel
4XX	Cromo
5XX	Bajo Cromo

Todos los aceros inoxidable son producidos en horno eléctrico.

### 3.3 .- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES DE LOS ACEROS.

Los aceros aleados son aquellos que contienen, además de carbono y hierro, elementos de aleación tales como Cromo, Tungsteno, Vanadio, Cobalto, Manganeso, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Silicio o Azufre; éstos elementos de aleación pueden aplicarse combinados, a fin de construir un acero que satisfaga requerimientos específicos. Tales elementos se introducen en los aceros por muchas razones, entre las que cabe citar las siguientes : Asegura mayor dureza, una mayor tenacidad o una mayor resistencia, dar al acero la facultad de conservar sus dimensiones y forma durante el tratamiento térmico y de retener su dureza a temperaturas elevadas.

Las modificaciones que producen los principales elementos de aleación son las siguientes :

**CARBONO (C) :**

No se considera normalmente como elemento de aleación, sin embargo es el elemento de mayor importancia en el acero, aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza y da resistencia contra abrasión y desgaste. Baja la tenacidad y la facilidad de maquinado.

**CROMO (Cr) :**

Aumenta la templabilidad y resistencia del acero a la temperatura ambiente y a elevadas temperaturas, aumenta la resistencia a la corrosión y oxidación.

**TUNGSTENO (W) :**

Aumenta considerablemente la dureza y resistencia del acero a la temperatura ambiente y en especial a altas temperaturas. Forma carburos muy estables y resistentes al desgaste, por lo que es extraordinariamente importante su efecto en los aceros de herramientas, siendo la base de los aceros rápidos. Aumenta la templabilidad del acero.

**VANADIO (V) :**

Aumenta la resistencia, ductilidad y fatiga, afina el grano; es soluble y forma carburos aumentando la templabilidad y mejora la resistencia y dureza a elevadas

temperaturas. Impide los efectos de envejecimiento en los aceros de bajo carbono.

**MANGANESO (Mn) :**

Elemento que se agrega en la fabricación para desoxidar y desgasificar el acero. En pequeñas cantidades no tiene efecto considerable, pero en cantidades arriba del 0.5 % se combina con el azufre para formar sulfuro de manganeso, aumentando la fluidez, resistencia y dureza del acero en el tratamiento térmico, da mayor facilidad de maquinado, aumenta la resistencia a la tracción, y la resistencia a la abrasión y al desgaste, aumenta la facilidad de cementado. Del manganeso cargado originalmente, se pierde entre un 15 a un 20 % en el proceso de fundición. Se le conoce como el promotor de la tenacidad.

**COBALTO (Co) :**

Aumenta la dureza y especialmente las características de corte del acero a altas temperaturas.

**MOLIBDENO (Mo) :**

Aumenta la templabilidad, así como la dureza y resistencia a la temperatura ambiente y a elevadas temperaturas. Aumenta la resistencia al choque y a la

fluencia. Mejora la resistencia a la corrosión y evita la fragilidad del revenido.

NIQUEL (Ni) :

Aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza sin sacrificar tenacidad; también aumenta la resistencia a la corrosión cuando se introduce suficiente (8 % por lo menos ).

FOSFORO (P) :

Aumenta la dureza y la facilidad de maquinado, reduce la temperatura de fusión y aumenta la fluidez del metal fundido, produce fragilidad y a determinada temperatura se vuelve quebradizo el acero.

SILICIO (Si) :

Empleado como desoxidante, en porcentajes de .13 a .17% se forma una aleación que da resistencia a los ácidos (química) y a la corrosión. Aumenta la resistencia mecánica. En altos porcentajes se utiliza en la fabricación de núcleos de transformadores, disminuyendo las pérdidas de corriente.

**AZUFRE (S) :**

Provoca fragilidad en el acero y especialmente fragilidad en caliente; por lo que se considera elemento perjudicial. En pequeña proporción mejora la maquinabilidad. El hierro adquiere azufre del coque en la fundición. Cada vez que se vuelve a fundir, aumenta el azufre hasta un 0.03 % para contrarrestar tal aumento, debe agregarse manganeso a la carga.

**BORO (B) :**

Como carburo de boro, en mínimas cantidades tiene la propiedad de aumentar la profundidad efectiva del endurecimiento, por lo tanto una dureza más uniforme.

**HIDROGENO (H) :**

A las temperaturas de aceración, cualquier humedad se descompone en sus constituyentes (H y O) y el hidrógeno se disuelve en el acero fundido, sin embargo, éste tiene baja solubilidad en el acero a bajas temperaturas, por lo que al enfriarse, tiende a separarse del acero formando grietas. Se le conoce como el elemento fragilizador.

### 3.4 .- TEMPLABILIDAD Y DUREZA DEL ACERO.

Todas las propiedades del acero tales como ductilidad, tenacidad, maquinabilidad, resistencia al desgaste, al calor, a la corrosión, conductividad térmica, eléctrica, templabilidad, dureza y otras muchas más, son muy importantes para su adecuada selección y uso. Aunque se ha hablado poco de éstas propiedades, en la mayoría de los casos es fácil de entender los efectos que causan en el acero. Existen dos propiedades muy interesantes de las que se hablará más extensamente a continuación; estas son la templabilidad y la dureza.

#### 3.4.1 .- TEMPLABILIDAD.

La templabilidad es la capacidad del acero a aumentar su dureza como resultado del temple. Esta está determinada fundamentalmente por el contenido de carbono. Mientras mayor es la cantidad de carbono, más alta es la dureza después del temple. Para complementar éste término, debe tener una sección uniforme al enfriarse bruscamente; es decir, debe obtener un temple uniforme y alcanzar cierta dureza.

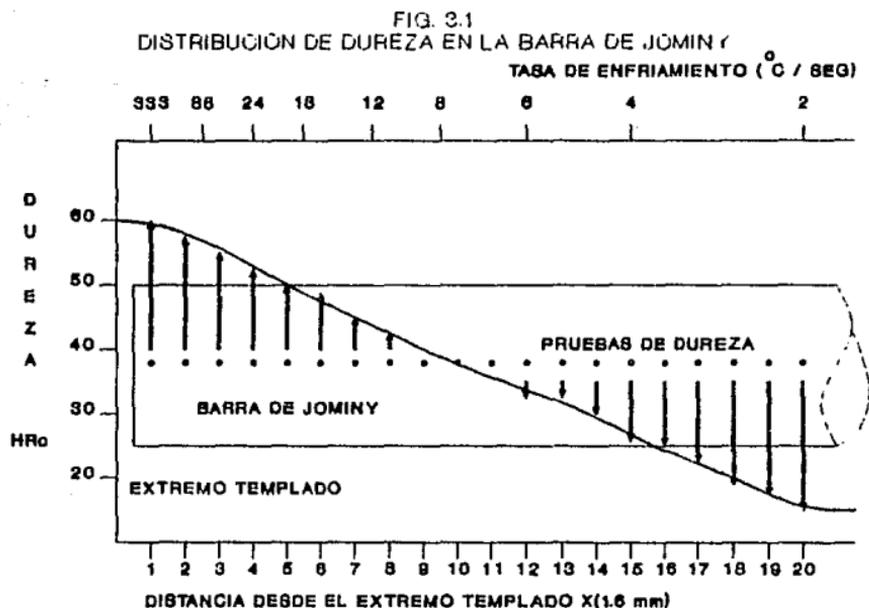
El método típico que se sigue para determinar la capacidad del acero para su templabilidad es el ensayo de

templabilidad de JOMINY. Esta prueba consiste en calentar una barra de acero de 75 mm de longitud y 25 mm de diámetro, a una temperatura de austenitización y en sumergir un extremo en agua, permitiendo al otro extremo que se enfríe al aire. Se obtiene así a lo largo de la barra un cambio continuo de la velocidad de enfriamiento, que va de  $333^{\circ}\text{C}$  por segundo a 1.6 mm del extremo sumergido en agua hasta  $2.2^{\circ}\text{C}$  por segundo en el otro.

Se hacen luego mediciones de dureza a intervalos de 1.6 mm, determinando los números Rockwell C a lo largo de toda la barra, y se traza una gráfica de la dureza en relación con la distancia a partir del extremo sumergido en agua. Como se conoce la velocidad de enfriamiento para cualquier posición dada a lo largo de la barra de Jominy, se puede obtener la relación entre la velocidad de enfriamiento y la dureza desarrollada en el acero. De manera que es posible predecir la dureza que se desarrollará en una pieza dada de acero si se conoce la curva de templabilidad de Jominy, o si se necesita obtener una dureza mínima en una pieza dada de acero, es posible especificar la templabilidad mínima necesaria de Jominy para desarrollar la dureza requerida en un medio dado de enfriamiento.

A continuación se muestra en la Fig. 3.1 una grafica típica; donde la dureza mayor se encuentra en el extremo templado, donde se forma martensita y la dureza menor, a

medida que se aleja del extremo, debido a productos de transformación más blandos.



El punto más importante de la gráfica no es la dureza a una distancia determinada sino la dureza para una tasa de enfriamiento dada.

### 3.4.2 .- DUREZA.

La dureza se define como la resistencia a la penetración y/o a la rayadura; ésta es una propiedad mecánica que poseen todos los materiales; sin ser fundamental, ya que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. Un ensayo de dureza puede indicar si un metal es adecuado para un trabajo específico; así como estimar su resistencia al desgaste y a la abrasión. También dará cierta idea del tratamiento térmico al cual fué sometido el metal. El procedimiento de prueba y la preparación de la muestra suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas.

Las pruebas de dureza se utilizan ampliamente para inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resulta generalmente en un cambio de dureza. Cuando se establece el valor resultante de la dureza de un tratamiento térmico a un material, dado por un proceso determinado, ésta información proporcionará un método rápido y sencillo de inspección y control para el material y proceso particulares.

Las diversas pruebas de dureza se pueden dividir en tres categorías :

- 1.- Dureza elastica.
- 2.- Resistencia al corte o abrasión.
- 3.- Resistencia a la indentación. (Penetración)

Siendo la más importante la resistencia a la indentación será la única que se describirá:

#### RESISTENCIA A LA IDENTACION O PENETRACION :

Esta prueba generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, que está en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador específicos. Los métodos más comunes para pruebas de dureza por indentación son :

##### A) ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB) :

El probador de ésta dureza consta de una prensa hidráulica de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra; ésta bola o esfera, puede ser de acero o de carburo de tungsteno, y debe ser de

10 mm de diámetro. La carga aplicada debe ser de 3000 Kg para materiales ferrosos y/o 500 Kg para materiales no ferrosos. La esfera es presionada dentro de la muestra por lo menos durante 10 seg para materiales ferrosos y 30 seg. para los no ferrosos. El diámetro de la impresión producida es leído por medio de un microscopio con escala ocular en centésimas de milímetro. El número de dureza Brinell es la razón de la carga en Kgs. al área en mm de la impresión y se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$HB = \frac{L}{\left( \frac{\pi D}{2} \right) \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = \frac{L}{A}$$

Donde :

L = Carga en Kgs.

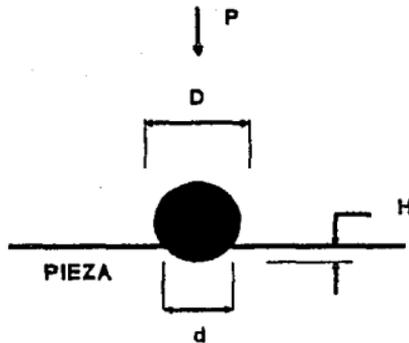
D = Diámetro de la bola en mm

d = Diámetro de la impresión en mm

A = Área del casquete esférico en mm<sup>2</sup>

En la Fig. 3.2 se muestra un esquema del ensayo Brinell y de sus puntos más importantes:

FIG.3.2  
ENSAYO DE DUREZA BRINELL



Por lo general, no se necesita hacer el cálculo ya que hay tablas para convertir el diámetro de la impresión observada al número de dureza Brinell. Es importante tomar en cuenta que mientras más difícil sea la penetración, mayor será el número Brinell.

El número de dureza Brinell seguido por el símbolo HB indica condiciones de prueba estandar, es decir, bola de 10 mm de diámetro, carga de 3000 Kgs aplicada durante 10-15 seg. Para otras condiciones el número Brinell se complementa por números que indican las condiciones de prueba en el siguiente orden : Diámetro de bola, Carga y Duración. Por ejemplo 75 HB 10/500/30 indica un número

Brinell de 75, utilizando una bola de diámetro de 10 mm, con una carga de 500 Kgs, durante 30 seg.

El número de dureza Brinell cuando se usa la bola ordinaria de acero está limitado a 500 aproximadamente, para mayores durezas se utiliza la esfera de carburo de tungsteno, hasta 650 HB aproximadamente.

No es muy recomendable para medir durezas en materiales delgados, dada la magnitud de las cargas, es el más adecuado para las fundiciones. Se aplica también en materiales no ferrosos y a los aceros recocidos.

#### B) ENSAYO DE DUREZA VICKERS (HV) :

En ésta prueba, el instrumento utiliza un marcador piramidal de diamante de base cuadrada con un ángulo entre las caras opuestas de 136°. El intervalo de carga está entre 1 y 120 Kgs. Este probador de dureza funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell y los números se expresan en términos de carga y área de impresión. Como resultado de la forma del marcador, la impresión sobre la superficie de la muestra será un cuadrado. La longitud de la diagonal del cuadrado es medida mediante un microscopio equipado con un micrómetro. Por lo general hay tablas para convertir la diagonal medida al número de dureza piramidal Vickers o por medio de la siguiente fórmula :

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{1.854 P}{d^2} = \frac{P}{0.539 d^2}$$

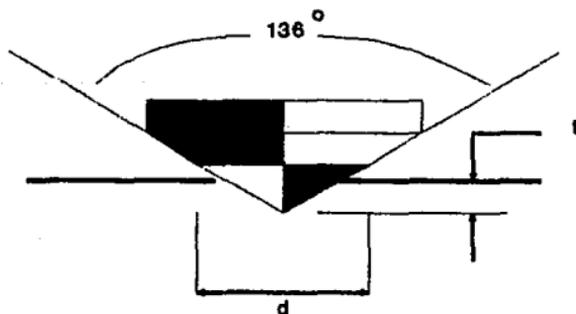
Donde : P = Carga aplicada en Kgs.

A = Area en mm<sup>2</sup>

d = Diagonal de la huella en mm

En la Fig. 3.3 se muestra un esquema del ensayo Vickers y de sus puntos más importantes:

FIG. 3.3  
ENSAYO DE DUREZA VICKERS



La carga más empleada es la de 30 Kgs, respecto al tiempo que se ha de mantener la carga, oscila entre 15 y 20 segundos, siendo 15 el más empleado. Este ensayo se utiliza para aceros endurecidos superficialmente, recocidos, templados y nitrurados; también en materiales no ferrosos. Es muy adecuado para determinar la dureza de elementos muy delgados como flejes, hojas de afeitar, cintas, etc. La impresión cuadrada que deja éste ensayo es la más fácil de medir con exactitud.

#### C) ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL (HR) :

Este es el método más utilizado actualmente en la industria. La principal ventaja de este ensayo es que la dureza se lee directamente en una escala y está basado en el principio de medición de profundidad diferencial. La prueba utiliza un penetrador de diamante en forma Esfero-Cónica, aunque en ocasiones también se utiliza una bola esférica.

El ensayo se lleva a cabo al elevar la muestra lentamente contra el marcador hasta que se ha aplicado una carga determinada menor llamada " Precarga " indicándose en el disco medidor o en una escala de la pantalla. En seguida se deja actuar la carga mayor o carga normalizada la cual es variable dependiendo la escala de dureza Rockwell; ésta carga presiona aun más el diamante dentro de la probeta; luego con la misma palanca con que se actuó la carga

normalizada se quita ésta. En este momento y con la precarga todavía en acción, se lee la dureza en la escala y luego se descarga la probeta.

El principio de este ensayo está en que a través de un sistema de palancas se registra en la escala la profundidad de penetración entre la precarga y la carga. Como el orden de los números se invierte en el disco, una impresión poco profunda en un material duro, dará un número grande en tanto que una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño.

Existen dos máquinas Rockwell, el probador normal, para secciones relativamente gruesas y el probador superficial para secciones relativamente delgadas. La precarga es de 10 Kg para el normal y de 3 Kg para el superficial.

Pueden utilizarse diversos marcadores de muescas y cargas, cada combinación determina una escala Rockwell diferente. Los marcadores de muescas incluyen bolas de acero duro de 1/16", 1/8", 1/4", 1/2" de diámetro y un marcador Esfero-Cónico de diamante de 120, denominado BRALE.

Generalmente las cargas para el probador normal son 60, 100 y 150 Kgs y de 15, 30 y 45 Kg en el probador superficial.

El ensayo Rockwell tiene quince diferentes escalas para el probador normal y estas son : A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, P, R, S y V.

Las escalas más comunmente utilizadas son :

Escala A 60 kgs.	penetrador Brale	HRa
Escala B 100 kgs.	penetrador de bola 1/16"	HRb
Escala C 150 kgs	penetrador Brale	HRc
Escala D 100 kgs.	penetrador Brale	HRd
Escala 15-N 15 kgs	penetrador Brale	HR15-n
Escala 30-N 30 kgs	penetrador Brale	HR30-n
Escala 45-N 45 kgs	penetrador Brale	HR45-n

Las últimas tres escalas son números de dureza Rockwell superficial.

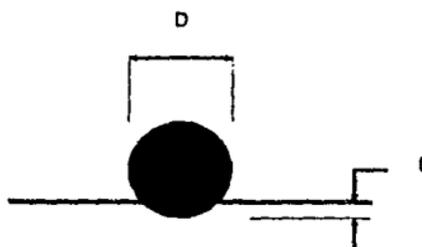
Debido a las muchas escalas Rockwell el número de dureza debe especificarse mediante el simbolo HR seguido de la letra de la escala y precedido de los números de dureza.

El funcionamiento de la máquina debe ser verificado frecuentemente con bloques de prueba estándar proporcionadas por el fabricante. En lo sucesivo, se utilizará como escala de dureza la Rockwell C, solo como escala comparativa, ya que para tratamientos térmicos como cementado y nitrurado se utilizan escalas HRb y HRa respectivamente, ésto es porque

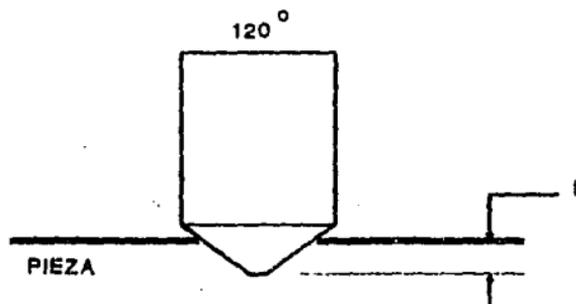
si la capa endurecida es muy pequeña y la carga es grande puede traspasarla y dar medidas erróneas.

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestran esquemas de los marcadores del ensayo Rockwell.

**FIG. 3.4**  
**ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL CON ESFERA DE ACERO**



**FIG. 3.5**  
**ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL CON BRALE**



CAPITULO No. 4 .- TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS.

4.1 .- GENERALIDADES.

Las propiedades mecánicas indispensables de los metales, que aseguran un trabajo normal de las piezas de las máquinas y de las herramientas, pueden obtenerse cambiando la composición química o la estructura del metal: ésta última puede cambiarse con el Tratamiento Térmico.

El tratamiento térmico es un concepto que se aplica en la industria para describir un proceso mediante el cual pueden cambiarse las propiedades físicas de un metal, y consiste en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas durante un cierto tiempo y enfriarlas a condiciones adecuadas, para darle características más aptas para su empleo. En algunos casos el procedimiento es muy sencillo, pero en otros es bastante complicado y requiere conocimientos científicos y equipo especial.

De ésta forma, se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces hay también cambios en la composición del metal.

El tiempo y la temperatura son factores principales y hay que fijarlos de antemano de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas; así como las características que se deben obtener.

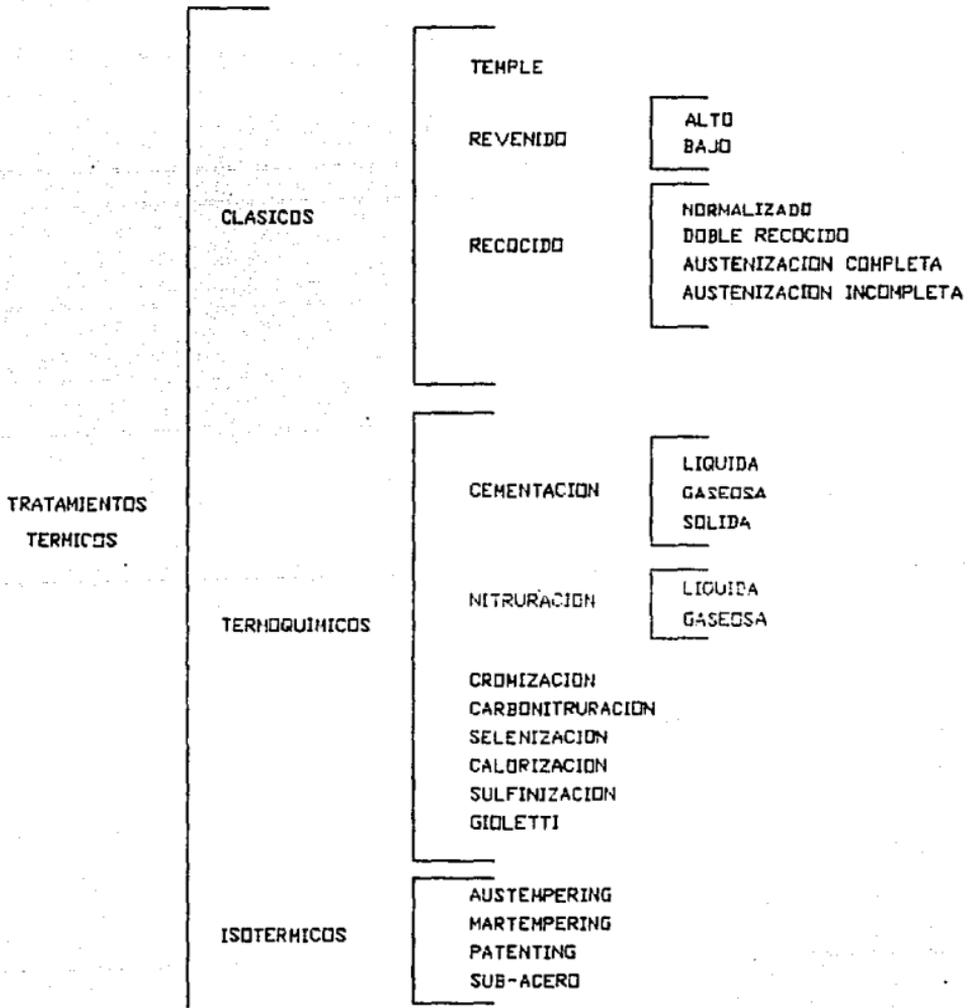
Existen dos razones principales para someter un acero a tratamiento térmico : una es endurecerlo (Temple), y la otra es ablandarlo (Recocido). El tipo de tratamiento térmico utilizado, estará definido por el contenido de carbono en el acero y su aplicación.

El tratamiento térmico del acero es una operación muy importante en el ciclo tecnológico de preparación de muchas piezas. Solamente con ayuda del tratamiento térmico se pueden obtener altas propiedades mecánicas del acero, que garantizan un trabajo normal de los elementos modernos de las máquinas o herramientas.

Los tratamientos térmicos se clasifican de la siguiente manera (Tabla 4.1) : (Tratamiento Térmico de los Aceros - D.M.K.)

Tabla 4.1

CLASIFICACION DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS



## 4.2 .- TEMPLE.

Se le llama Temple a la operación térmica que aumenta la dureza y resistencia del acero, esta operación consiste en un calentamiento al cual se somete el acero a temperaturas entre 30 y 50 ° C por arriba del punto crítico superior (temperatura de Austenitización) y enfriándolo con mayor rapidez en un medio adecuado, previamente seleccionado según lo requiera, como agua, salmuera, lechada, aceite, convección natural, convección forzada, etc; dependiendo de la dureza que se pretende alcanzar.

Los resultados del temple dependen de las condiciones siguientes : composición química del acero, temperatura, velocidad de calentamiento, velocidad de enfriamiento, duración del calentamiento, tipo del medio de temple, temperatura del medio templante, agitación en el medio templante, etc.

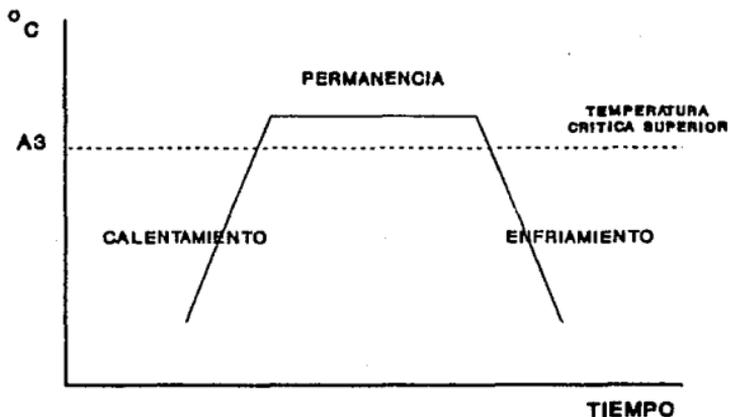
Realmente el temple de un acero es el enfriamiento rápido a partir de la temperatura de cambio de estructura molecular.

Los aceros al carbón se templan al agua y al aceite, los aleados al aceite y los muy aleados al aire.

Cabe mencionar que el temple no es un tratamiento térmico final, es necesario llevar a cabo un revenido

después de realizar el temple, con la finalidad de disminuir la fragilidad y las tensiones internas que surgen durante el templado. A continuación se muestra en la Fig. 4.1 una gráfica representativa del temple.

FIG. 4.1  
GRAFICA REPRESENTATIVA DEL TEMPLE



4.2.1 .- FASES DEL TEMPLE.

Todo tratamiento térmico se desarrolla en tres fases :

- 1.- Calentamiento hasta una temperatura máxima.
- 2.- Tiempo de permanencia a la temperatura máxima.
- 3.- Enfriamiento desde la temperatura máxima hasta la temperatura ambiente.

1 .- Calentamiento hasta la Temperatura Maxima :

La finalidad del calentamiento es transformar toda la masa del acero en Austenita, dicho calentamiento se debe iniciar estando el horno a baja temperatura y de ser posible a temperatura ambiente, la elevación de la temperatura debe ser uniforme en toda la pieza, esto se consigue elevando la temperatura del horno muy lentamente, para llevar a cabo ésta fase es recomendable considerar los siguientes tres puntos:

- A) Elección de la temperatura del temple.
- B) Precalentamiento.
- C) Medios de calentamiento.

**2 .- Tiempo de Permanencia a la Temperatura Máxima.**

Se considera que el tiempo necesario para un tratamiento térmico se lleva cabo en tres fases diferentes: la primera es el tiempo necesario para que la superficie de la pieza alcance la temperatura del horno, la segunda para que ésta temperatura, vaya progresando hacia el interior de la pieza, hasta que toda ella alcanza la temperatura del horno, y la tercera que empieza a contarse desde éste momento, el cual es el verdadero tiempo de permanencia a temperatura máxima y es necesario para preparar adecuadamente la estructura del acero para el temple.

El tiempo transcurrido desde que la temperatura del horno se tiene en la superficie hasta el momento que debe efectuarse el temple se obtiene mediante la siguiente regla:

Aceros al Carbon : 5 minutos por cada 10 milímetros de espesor de sección.

Aceros Aleados : 10 minutos por cada 10 milímetros de espesor de sección.

Esta regla no es válida para aceros de alta aleación.

**3.- Enfriamiento desde la Temperatura Máxima a la Temperatura Ambiente.**

El enfriamiento tiene por objeto transformar la totalidad de Austenita formada, en otra estructura más dura llamada Martensita, el factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad con que se enfríe, dicha velocidad depende del medio con el cual se enfríe el material.

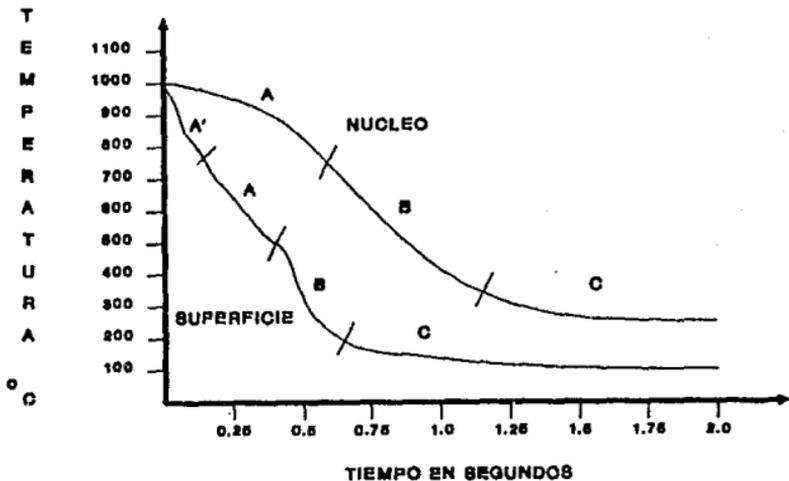
**A) Curvas de Enfriamiento :**

La forma más sencilla para describir el mecanismo completo del temple es desarrollar una curva de enfriamiento para el fluido de temple bajo condiciones controladas.

Para ejemplificar una curva de enfriamiento tomaremos una muestra de acero al carbon (H.- 13) como probeta y la templaremos al agua; los cambios de temperatura que experimenta la muestra durante el temple se grafican mediante un registrador rápido, tomando la respuesta de varios termopares situados en la superficie, en el centro y en varios otros puntos de la muestra, la curva de enfriamiento para éste caso está representada en la figura 4.2. (Tratamiento Térmico de los Aceros - D.M.K.).

FIG. 4.2

CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL NUCLEO Y LA SUPERFICIE DE UNA PROBETA DE H-13 TEMPLADA EN AGUA.



La etapa A' ilustra el primer efecto de inmersión y se le llama, etapa de contacto líquido inicial. Esta etapa está caracterizada por la formación de burbujas de vapor que preceden al establecimiento de la envolvente de vapor. Esta etapa dura inicialmente del orden de 0.1 a 0.2 segundos y no tiene importancia en la evaluación del calor transferido. Esta etapa es solo detectable cuando se emplean equipos muy sensibles y no puede ser detectada cuando el líquido es viscoso y tiene gases disueltos o cuando el baño es operado

a temperaturas próximas al punto de ebullición del líquido.

La etapa A es la de enfriamiento cubierta de vapor, en ésta el material se introduce al líquido con una temperatura bastante alta, se forma una capa de vapor que envuelve al material y que le impide el contacto directo con el líquido realizándose el enfriamiento por conducción o radiación a través de la capa de vapor, la envolvente de vapor produce un enfriamiento lento, ya que actúa como aislante, y como es sabido los vapores son malos conductores del calor.

La etapa B se llama etapa de enfriamiento por transporte de vapor, en ella se producen las más altas velocidades de transferencia de calor; la etapa comienza cuando la temperatura de la superficie del metal baja y la capa de vapor desaparece, en éste momento aparece un violento hervor del líquido de temple y el calor se transmite rápidamente. La terminación de ésta etapa coincide con el punto de ebullición del líquido, el tamaño y la forma de las burbujas de vapor son importantes en cuanto al control de la duración de la etapa B, así como la velocidad de enfriamiento desarrollada durante ella.

La etapa C, llamada etapa de enfriamiento líquido, es la etapa más lenta, ésta etapa comienza cuando la temperatura de la superficie del metal es reducida a la

temperatura de ebullición o al rango de ebullición del líquido de temple, el hervor desaparece y el enfriamiento tiene lugar tanto por conducción como por convección.

### B) Agitación :

El movimiento producido externamente sobre el líquido de temple tiene una influencia extremadamente importante en las características de transferencia de calor de un medio de temple. La agitación causa una ruptura mecánica más fácil de la envoltura de vapor en la etapa A y produce burbujas de vapor más pequeñas y desprendibles, durante la etapa de enfriamiento por transporte de vapor, la etapa B, también ocasiona la ruptura mecánica de las gelatinas y sólidos, cuando ellos están depositados sobre la superficie de las piezas suspendidos sobre el borde de la cubierta de vapor, lo que produce una transferencia más rápida en la etapa C. Además de los efectos anteriores, se debe considerar que una agitación hace que el líquido más frío se aproxime y remplace a la capa de líquido caliente próxima a la pieza.

### 4.2.2 .- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TEMPLE.

Los factores que influyen en el temple son :

- 1.- El tamaño de las piezas.
- 2.- Su composición.
- 3.- Medio de enfriamiento empleado.
- 4.- Tamaño de grano.

Por su importancia solo describiremos los medios de enfriamiento más empleados.

**Medios de enfriamiento más empleados:**

El medio de enfriamiento mas adecuado para temple un acero es en el que se consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la critica, no solo no es necesario, sino que es perjudicial que la velocidad de temple sea excesivamente grande, pues se corre el peligro de producirse grietas y tensiones, debido al desigual enfriamiento de las piezas entre la superficie y el interior de ellas. Las velocidades criticas son bastante grandes en los aceros al carbono, llegando hasta 350 - 400 ° C por segundo para aceros de 0.50 % de carbono y 200 ° C por segundo en aceros de 0.80 % de carbono. Los medios de temple más usados son:

a) Agua:

Como medio de temple, el agua se aproxima a la velocidad de enfriamiento máxima alcanzada por un líquido. Entre otras ventajas se obtiene fácilmente, es el más barato se puede eliminar sin problemas de contaminación y es un medio efectivo para quebrar las cáscaras de óxido de la superficie de las piezas que son templadas en hornos que no poseen atmósferas controladas; sin embargo una desventaja del agua como medio de temple es que su velocidad de enfriamiento rápida persiste en la parte más baja del rango de temperaturas, en el cual se producen generalmente las distorsiones y fisuras.

En consecuencia, el agua solamente se usa en el temple de piezas simétricas y sencillas de aceros de baja templabilidad, como los aceros al carbono y de baja aleación.

Otra desventaja de usar agua es la formación de la envolvente de vapor en la etapa A de las curvas de enfriamiento, esto puede aumentar si la pieza es compleja, pues se puede dar el atrapamiento de vapor en zonas escondidas y así, un endurecimiento disparejo y una distribución desfavorable de tensión que promuevan distorsión y fisuras.

A una temperatura entre 15 y 25 ° C, el agua puede proveer una velocidad de temple uniforme y de muy buenos resultados; la agitación también es importante, ya que con ésta se dispersan las burbujas de vapor adheridas sobre las piezas y las porciones más frías del agua alcanzan las piezas a tratar.

La contaminación del agua con sales disueltas reducen la velocidad de enfriamiento debido a que las sales reducen la duración de la etapa A; sin embargo otros contaminantes como jabón, algas, arcillas y emolientes, reducen la velocidad de enfriamiento por atrapamiento de la envolvente de vapor, y así, previenen que agua fría se ponga en contacto con las piezas y se obtengan resultados uniformes.

b) Salmuera :

El término salmuera se aplica a soluciones acuosas de sales como Cloruro de Sodio o Cloruro de Calcio, junto con aditivos especiales o inhibidores de la corrosión.

Las salmueras presentan las siguientes ventajas sobre el agua y aún sobre el aceite :

- 1.- La velocidad de enfriamiento es mas alta que la del agua para el mismo grado de agitación.

- 2.- Las temperaturas son menos críticas que para el agua y, por lo tanto, requieren menor control.
- 3.- La probabilidad de puntos blandos en las zonas de formación de bolsas de vapor son menores que en el temple con agua.

Sin embargo las desventajas de los baños de salmuera son las siguientes :

- 1.- Dada la naturaleza corrosiva de los baños de salmuera, el tanque, las bombas, los transportadores y otros equipos o partes en contacto constante con la salmuera, deben ser protegidos contra la corrosión por alguno de los métodos habituales de prevención contra ésta.
- 2.- Es necesario un extractor de humos para proteger convenientemente la maquinaria y equipo delicado de los vapores corrosivos.
- 3.- El costo es superior al agua, debido a los aditivos anticorrosivos que se deben usar; también a la necesidad de controlar la composición de las soluciones.
- 4.- Cuando se usan soluciones que contengan hidróxido de sodio o ciertos aditivos, aumenta la posibilidad de accidentes como quemaduras o intoxicación.

La salmuera más común es la de Cloruro de Sodio con una concentración del 10 %, pero en general la mayoría de las sales orgánicas son efectivas para suprimir la formación de vapores en la superficie del acero y ayudar en consecuencia a enfriarlo uniformemente eliminando los puntos blandos. Para hacer mínima la formación de vapores deben conservarse fríos los líquidos a base de agua, de preferencia por debajo de 20 C.

c) Aceite :

Los aceites que se emplean en el temple se pueden clasificar en dos tipos: convencionales y rápidos.

Un aceite de temple convencional es aquel que no tiene aditivos que alteran las características de enfriamiento, con éstos aceites la duración de la etapa de enfriamiento por cubierta de vapor (A) es más larga que en el agua. La velocidad de enfriamiento de la etapa de transporte de vapor es considerablemente menor (B) y la duración de la etapa de enfriamiento líquido (C) es más breve. Por lo tanto el poder de temple en tales aceites es menor que el agua y es, a menudo, inadecuado. Sin embargo la transición de la etapa B a la C es más gradual, por ésta razón, los aceites minerales convencionales producen menos distorsión.

Los aceites de enfriamiento rápido son de menor viscosidad y contienen aditivos que aumentan la velocidad de

enfriamiento. Con estos aceites, la duración de la etapa A es considerablemente menor, y el enfriamiento en la etapa B empieza antes y dura más tiempo por lo que la velocidad de enfriamiento inicial es aumentada, la velocidad de enfriamiento en C es igual a la de los convencionales.

La óptima temperatura que se debe mantener en un baño de temple de aceite puede ser influenciada por varios factores.

El punto de inflamación del aceite indica el límite máximo de temperatura de operación para un aceite de temple. Por razones de seguridad, se estipula que el aceite debe estar a una temperatura de 65 °C por debajo de su punto de inflamación, previo al temple.

Las cargas templadas determinan el ascenso en la temperatura del aceite de temple, las curvas de enfriamiento muestran que el endurecimiento por temple uniforme puede mantenerse a pesar de que el aceite aumente mucho de temperatura, sin embargo, se debe considerar el peligro de incendio cuando la temperatura del baño se aproxima al punto de inflamación.

### 4.3 .- REVENIDO.

El tratamiento térmico de revenido es un proceso que

## Tratamientos Térmicos

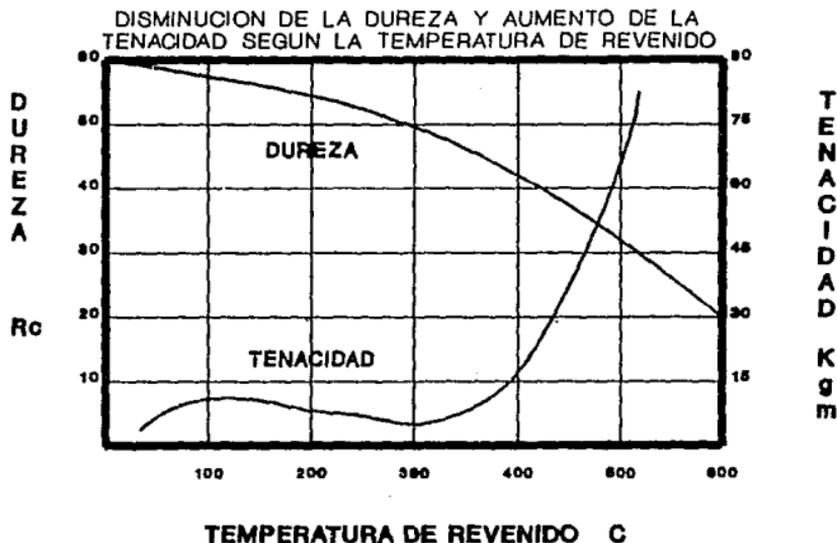
transforma de una forma progresiva la martensita obtenida en el temple, siendo ésta demasiado frágil para cualquier aplicación, en una estructura más estable y tenaz. La formación de martensita origina grandes tensiones internas, por lo que obtenida directamente del temple nunca será aceptada; al endurecimiento siempre le sigue un tratamiento de revenido.

El revenido es lo que se conoce como un " Tratamiento complementario del Temple ", ya que siempre sigue a éste. Consiste en calentar el acero después de templado a una temperatura inferior a la del punto crítico ( 720 C ), mantenerlo durante un tiempo determinado y enfriarlo después generalmente al aire.

El objeto del revenido es mejorar la tenacidad de los aceros templados a costa de disminuir su dureza, su resistencia mecánica y su límite elástico. En el Revenido se consigue eliminar o por lo menos disminuir las tensiones internas producidas en el temple. En la Figura 4.3 se muestran los efectos obtenidos durante el revenido.

(Tratamiento Térmico de los Aceros - D.M.K.)

FIG 4.3



#### 4.3.1 .- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL REVENIDO.

Los factores que influyen en el revenido son cuatro principalmente y son los siguientes :

##### 1.- Influencia del Estado Inicial de la Pieza :

Los resultados obtenidos en el revenido varían mucho si se parte de un acero templado formado únicamente por

martensita o de un acero que contenga un porcentaje elevado de austenita residual; ésta última queda en los aceros templados y varía según el contenido de carbono, la temperatura crítica superior y los elementos de aleación contenidos en el acero a revenir.

### 2.- Influencia de la Temperatura :

Al efectuar un revenido, la dureza del material tiende a disminuir con mucha rapidez al principio, después esta disminución es más lenta y finalmente la dureza únicamente va a depender de la temperatura del revenido, por lo tanto viene a ser el factor más importante durante éste tratamiento.

Existen dos relaciones en el revenido; la dureza decrece inversamente proporcional al aumento de la temperatura, como se pudo observar en la figura 4.3, por otra parte, se ha comprobado que los efectos del revenido se obtienen más rápidamente cuanto más alta es la temperatura de calentamiento.

### 3.- Influencia de la Duración del Calentamiento :

El calentamiento hasta la temperatura de revenido debe ser uniforme y realizarse inmediatamente después del temple, pues de otra manera, las tensiones actuarían antes, produciendo agrietamientos.

Es frecuente aumentar un poco la temperatura de revenido y acortar un poco su duración, estos revenidos abreviados proporcionan mejores valores para la tenacidad, aunque la resistencia no disminuye en la misma proporción.

La duración del revenido es de gran importancia para que las transformaciones deseadas puedan producirse con seguridad. La temperatura y la duración del revenido son dos factores complementarios, pueden obtenerse los mismos resultados con un revenido de mayor temperatura y menor tiempo, que con uno de menor temperatura y mayor tiempo, por tanto en el revenido, la temperatura es inversamente proporcional al tiempo.

A mayor temperatura menor tiempo.

A mayor tiempo menor temperatura.

#### 4.- Influencia del Tamaño de la Pieza :

Al tratar la influencia del tamaño de la pieza en el temple, por lo regular el interior de las piezas gruesas quedan sin templar con durezas inferiores a la periferia; pues bien, al revenir las piezas gruesas o de gran diámetro se produce efecto nivelador, ya que el resultado del revenido es tanto más intenso cuanto mayor es el porcentaje de martensita. Por ésto hace bajar más la dureza en las

zonas martensíticas puras que en las de otro constituyente, por lo tanto el revenido suaviza las desigualdades de los temple de las piezas grandes.

#### 4.3.2 .- CLASIFICACION DE LOS REVENIDOS.

La temperatura de revenido ejerce una influencia considerable en las propiedades obtenidas, por esta razón se distinguen dos tipos de revenido :

##### 1.- Revenido a Baja Temperatura :

Esta clase de revenido se considera cuando se maneja un rango de 50 a 350 ° C, y disminuye las tensiones internas, eleva la resistencia al desgaste y baja pocos números la dureza.

Al revenido de baja temperatura se someten las herramientas de corte y de medición fabricadas de acero al carbono y de baja aleación. Cabe mencionar que en este revenido los tiempos de duración son mas prolongados.

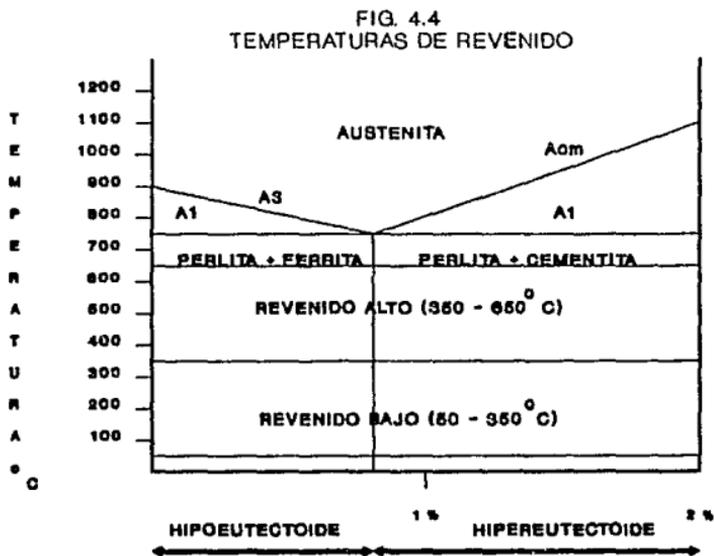
##### 2.- Revenido a Alta Temperatura :

Se considera un revenido de alta temperatura cuando se maneja un rango de 350 a 650 ° C, este elimina casi por completo las tensiones internas y aumenta considerablemente la tenacidad.

La resistencia y la dureza disminuyen considerablemente

más que en el revenido a baja temperatura.

En la Figura 4.4 se muestra una gráfica donde se establecen los rangos de temperatura para los revenidos del acero.



(Tratamiento Térmico de los Aceros - D.M.K.)

#### 4.3.3 .- IMPORTANCIA DEL REVENIDO.

El revenido es el verdadero tratamiento acondicionador del acero, con el que se le da las propiedades más adecuadas para el fin a que está destinado.

El temple es como un tratamiento preparatorio cuyo fin es convertir la mayor cantidad de acero en martensita dura, es decir, obtener la máxima dureza. Por eso deben elegirse aceros de suficiente templabilidad para conseguir el temple en todo el diámetro de la pieza.

Cuanto mayor sea la dureza del acero, mayor será el margen de las propiedades que pueden lograrse con un buen revenido, disminuyendo la dureza hasta un valor suficiente y aumentando en cambio la tenacidad.

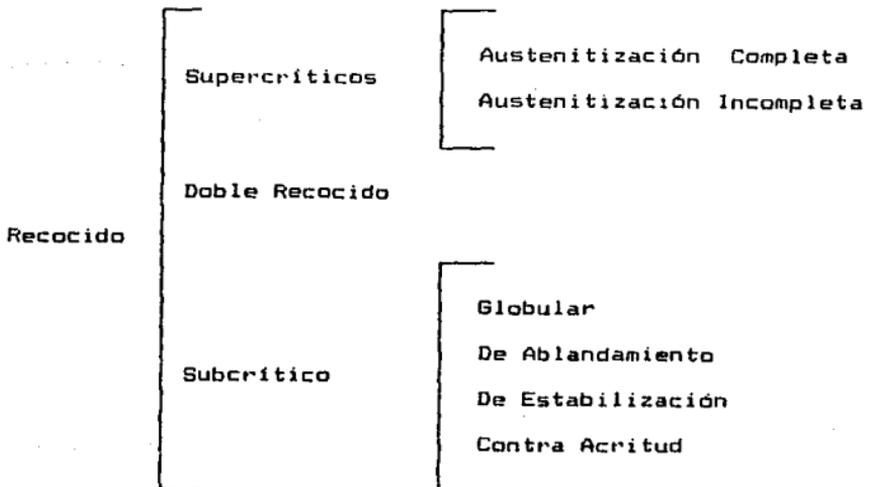
#### 4.4 .- RECOCIDO.

El recocido es un tratamiento térmico muy importante porque devuelve la ductilidad a los metales que han sido intensamente endurecidos. Se entiende por recocido al calentamiento del acero a temperaturas superiores e inferiores a las críticas, dependiendo de la composición química del acero y del tipo de recocido que se le vaya a aplicar, seguido de un enfriamiento lento hasta la temperatura ambiente.

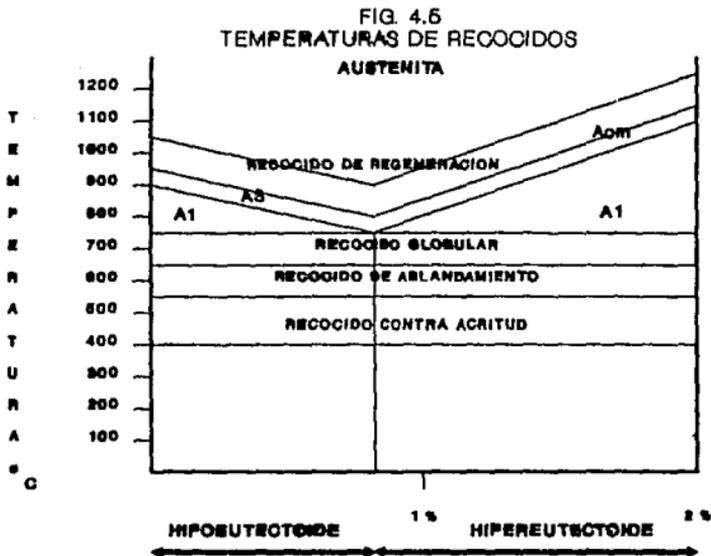
El principal objetivo del recocido es ablandar los metales y aleaciones, es decir, reducir su dureza, para así poder maquinaslos mejor, trabajarlos en frío, o para obtener propiedades mecánicas, físicas o químicas determinadas. También se utiliza el recocido para eliminar los efectos de dureza de un tratamiento térmico anterior en el cual no se obtuvieron las especificaciones de dureza requerida; así como regenerar la estructura del material.

4.4.1 .- CLASIFICACION DE LOS RECOCIDOS.

Existen varios tipos de recocidos aunque el fin principal de todos ellos es ablandar el acero, en la tabla 4.2 se muestra la clasificación de recocidos:



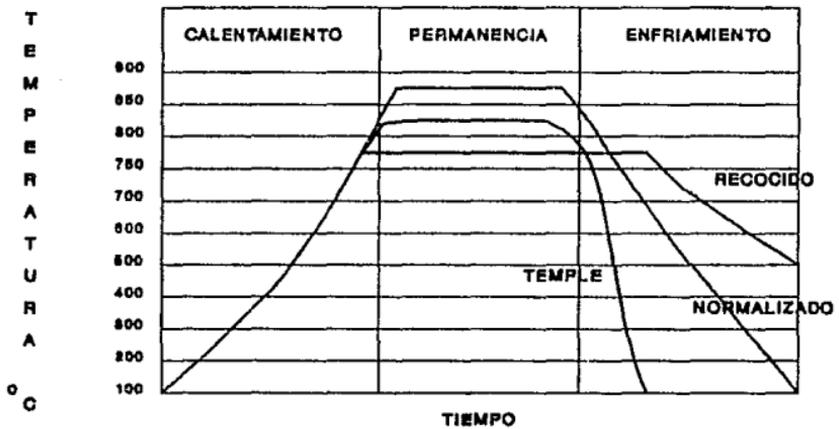
A continuación se muestra en la Fig. 4.5 el diagrama de temperaturas de los diferentes recocidos y en la Fig. 4.6 la gráfica comparativa de los procesos de temple, normalizado y recocido.



(Tratamiento Térmico de los Aceros - D.M.K.)

FIG. 4.6

GRAFICA COMPARATIVA DE LOS PROCESOS DE  
TEMPLE, NORMALIZADO Y RECOCIDO.



#### 4.5 .- TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS.

Este tipo de tratamientos son aquellos en que se incorpora superficialmente por difusión uno o más elementos a diversos materiales dependiendo de la temperatura de

operación, el tiempo de permanencia, calidad de los difusores empleados, así como del tipo de acero. La clasificación de éste tipo de tratamientos se pudo observar en la tabla 4.1.

#### 4.5.1 .- CEMENTACION.

Es un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial, en el cual se logra aumentar el contenido de carbono en el acero, sometiéndolo a un medio sólido, líquido o gaseoso capaz de cedérselo.

Una vez que esté cementado el acero deberán aplicársele diferentes tratamientos térmicos con el objeto de proporcionar tanto a las partes centrales como a las superficiales las cualidades requeridas para un mejor rendimiento en su vida útil.

Los aceros más utilizados en la cementación son los aceros al carbono, por tener la ventaja de operar el núcleo con una gran tenacidad y la superficie exterior bastante dura, además de ser los más baratos en el mercado.

Los aceros empleados tienen porcentajes de carbono del 0.10% a 0.25% y cuando se requieren características especiales en el núcleo se llegan a utilizar aceros con 0.40 % de carbono. Después de cementados quedan enriquecidos superficialmente con porcentajes en el rango de 0.85 a 1.20% de carbono.

En los aceros de bajo contenido de carbono cementados, el temple es al agua y el revenido es a una hora de duración y con temperaturas que raras veces exceden los 200 ° C.

#### A) PROTECCION DE ZONAS.

Si se requiere cementar piezas en alguna parte perfectamente localizada como se muestra :

NO CEMENTAR	CEMENTAR
-------------	----------

Lo más conveniente es introducir al crisol que contiene las sales de cementación la parte interesada quedando sin cementar la parte no requerida. El problema se complica cuando se tiene que introducir toda la pieza en el crisol, ya que ahora las partes a cementar se encuentran distribuidas de ésta manera por ejemplo:

CEM.	NO CEM.	CEM.	NO CEM.	CEM.
------	---------	------	---------	------

Aquí se pueden proteger las zonas que no se deben cementar por medio de tres opciones:

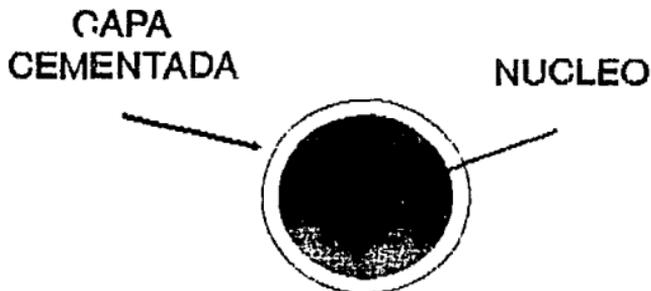
- 1.- Dejando al material un sobre-espesor que desaparezca al maquinarlo, encontrando nuevamente el material base; se dejan aproximadamente de 2.5 a 3.0 mm más el espesor nominal y el desbaste se hace antes del temple. Este tipo de protección es la más utilizada en la industria.
- 2.- El llamado cobrizado, que consiste en dar un baño electrolítico de cobre en las regiones que no se quieran cementar ya que éste elemento impide que el carbono del medio cementante entre o se difunda en el material.
- 3.- También se utiliza la pintura de cobre para éste fin, pintando las zonas que no requieren cementación.

Otros métodos menos comunes son por ejemplo en piezas cilindricas se protegen enrollando alambre común recocido, amarrado fuertemente al material y lo más contigüo posible, de ésta forma se evita que el carbono penetre ya que es el alambre el que se cementsa.

Cuando se trata de proteger paredes de barrenos, se recomienda rellenar con cementos especiales, los cuales son altamente adheribles y de alto punto de fusión.

B) CAPA CEMENTADA.

Al cementar un acero, el carbono del medio cementante se difunde formando una zona superficial periférica llamada capa cementada.



Aunque en ocasiones el contenido de carbono llega a ser de 1.20%, lo ideal debe ser de 0.90 a 1.0% de carbono, ya que existe el riesgo de que aparezca cementita y vuelva frágil la capa cementada, aumentando así las posibilidades de que ésta se pierda. El porcentaje de carbono va disminuyendo conforme aumenta el espesor de la capa cementada; comercialmente el espesor de esta capa se solicita de 1 a 1.5 mm.

## C) TIPOS DE CEMENTACION.

La cementación puede hacerse en un medio sólido, líquido o gaseoso, dependiendo del monto de la producción y de la disponibilidad de equipo. En todos éstos medios existe un componente capaz de suministrar carbono y éste se llama agente carburante, puede ser carbón, cianuro o hidrocarburo. Así, se puede hablar de cementación líquida, sólida o gaseosa.

## 1.- CEMENTACION LIQUIDA.

En este tipo de proceso se utilizan baños a base de sales activas con las siguientes composiciones químicas:

A) Cianuro de Sodio	45 %
Cloruro de Sodio	18 %
Carbonato de Sodio	37 %

---

100 %

B) Cianuro de Sodio	40 %
Cloruro de Sodio	10 %
Cloruro de Bario	30 %
Carbonato de Sodio	20 %

---

100 %

Este tratamiento termoquímico es comunmente aplicado, desde el punto de vista industrial, en piezas en las cuales se quieren obtener capas cementadas con espesores en el rango de 0.5 a 1.5 mm.

Por lo general se opera a una temperatura entre 880 y 930 °C con una permanencia entre 1 y 3 horas, dependiendo del porcentaje de cianuros que contenga la sal.

El espesor que se logre en la capa cementada, es en función directa del tiempo y la temperatura, a la temperatura de cementación, las sales se encontrarán en estado líquido (inicialmente son sólidas, en forma de polvo o granulada), el cianuro de la sal se separa, el nitrógeno se combina con los gases desprendidos por la sal y el carbono empieza a penetrar en la pieza formando la capa periférica de cementación.

Este tipo de cementación tiene el inconveniente de que las sales son demasiado venenosas por el cianuro presente en ellas, aunque los humos que desprenden no lo son, sin embargo, causan molestias tales como dolor de cabeza e irritación de las vías respiratorias, por lo que es estrictamente necesario colocar una campana de extracción de gases en la parte superior del crisol.

En el proceso de cementación, el carbono del medio cementante no pasa directamente al acero, sino que penetra por medio de un gas formado a la temperatura de operación.

en éste caso de cementación líquida el gas activo que se forma es el cianógeno (CN).

Para pequeños espesores, la cementación líquida es mucho más rápida que la sólida, además de ser más sencilla en lo que respecta a preparación y operación del proceso.

Las piezas a tratar deben estar limpias, libres de grasas, óxidos y protegidas las partes en las que no se requiere que haya difusión, si lo necesita.

Se recomienda cubrir los baños de cementación con una capa de escamas de grafito esparcidas sobre la superficie de las sales para evitar una pérdida grande del cianuro.

### 2.- CEMENTACION SOLIDA.

Esta cementacion es utilizada para obtener espesores mayores de 1.5 mm lo cual se considera como capa gruesa. La temperatura de cementación queda en el rango de 880 - 950 C con un tiempo promedio de 4 a 8 horas.

Se llega a emplear como elementos cementantes el carbon vegetal, huesos calcinados, cuero y coke, pero siempre mezclados con carbonatos de bario, calcio y sodio; industrialmente se utiliza como agente cementante un compuesto llamado CARON a base de :

60 % Carbono de Madera

40 % Carbonato de Bario

En éste caso el gas que efectúa la difusión del carbono en la pieza es el CO (Monóxido de Carbono), el cual se forma a la temperatura de cementación. A éste tipo de cementación se le conoce como cementación en cajas.

### 3 .- CEMENTACION GASEOSA.

Este tipo de cementación se utiliza en piezas donde se desean espesores de 0.5 a 1.5 mm (capas delgadas y medias). La temperatura de operación queda especificada entre 880 - 950 ° C, durante un tiempo de 2 a 4 horas aprox.

En éste proceso se usa un cementante gaseoso o atmósfera cementante, que es un gas tratado o depurado que solo contiene:

CO	-	Monóxido de Carbono
H2	-	Hidrógeno
CH4	-	Metano
N2	-	Nitrógeno

Las piezas totalmente limpias de grasas y óxidos, se introducen a un horno de gas, en cuyo interior, son colocadas en parrillas a la temperatura de trabajo; se inyecta la atmósfera, la cual es producida en un equipo llamado generador de atmósferas, iniciándose de ésta manera la acción cementante.

En la cementación gaseosa, el gas activo que se forma para producir la difusión del carbono en las piezas es el CH (Carburo de Hidrógeno).

Este proceso de cementación gaseosa, tiene el inconveniente de que las instalaciones adecuadas son costosas y complicadas en su operación, ya que si la atmósfera no se genera en las proporciones debidas, al término del tiempo de permanencia, la cementación es casi nula,

No es recomendable aplicarla, desde el punto de vista económico, en pequeños lotes de piezas, sin embargo, tiene la ventaja de que si el proceso se opera en condiciones normales, la cementación es rápida y sencilla; por lo que es ideal para grandes volúmenes de producción, permite además el temple directo desde la temperatura de cementación.

### D) INFLUENCIA DE LOS DIVERSOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LOS ACEROS DE CEMENTACION.

Los elementos solubles en el hierro retardan la cementación; tales como Si, Al, Ni, Cu, Ti; los elementos formadores de carburos, como son el Mn, Mu, W, Cr, activan la velocidad de cementación, según sea la composición química del acero a cementar, ésta determinará el tiempo del proceso.

**SILICIO :**

Disminuye fuertemente la velocidad de penetración del carbono en el acero. Es un oponente a la recristalización mediante recocido y provoca la fragilidad del acero. Pasando de 0.30 % es totalmente perjudicial al acero.

**MANGANESO :**

Permite el temple en aceite; después de la cementación generalmente se admite a un porcentaje del 0.50 %, aun con porcentajes mayores el acero se cementa sin dificultad. En algunas ocasiones el manganeso permite el descascarillado de la capa cementada y templada.

**NIQUEL + CROMO :**

Con la adición de éstos dos elementos se ha conseguido en los aceros de cementación alcanzar excelentes propiedades mecánicas. El níquel da a los aceros gran tenacidad que es lo que les falta a los aceros al cromo, y el cromo en cambio les da gran dureza y resistencia al desgaste que no tienen los aceros al níquel. Añadiendo molibdeno, mejora su templabilidad.

Estos dos elementos juntos en un acero de cementación retardan la penetración del carbono, tanto por la presencia del níquel como por la necesidad de operar a temperaturas más bajas en comparación a las temperaturas que normalmente

se estipulan para los aceros que no lo contienen.

**VANADIO :**

Pasando del 0.30 % dificulta completamente la cementación, formando carburos en la perlita. El vanadio disminuye el peligro de descascarillado y de grietas en la capa cementada.

**NIQUEL :**

El níquel da excelentes aceros de cementación que pueden ser templados directamente después de la cementación; a condición de que el porcentaje en carbono de éstos aceros no sobrepase el 0.12 %. Cuando el porcentaje de C es más elevado, es necesario dar un temple de regeneración. El níquel dificulta el crecimiento del grano.

**CROMO :**

Aumenta el espesor de cementación y evita el descascarillamiento.

**CARBONO :**

Los porcentajes de C en los aceros de cementación sin aleación, varían del 0.05 al 0.15 %. Algunos aceros aleados con Cr-Mo y Cr-Ni alcanzan porcentajes entre el 0.20-0.30% de carbono. Cuando el porcentaje de carbono es superior al 0.15 % debe darse un temple de regeneración, en caso contrario, daría una resistencia al choque muy débil.

E) ACEROS PARA CEMENTAR.

Es muy difícil dar unas reglas generales para la elección de aceros destinados a la fabricación de piezas cementadas, ya que es un problema extraordinariamente complejo, por ser muchos los factores que intervienen.

Para piezas pequeñas en las que no importa una probable deformación, ni es de gran interés la resistencia y la tenacidad del núcleo, se utilizan aceros al carbono con temple al agua.

Para piezas de tamaño chico y mediano, en las que deben cuidarse las deformaciones y en las que interesa buena tenacidad y resistencias de 70 a 90 Kg/mm<sup>2</sup>, se utilizan aceros de mediana aleación con temple al aceite o al agua.

Para piezas de cualquier tamaño en las que no se permiten deformaciones sensibles en el temple y en las que interesa excelente tenacidad y alta resistencia en el núcleo, entre 90 a 150 Kg / mm<sup>2</sup>, se utilizan aceros de alta aleación y temple al aceite.

Los mejores aceros para cementación son según la clasificación AISI el 4320 y 8620, que son aceros al Cromo-Níquel-Molibdeno.

#### 4.5.2 .- NITRURACION.

Es un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial que se obtiene mediante la absorción de nitrógeno, el cual se combina con los elementos de aleación contenidos en el acero. Con este tratamiento se logran obtener elevadas durezas (70 - 80 HRC), lo que produce una mayor resistencia al desgaste, mayor resistencia a la fatiga, mayor resistencia a la corrosión y una mayor resistencia al ablandamiento por revenido. La temperatura del proceso es aproximadamente entre 500 - 550 ° C. Durante un tiempo variable de 4 a 20 horas; esto permite el endurecimiento superficial de las piezas sin distorsiones importantes.

##### 1.- ACEROS PARA NITRURAR.

Industrialmente se utilizan aceros que contengan:

Cromo - Aluminio - Molibdeno

Cromo - Vanadio - Molibdeno (AISI tipo D)

Cromo - Molibdeno (AISI tipo H)

Siendo los primeros, por la presencia del aluminio, con los que se obtienen las mayores durezas de capa.

## 2.- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION

**ALUMINIO** : Es el elemento más importante para lograr durezas máximas al formar nitruros de aluminio, debe llevar otros aleados para que la capa nitrurada no sea muy frágil por la elevada dureza que alcanza y así, reducir el riesgo de posibles descascarillamientos.

**MOLIBDENO** : Aumenta la dureza de la capa exterior y mejora la tenacidad del núcleo. Disminuye la fragilidad que da el níquel.

**CROMO** : Incrementa la influencia del aluminio y del molibdeno, además aumenta la profundidad o espesor de la capa.

**VANADIO** : Ayuda a la difusión de la nitruración y aumenta el espesor de la capa dura.

**NIQUEL** : Cuando éste elemento se encuentra presente con más del 3% impide totalmente el efecto nitrurante; se recomienda que no sobrepase el 0.50% ya que confiere fragilidad al acero después de nitrurado, pero en muy pequeños porcentajes ayuda a aumentar la dureza de la capa nitrurada.

**CARBONO** : Favorece la concentración de nitrógeno en la superficie, en cambio influye para reducir el espesor total de la capa.

Como en todos los tratamientos, hay ciertos aceros que son más adecuados que otros para ser nitrurados. De los que se ofrecen en nuestro país, se recomienda el uso de los siguientes aceros, con los que se pueden solucionar la mayoría de los problemas que se presentan en la industria.

- |             |  |
|-------------|--|
| AISI 4320   | Excelente resistencia al desgaste.   |
| AISI 4140   | Alta resistencia al desgaste, ideal para   |
| AISI 9840   | engranes de todos tipos y otras partes   |
| R/T         | mecánicas sujetas a esfuerzos, compresión y/o fatiga, alta velocidad, medios abrasivos, tales como cigüeñales, pernos, flechas, moldes para plástico.  |
| AISI tipo D | Herramientas de corte expuestas a esfuerzos y desgastes severos como dados, punzones, rodillos para laminación, brochas, cuchillas, calibradores, etc. |
| AISI tipo H | Herramientas expuestas a esfuerzos y desgastes severos a temperaturas elevadas tales como dados de forja y de extrusión.                               |

AISI tipo M                      Herramientas de corte de todo tipo para prolongar notablemente su vida.

Todos los aceros endurecibles deben ser templados y revenidos antes del tratamiento de nitruración.

Las durezas de las capas nitruradas se comprueban solamente mediante el ensayo de dureza Vickers (VHN) con cargas de 200 - 1000 Grs. Los espesores comerciales más comunes de la capa nitrurada varían desde 0.1 mm hasta 0.50 mm.

### 3.- TIPOS DE NITRURACION.

Este puede ser de dos formas: nitruración líquida y nitruración gaseosa.

#### NITRURACION LIQUIDA :

Se efectúa en hornos de gas o eléctricos con crisol; la temperatura de operación es entre 500 y 530 °C; se realiza el proceso en sales de Cianuro fundidas con la siguiente composición:

Cianuro de Sodio	30 % Máximo
Carbonato de Sodio o Potasio	25 % Máximo
Ingredientes Activos	4 % Máximo
Humedad	2 % Máximo
Cloruro de Potasio	El resto

Estos baños pueden trabajar con Amoniaco gaseoso bajo presión, lo que asegura una provisión constante de nitrógeno naciente. Otra manera de acelerar la nitruración es por aereación del baño.

El nitrógeno del cianuro se difunde en el material formando nitruros con los elementos de aleación que al final del proceso constituyen la capa nitrurada.

La nitruración líquida es recomendada para espesores de capa de 0.1 a 0.2 mm. Para espesores mayores, el tiempo de permanencia se hace excesivamente prolongado ya que la velocidad de difusión del nitrógeno es muy lenta en éste proceso.

#### NITRURACION GASEOSA :

Este proceso se basa en la afinidad que tiene el hierro y otros elementos de aleación por el nitrógeno naciente, éste es producido por la disociación del amoníaco gaseoso cuando se pone en contacto con el acero.

Es el proceso más utilizado en la industria debido principalmente a las ventajas económicas que ofrece respecto a la nitruración líquida.

Las piezas se cargan en cajas o contenedores y éstos a su vez se introducen en el horno; a través de ellas se hace pasar amoníaco, el cual a una temperatura de operación de 500 - 550 C se disocia entre un 15 y 20 % formando

nitrogeno, el cual se combina con el aluminio, cromo, molibdeno y fierro, para formar nitruros que son los constituyentes caracteristicos de la capa que interesa.

El proceso puede hacerse en uno o dos ciclos. En el primero se produce una capa blanca, frágil, con un alto contenido de nitrogeno en la superficie y que resulta, en ocasiones, nociva. Durante el segundo ciclo se utiliza una temperatura más alta, entre 550 - 565 ° C, lo que aumenta la disociacion a un 65 - 80 %.

Durante la nitruración existe un ligero cambio en las dimensiones de las piezas.

#### 4.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA NITRURACION.

##### Ventajas:

- La dureza superficial que se obtiene es más elevada.
- La dureza se mantiene en caliente hasta 700 ° C, en cambio, en las capas cementadas disminuye a partir de los 200 ° C.
- Le confiere a las piezas una alta resistencia a la oxidación, corrosión y al desgaste; aumentando notablemente la vida útil de partes y herramientas.
- Se pueden nitrurar unicamente las partes que interesan.

- Por la temperatura de operación, no presenta distorsiones significativas.

**Desventajas :**

- Duración muy prolongada del tratamiento, en consecuencia se incrementa considerablemente el costo de producción.
- Únicamente se utilizan aceros adecuados para el proceso.
- La capa nitrurada, por su elevada dureza es muy frágil, provocando despostillamientos.

**4.5.3 .- CARBONITRURACION.**

Cuando se calienta un acero a una temperatura por encima de la temperatura crítica de transformación en una atmósfera capaz de proveer carbono y nitrógeno, el resultado es una capa carbonitrurada. Este proceso no es más que una cementación modificada, la atmósfera empleada es Carburante (CH = Carburo de Hidrógeno) a la que se le ha agregado amoníaco, las temperaturas empleadas están entre 750-900 ° C y el tratamiento se realiza durante lapsos más cortos que la cementación gaseosa, con el fin de producir capas más delgadas entre 0.1 y 0.75 mm.

Las capas carbonitruradas poseen mayor dureza, menor distorsión y son más baratas que las cementadas; luego de la carbonitruración las piezas se templan y revienen.

La elección de la temperatura de carbonitruración depende de la composición química del acero, el control dimensional, propiedades de fatiga y desgaste que se desean, costo y equipo disponible, así como la dureza necesaria.

A temperaturas bajas, las capas producidas son frágiles, con alto contenido de nitrógeno, sin embargo las variaciones dimensionales son menores. A temperaturas de carbonitruración altas, los aceros presentan mayor dureza en el núcleo, luego de tratados y templados, lo que proporciona un buen soporte a la capa carbonitrurada. Esto es importante si la pieza se va a emplear para un servicio severo.

De lo anterior se entiende que la elección de la temperatura estará regida por un compromiso entre las propiedades deseables y las condiciones experimentables disponibles.

### 4.6 .- TRATAMIENTOS ISOTERMICOS.

Al templar una pieza por el método tradicional se calienta hasta la zona de austenitización y se enfría lo más

## Tratamientos Térmicos

rápidamente posible, ya sea en agua o aceite, si ésta presenta desequilibrio de masa, cambios de sección drásticos, difícil configuración, etc; el riesgo de que se presenten grietas, deformaciones o fisuras es inminente debido a que las secciones débiles se enfrían rápidamente, mientras que las de mayor masa tardarán más tiempo, siendo esto más crítico entre más enérgico sea el medio de temple.

Esta diferencia de enfriamiento origina, que la transformación de los constituyentes estructurales se realice primero en la periferia que en el centro de la pieza, generando grandes tensiones entre esas zonas, que pueden llegar a ser la causa de que el elemento falle.

Para evitar lo anterior, se aplican los tratamientos isotérmicos, que consisten en llevar el material hasta la temperatura de austenitización y en vez de enfriar a un medio a la temperatura ambiente, las piezas se introducen a un baño de sal o de plomo caliente, evitando de esta manera, el gradiente de temperatura que existe en el tratamiento térmico tradicional, la razón a lo anterior es, que el baño se encuentra a una temperatura ligeramente inferior a la de transformación de la austenita; al permanecer cierto tiempo se logra que se igualen las temperaturas tanto de la periferia como la del centro, antes de que la austenita transforme a otros constituyentes, se enfría al aire y la

transformación casi sucede al mismo tiempo entre las dos zonas, por lo que el riesgo de deformaciones, fisuras o fracturas de las piezas prácticamente es reducido a cero.

Con éste tratamiento se eliminan sensiblemente la aparición de grietas y deformaciones, ya que las tensiones creadas son de mínimo valor, las durezas obtenidas son más uniformes, muy poca variación dimensional, por enfriarse en baños se reduce la oxidación, en algunas ocasiones se elimina el revenido.

Estos tratamientos térmicos son :

- Martenpering.
- Austempering.
- Patenting.
- Subacero.
- Recocido Isotérmico.

CAPITULO No. 5 .- TEORIA DE MOLDES

Un molde para inyección es un dispositivo que sirve para producir diferentes tipos de piezas, que se requieran en gran cantidad. Estas piezas pueden ser de plástico, aluminio, termofijos, etc.

Todo molde consta de 2 partes: parte de inyección, que va sujeta a la platina fija de las máquinas inyectoras; y parte de extracción, que va en la platina móvil.

En la parte de inyección se tiene la boquilla, a través de la cual se introduce el plástico al molde, el distribuidor y las cavidades; en la parte de extracción se tienen los corazones, que dan la forma interna a la pieza, se tiene también todo el sistema de extracción o botado de la misma.

Todo molde debe cumplir con los siguiente requerimientos:

- A) Dar forma y dimensiones específicas a la pieza de plástico.
- B) Solidificar la pieza mediante un adecuado sistema de enfriamiento para que al salir esta del molde posea tanto estabilidad dimensional como su forma.
- C) Expulsar la pieza de los corazones y cavidades.

- D) Debe cumplir con cierta productividad según haya sido fabricado.

Los moldes son contruidos en diferentes aceros, con diferentes tratamientos térmicos y es aquí donde entra lo visto en los 2 capítulos anteriores. La adecuada selección de los materiales de construcción del molde en todas sus partes, junto con un buen diseño y maquinado del mismo, determinan su calidad y esto se refleja directamente en 2 factores muy importantes: Productividad y Durabilidad del Molde.

Los moldes pueden ser de funcionamiento manual, semiautomático o automático, según lo requiera la pieza a moldear.

Existen varias clasificaciones de moldes, las cuales se verán poco a poco. Dentro de c/u de ellas existen subdivisiones. En algunos casos, un mismo molde podrá ser clasificado en varias de éstas, en otros, la subdivisión es tan específica, que al clasificarlos entran en un grupo o en otro.

A continuación se muestra la Tabla 5.1 con la clasificación general de los moldes de inyección.

Tabla 5.1

## Clasificación General de los Moldes de Inyección

I.- Por el tipo de Inyección	[	Colada Fría Colada Caliente
II.- Por el tipo de Construcción	[	Tercera Placa Normales Con Limitadores Carros Deslizantes
III.- Por el tipo de Extracción de la Pieza moldeada	[	Doble Botado Esc. Pernos Botadores Arandelas y/o Placa Botado por Aire
IV.- Por el Sistema de Transmisión en caso necesario	[	Husillo Motor Hidráulico Cremallera

(Apuntes de Teoría de Moldes - Micromold)

## 5.1 .- CARACTERISTICAS POR EL TIPO DE INYECCION.

La masa procedente del cilindro de plastificación de la máquina llega al bebedero del molde y, de ahí se distribuye a las cavidades. Para esta distribución existen 2 sistemas de inyección que son:

- A) Sistema de Colada Fria
- B) Sistema de Colada Caliente

### A) Sistema de Colada Fria

En este tipo de moldes, la masa plástica llega a la cavidad del molde medianamente enfriado, pasando por un canal en los moldes simples o por un sistema de canales en los moldes múltiples, o también en los moldes simples de gran superficie. Estas vías de flujo se llaman canales de distribución y la masa plástica que se solidifica en ellos se llama Mazarota o más comúnmente Colada; los canales tienen la misión de recibir la masa, dirigirla a la cavidad del molde y en los moldes múltiples, distribuirla. Por lo tanto, en este sistema de alimentación se tiene el bebedero (tronco de colada), la araña (distribuidor de colada) y los canales de estrangulamiento (nervios de colada).

El principal inconveniente de este tipo de moldes es que esta colada es desperdicio, y aunque se puede moler y volver a utilizar, se convierte en un material de segunda.

La disposición y tipo de sistema de alimentación son de gran importancia para la calidad de la pieza. Eligiendo apropiadamente dicho sistema se puede influir en el tiempo de inyección, reducir desperdicios, ahorrar material, etc.

El tipo de alimentación viene determinado principalmente por el hecho de conducir la masa plástica hacia la cavidad del molde con la mayor rapidez, sin obstáculos, por el camino más corto, con mínimas pérdidas de calor y presión, evitando las discontinuidades de fluidez (soldaduras) en la pieza. Se tiene además la exigencia, en los moldes múltiples, de que el material debe alcanzar simultáneamente las diversas cavidades a igual presión y temperatura.

Tratándose de piezas de gran superficie, que deben ser inyectadas por varios puntos, hay que cuidar, finalmente, de que la masa tenga iguales recorridos de flujo, a fin de que se mezcle en iguales condiciones en todos los frentes de desembocadura (fluidez homogénea). El sistema de alimentación o inyección de colada fría, se elegirá de modo que la colada tenga el mínimo peso, pueda separarse fácilmente de la pieza y no perjudique el aspecto de la misma; así, la disposición y forma del sistema de llenado dependen de la configuración de la pieza y del plástico a inyectar. Las dimensiones de los canales de distribución dependen, en gran medida, del tamaño de la pieza, tipo de molde y plástico a inyectar.

### A.1.- Configuración de los Canales de Distribución

Como se vio anteriormente, los canales de distribución constituyen la parte del sistema de llenado que une las cavidades del molde con el cono de entrada. Tienen la misión de conseguir que el material entre en todas las cavidades simultáneamente y a igual presión y temperatura.

El plástico caliente entra con una determinada velocidad en el molde refrigerado. La disipación de calor enfría y solidifica rápidamente la masa que fluye junto a las paredes de los canales; al mismo tiempo, la masa que fluye por el centro queda aislada respecto a la pared, originándose así un "núcleo plástico", por el que puede fluir la masa necesaria para el buen llenado del molde. Este "núcleo plástico" debe conservarse hasta que la pieza este totalmente solidificada, de ésta forma la presión residual necesaria para compensar la contracción de volumen que ocurre durante el enfriamiento, actúa eficazmente.

De ésta exigencia deriva la geometría de los canales de distribución, teniendo en cuenta: ahorro de material, condiciones de refrigeración, la relación superficie/volumen, que debe ser lo menor posible, lo cual significa menor área de contacto en las paredes de los canales y mayor "núcleo plástico".

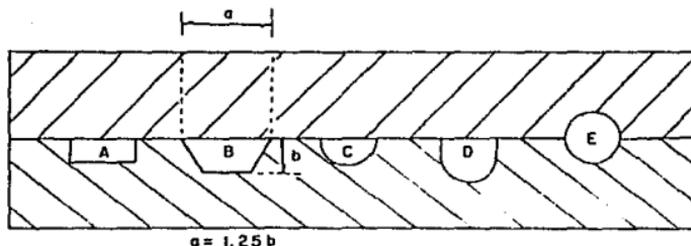
Por lo general se debe considerar que la sección del canal ha de ser mayor cuanto mayor es la pieza. Una sección grande favorece al llenado, ya que la resistencia al flujo es menor que en los canales estrechos. La masa plástica debe tener mayor fluidez cuanto más largos sean los canales.

Por otra parte, se tiene que producir un artículo con el máximo de rentabilidad posible. La colada extraída del molde también influye en la cantidad de desperdicio y también en el tiempo de refrigeración; es decir, hay que esperar a que se enfríe la colada para abrir el molde, lo que ocasiona ciclos de operación más largos, (menos producción en el mismo tiempo).

La gran importancia del dimensionado de los canales radica tanto en la calidad de funcionamiento como en la rentabilidad de la producción. A continuación se muestra la Fig. 5.1 con diferentes secciones de canales.

FIGURA 5.1

## SECCIONES DE CANALES



De las 5 secciones mostradas en la figura anterior, el canal circular (E) cumple optimamente la condición de mantener mínima la relación sup/vol, con este canal se producen las mínimas pérdidas de calor, de rozamiento, de presión y de material. Para poder desmoldearlo, se tiene que dividir diametralmente en partes iguales, abarcando una mitad la parte de inyección y la otra la parte de extracción, cosa que resulta difícil de hacer. Aun teniendo la forma de hacerlo bien, el mecanizado de este canal, al tener que ser en dos placas, encarece el molde.

Esta sección es la mejor funcionalmente hablando, pero se utiliza muy poco.

La sección de media caña (C) es mala por tener una relación sup/vol alta; no se utiliza. La sección cuadrada (A) también tiene una relación alta, con el agravante de que en los ángulos rectos se crean más turbulencias de las normales, quitando presión a la inyección; es mala, no se utiliza.

La sección trapezoidal (B) es de las más utilizadas, ya que tiene buena relación sup/vol y queda bien definido el "núcleo plástico". La otra sección más utilizada es la parabólica (D), funciona bien, es de fácil mecanizado y proporciona solo un poco más de desperdicio de material, que la circular.

La calidad de la superficie de los canales depende del plástico a inyectar. Por lo general se parte de la base de que se pulan los canales, para su fácil desmoldeo, y utilizar en el molde anclas de colada o negativos para jalarías a donde se requiera.

En los moldes múltiples, los canales distribuidores tienen también la función de conseguir que todas las cavidades se llenen simultánea y uniformemente. De producirse retrasos en el llenado de unas partes con respecto a otras, la presión de sostenimiento sólo actúa a su debido tiempo en determinadas cavidades, mientras que en el resto se produce prematuramente o demasiado tarde. El modo más sencillo para conseguir un llenado balanceado (simultáneo), consiste en hacer de igual longitud todas las vías de flujo hacia las cavidades. Existen 2 formas de lograr esto. La primera es disponer las cavidades en círculo alrededor de un punto central del bebedero, denominado "radial". La otra forma de distribución es el denominado de "hileras" o "ramas", formado por un canal principal, canales secundarios, terciarios, etc; hasta llegar a los canales de estrangulamiento, éste último es el utilizado en nuestro diseño.

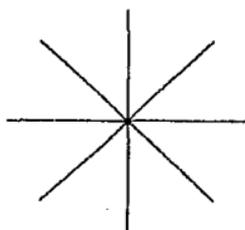
Regularmente se adoptan secciones distintas para los canales, secundarios, terciarios, etc; con el objeto de tener iguales caídas de presión.

En la Fig. 5.2 se muestran diferentes canales de distribución.

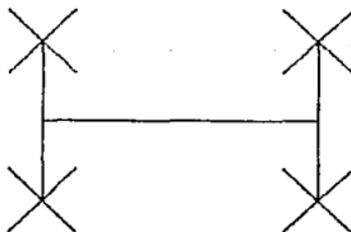
FIG. 5.2

DIFERENTES CANALES DE DISTRIBUCION

TIPO RADIAL



TIPO DE HILERAS



## A.2 .- Venteo del Molde

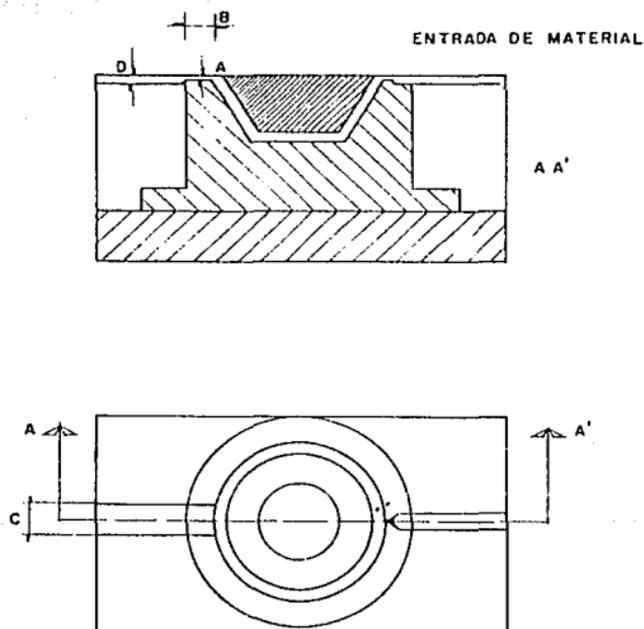
Es importante hablar del venteo o salidas de aire. Todo molde contiene aire que debe ser removido cuando entra el material plástico. Este aire debe salir libremente durante la inyección. A altas velocidades de inyección si no se tiene un venteo suficiente, se puede producir una considerable compresión del aire, teniendo como resultado una disminución en la velocidad de llenado, problemas en el botado de la pieza (debido a que se crea un vacío), se ven en la pieza líneas de flujo de material, y en caso extremo, se quema el plástico en la parte más lejana del punto de llenado. Por otro lado, si el venteo es excesivo, el plástico fluye por la salida de aire mal hecha y se tiene lo que se conoce como "flash" o rebaba de plástico en la pieza.

Estas se realizan tanto en las cavidades (líneas de partición) como en los distribuidores y deben ir al final de la línea de flujo, es decir, del lado contrario del punto de inyección.

En la siguiente figura (5.3) se muestra esquemáticamente lo que es el venteo, así como valores recomendados para diferentes materiales plásticos.

FIG. 5.3

## VENTEO DE MOLDE



## VENTEO DE MOLDES

	A = 0.03 MM	A = 0.015 MM	
MAYORIA DE TERMOPLASTICOS	B = 3.0 MM	B = 3.0 MM	NYLON, ACETAL, PET
	C = 10-12 MM	C = 10-12 MM	
	D = 0.2 MM	D = 0.2 MM	

### A.3 .- Tipos de Inyección (Entrada de Material)

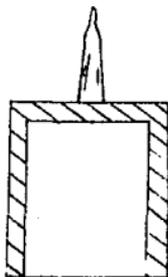
Una correcta selección de la colada o entrada de material determina la productividad del molde, así como su calidad. La colocación de la entrada de material en la pieza influye sobre el proceso de llenado, sobre la resistencia mecánica de ésta, así como en su estética, no debe estorbar en su uso; debe romper fácilmente el punto de inyección.

Existen varios tipos de inyección y/o entradas de material, las cuales se explican brevemente a continuación:

#### A.3.1 .- Colada Cónica Directa

Es la forma más sencilla de colada, posee un área transversal circular y en su diámetro mayor penetra en la cavidad, por lo que sirve de entrada de material. El ángulo con que se utiliza la colada cónica no debe ser menor de 29° para evitar problemas en el desmoldeo.

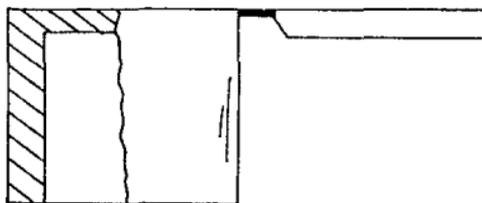
Este tipo de colada presenta 2 desventajas, la primera es que su uso implica rebabeo y la segunda es que casi siempre quedan marcas en la entrada del material, debido a la forma tan abrupta en la que éste penetra en las cavidades.



## A.3.2 .- Colada tipo Pelicula

Se utiliza principalmente para el moldeo de piezas grandes, largas y delgadas, que no permiten la marca que deja cualquier otro tipo de inyección.

La corriente del material entra por una colada conica para después llenar un canal circular de distribución, provocando un llenado uniforme de la cavidad, con esto se logran piezas libres de esfuerzos internos. Debido a que este tipo de inyección se encuentra casi siempre unido a un lado de la pieza, se tiende a inyectar sobre la línea de partición para facilitar la expulsión.

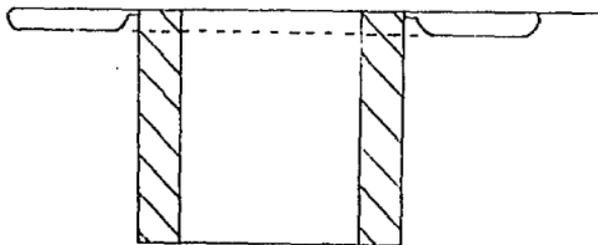


## A.3.3 .- Colada Anular

Es utilizada para el moldeo de piezas cilíndricas, en las cuales debido a lo largo del núcleo, debe ser fijo en ambos extremos para evitar desplazamientos.

La colada consiste en un anillo, con área transversal circular, que rodea la pieza y que se une a ella mediante una entrada de película, inicialmente se llena por completo el anillo debido a que la entrada tan delgada no permite el paso libre y posteriormente se lleva a cabo el llenado de la pieza.

La ventaja que presenta es que pueden inyectarse piezas cilíndricas muy largas con espesores de pared uniformes, debido a que el corazón del molde puede apoyarse en ambos extremos. Además es posible utilizarla en moldes múltiples.



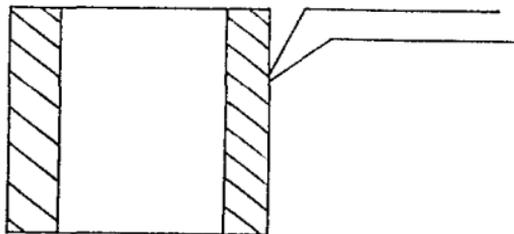
## A.3.4 .- Colada Submarina

Se utiliza en moldes múltiples para pequeñas piezas que pueden ser inyectadas en forma lateral. La separación de piezas y colada se realiza siempre con la apertura del molde.

La pieza y el canal de distribución se encuentran sobre la línea de partición y un poco antes de que el canal se una a la cavidad, se desvía, formando un túnel que llega hasta ella lateralmente, uniéndose por un pequeño punto. Es ahí donde se separa la pieza de la colada, cortándose en la apertura.

Durante la expulsión, tanto la pieza como la colada deben permanecer del lado móvil del molde, para lo cual se utilizan negativos en los corazones.

Se utiliza en especial cuando se trabaja con materiales plásticos flexibles; con plásticos rígidos, se corre el riesgo de que se rompan constantemente los puntos de inyección.



### A.3.5 .- Colada Capilar Superior

Es utilizada principalmente en los moldes de tres placas. Esta entrada estrangula el paso de material al molde evitando que una vez dentro de la cavidad, regrese a la boquilla. Se utiliza en piezas delgadas y chicas como tapas, que puedan tener la inyección en la parte superior, ya sea centrada o descentrada. El diámetro del punto de inyección oscila entre 0.6 - 0.9 mm; debido a estas pequeñas dimensiones, la colada y la pieza se rompen fácilmente por lo que no es necesario rebabearla.

### B) Sistema de Colada Caliente

Utilizando este sistema de inyección no existe desperdicio de material, debido a que los canales de distribución no se les permite enfriarse y sirven como material disponible para el siguiente ciclo de inyección, esto es en el caso de muchas cavidades o también en el caso de una pieza grande con varios puntos de inyección.

Existen 3 tipos principales de sistemas de colada caliente, los cuales se describen brevemente a continuación.

1.- Utilizando distribuidor de plástico (manifold) e  
inyectores (hot runners system)

En este caso se requiere, al igual que los otros, un módulo eléctrico y/o electrónico controlador de temperaturas tanto para el distribuidor de plástico llamado también cabeza caliente (manifold), como para los inyectores; este control puede ser por porcentaje o pirométrico, dependiendo si se van a instalar termopares o no.

La cabeza caliente normalmente es fabricada en un acero resistente al calor, puede ser un H-13; Esta placa lleva resistencias de cartucho, las cuales la mantienen a cierta temperatura, el número de ellas, así como su capacidad dependen del tamaño de la placa, de la pieza, del número de cavidades, así como del material a inyectar. Los conductos de plástico y los alojamientos de las resistencias, son maquinados antes del tratamiento térmico. Estos conductos deben ser bloqueados con tapones a presión y opresores como respaldo, no sin antes pulirlos muy bien con el objeto de que no existan rebabas de acero que puedan tapar los inyectores.

Esta placa tiene por el lado de inyección, y a manera de acoplamiento entre el cañón de la máquina y ella, un filtro con resistencia, para evitar que cualquier impureza que lleve el material tape los inyectores. Esta placa es sujeta a la placa de cavidades por tornillos, el número de éstos son

calculados de acuerdo a la presión a la que se somete la placa. Tiene este sistema de fijación debido a que debe de estar lo menos posible en contacto directo con acero, es decir, tiene un colchón de aire en todas sus caras. Ya que la conducción térmica es mucho mayor que la convección, existiendo así, menores pérdidas de calor.

### 2.- Utilizando Únicamente Inyectores

Se utiliza principalmente cuando es una sola cavidad ya sea chica con un solo inyector o grande con varios distribuidos uniformemente. También requiere un módulo controlador de temperatura aunque nada más para los inyectores.

### 3.- Utilizando un solo Inyector Central

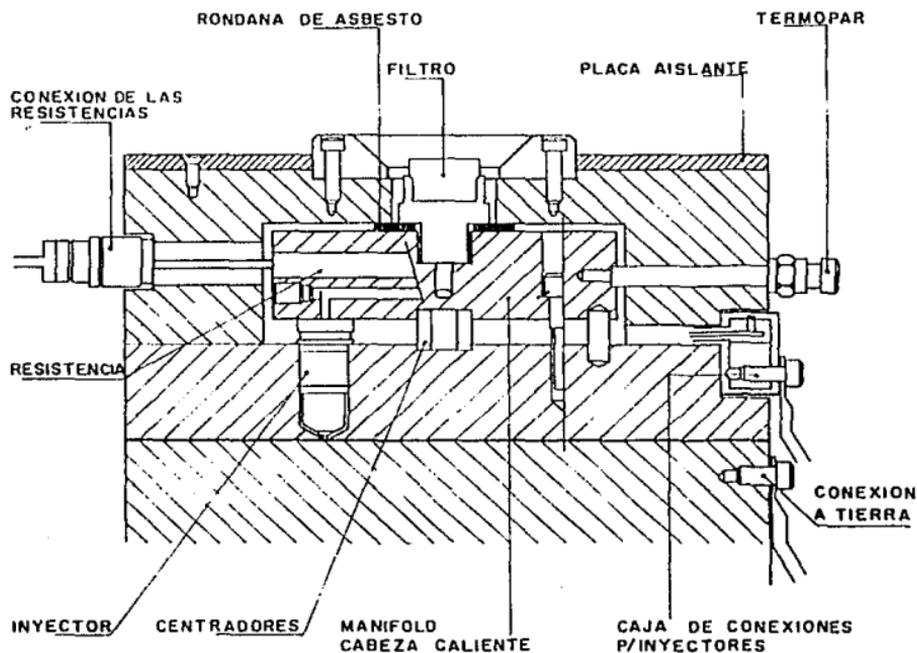
Este sistema es una combinación de colada fría y colada caliente, se usa principalmente cuando hay limitantes en la apertura del molde, ya sea por la máquina o por el mismo molde.

En este sistema existe la colada como material de desperdicio aunque sin el tronco cónico de inyección. Es utilizado en los moldes con tercera placa principalmente. Utiliza también un módulo controlador de temperaturas para el inyector.

A continuación se muestra en la Fig. 5.4, un esquema representativo del primer sistema mencionado anteriormente.

FIG. 5.4

## SISTEMA DE COLADA CALIENTE



## 5.2.- CARACTERISTICAS POR EL TIPO DE CONSTRUCCION.

### A) Moldes de Tercera Placa

Estos moldes se utilizan principalmente cuando la inyección es superior capilar ya sea centrada o descentrada. La necesidad de su fabricación radica en que se tiene que detener la colada para que rompa el punto de inyección y posteriormente botarla del molde. La llamada tercera placa es sometida en casi todos los moldes de éste tipo a un gran esfuerzo tanto de choque como de compresión, por lo que su fabricación debe ser en un acero especial, que tenga buena tenacidad y dureza suficiente.

Para lograr detener la colada, se utilizan siempre lo que se conoce como anclas y expulsores de colada accionados por resortes. El movimiento de la placa está dado por unos pernos limitadores, los cuales son lo último que se acciona en la apertura del molde. Esta placa normalmente es de un espesor no menor a 22.0 mm, para evitar problemas de pandeo; en ella se maquinan los resagues con los que se puede sujetar la parte de inyección del molde a la máquina, utilizando clamps. Estos moldes son casi siempre de carrera de apertura limitada.

Nuestro diseño es un molde de tercera placa.

**B) Moldes Normales**

Estos moldes tienen en la parte de inyección únicamente 2 placas, la carrera de apertura es libre. Puede o no tener mesa botadora. En caso de tenerla, puede usar pernos o manguitos expulsores; en caso contrario puede expulsar las piezas mediante arandelas y/o placa.

**C) Moldes con Pernos Limitadores**

Estos moldes no tienen ningún tipo de ayuda externa para el botado de sus piezas o para su funcionamiento en general. Tiene pernos limitadores y/o arrastradores, puede tener también dispositivos como levas o arrastradores de placas hechos en nylon, que permitan dar las carreras de apertura necesarias del molde.

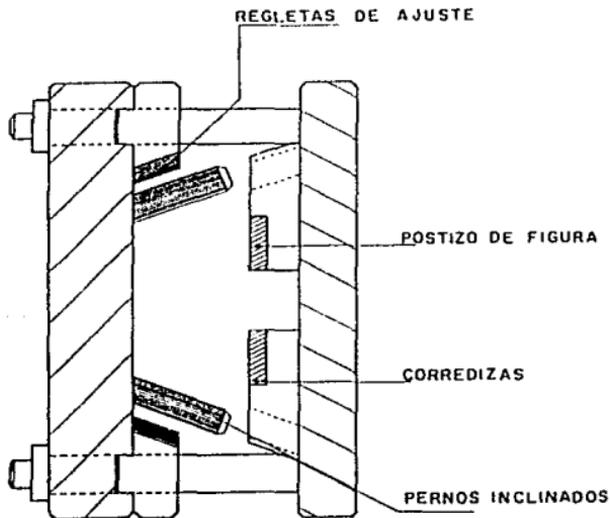
**D) Moldes de Carros Deslizantes**

Estos moldes tienen la particularidad de tener una parte específica llamada corrediza o carro deslizante, que tiene un movimiento perpendicular al de la apertura, con el objeto de liberar negativos de la pieza que no se pueden liberar normalmente. El accionamiento de este movimiento puede ser mecánico, con pernos inclinados; neumático o hidráulico, con pistones. Su clasificación depende de cómo esté la guía de las corredizas.

Pueden tener cabeceras, una en la parte superior y la otra en la parte inferior del molde, de tal forma que se guíe el movimiento lateral. Otra forma es el utilizar los pernos inclinados como guía, además de usarlos para abrir las correderas. A continuación se muestra en las figuras 5.5 y 5.6 esquemas de correderas abiertas y cerradas.

FIG. 5.5

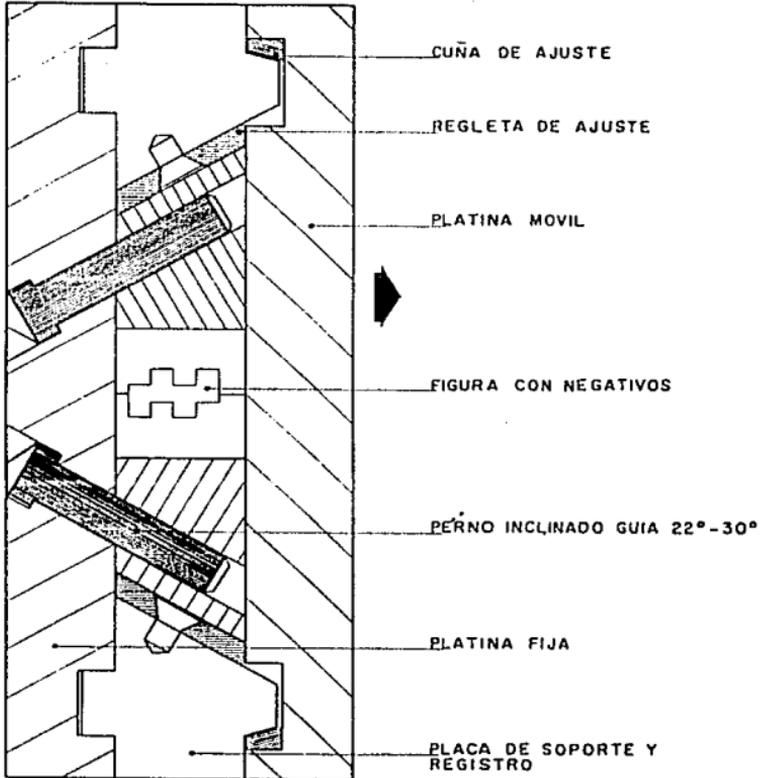
MOLDE CON CORREDIZAS ABIERTAS



MOLDE ABIERTO (CORREDIZAS)

FIG. 5.6

HOLDE CON CORREDIZAS CERRADAS



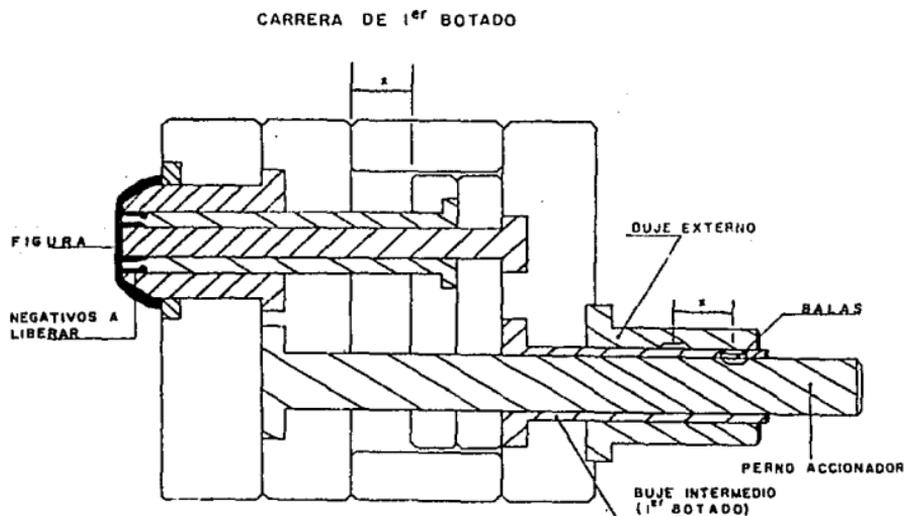
MOLDE CERRADO (CORREDIZAS)

## 5.3 .- CARACTERISTICAS POR EL TIPO DE EXTRACCION.

## A) Doble Botado Escalonado

Este tipo de botado se utiliza cuando la pieza es muy grande, o cuando tiene su figura tanto interna como externa un poco complicada, o cuando tiene negativos internos la figura, en que se necesita primero sacarlos del acero para que el material plástico ceda un poco de sí y pueda flexionarse lo suficiente para poder posteriormente botarla del molde. En la figura 5.7 se muestra este sistema de botado.

FIG. 5.7

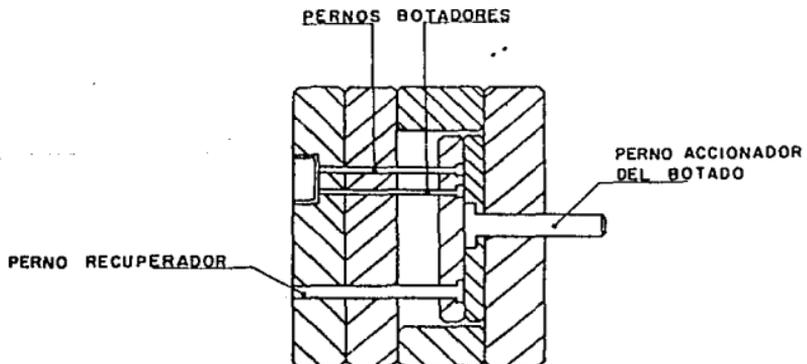


## B) Botado por Pernos Expulsores

Este sistema incluye manguitos expulsores, pernos botadores, pernos laminares, pernos corazoneros, etc. Estos se utilizan en los moldes normales que tienen una mesa botadora compuesta por 2 placas, una de respaldo y otra de guía para los pernos. El movimiento de esta mesa es accionado en la máquina por un botador que puede ser hidráulico o mecánico, una vez que el molde está abierto, y así poder sacar las piezas de plástico de la cavidad.

Cabe hacer notar que todos los pernos y manguitos expulsores son templados y nitrurados, debido a la fricción constante con que trabajan.

FIG. 5.8



BOTADO POR PERNOS

C) Botado por Arandelas y/o Placa

Este tipo de botado es el que utilizamos en nuestro diseño, se puede utilizar con el sistema de doble botado, con el sistema de pernos limitadores, etc; consiste en ajustar una arandela con el corazón, ya sea en forma cónica o recta, dependiendo del material a inyectar. A cierta carrera de apertura se acciona el movimiento de la placa botadora que tiene las arandelas de expulsión, la cual arrastra la pieza de plástico, sacándola del corazón y haciendo que caiga del molde.

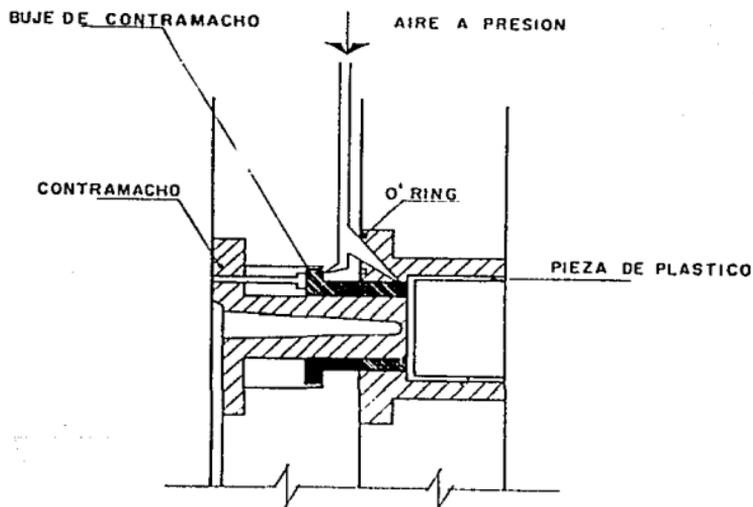
Siempre las arandelas de expulsión hacen sello con las cavidades, logrando delimitar la pieza de plástico, por la parte de extracción.

D) Botado por Aire

Hay ocasiones en que la pieza no se puede extraer del molde por ninguna de las 3 formas anteriores de expulsión, por lo que se tiene que recurrir al aire comprimido como medio de botado. Esto puede ser de forma externa, mediante un chorro de aire a presión; o interna utilizando uno o varios mecanismos auxiliares como el que se muestra a continuación, Fig 5.9; en donde se puede apreciar que el aire primero mueve el contramacho de la cavidad, para poder darle entrada de aire a la cavidad, y expulsar así la pieza de plástico.

FIG. 5.9

SISTEMA DE BOTADO POR AIRE



SISTEMA DE BOTADO POR AIRE

#### 5.4 .- CARACTERISTICAS POR EL SISTEMA DE TRANSMISION.

Cuando la pieza de plástico a moldear lleva cuerda ya sea interna o externa, esta se puede llegar a sacar de la cavidad o de los corazones mediante un tipo de botado, siempre y cuando el material plástico tenga la suficiente elasticidad para permitirlo, un adecuado perfil de la cuerda y que no sean demasiados los hilos.

En caso de que no se pueda, el molde debe llevar un sistema de transmisión por engranes, y éste puede ser de varios tipos:

- A) Husillo
- B) Motor Hidráulico
- C) Cremallera

Los 2 últimos mencionados, hacen que la fabricación del molde sea más sencilla, pero requieren de equipo adicional que debe adaptarse a la máquina de inyección, como unidad de potencia y motor hidráulicos, pistón neumático, válvulas, micro-switch, etc.

El diseño que preparamos es para utilizar motor y unidad de potencia hidráulicos, por lo que el avance de las placas del molde para liberar la cuerda se da con resortes, los cuales al utilizarse no deben sobrepasar el 30% de su máxima compresión.

Los de husillo son bastante más complicados porque hay que combinar el giro de los engranes con el avance de las placas según sea el paso de la cuerda de la pieza, y finalmente el botado.

Existen varios tipos de moldes de husillo como son el de válvula, retén, tuerca de retroceso, etc; sin embargo todos requieren que la máquina de inyección tenga mucha fuerza en la apertura, ya que el desenrosque es automático con la apertura y cierre de la misma. No requieren de equipo adicional para trabajar en la máquina.

Es muy importante seleccionar muy bien los aceros del molde así como sus tratamientos térmicos, ya que este tipo de moldes son sometidos a grandes esfuerzos sobre todo en la parte central de las placas.

## CAPITULO No. 6 .- DISEÑO DEL MOLDE

Lo primero que se tiene que analizar para empezar el diseño de un molde, es el dibujo de producto, mostrado en la Fig. 6.1. Este es proporcionado generalmente por los clientes; una vez hecho ésto, se tienen 4 problemas principales, que son: la inyección de la pieza, su extracción del molde, la distribución de las cavidades en el portamolde y el análisis detallado del molde. Para poder analizarlas empezaremos por la distribución y la determinación del número de cavidades que tendrá. A continuación se muestra en la Tabla 6.1 un cuadro comparativo que describe las opciones que se tienen.

Tabla 6.1 Tabla Comparativa de Distribución de Cavidades

No.Cavs	Distribución	Inyección Balanceada	Ciclo Estimado en seg.	Golpes por minuto	Transmisión	Producción al 80 % Ef en No. pzs Diaria	Costo por Pieza	Facturación Diaria
8	radial	si	8	7.5	Automática 2 a 1 R.T.	69,120	16	1,105,920
16	hileras	si	12	5	Motor Hidr. 1.5al 4 Sat	92,120	16	1,474,560
24	hileras	no	15	4	Motor Hidr. 1al 8 Sat	110,592	16	1,769,472
32	hileras	si	18 - 19	3.3	Motor Hidr. 1al 8 Sat	121,651	16	1,946,419



Todos los datos de la tabla 6.1 fueron obtenidos en base a la experiencia que se tiene en este tipo de moldes, a pesar de ser estimados, son muy aproximados. Analizando cada una de las opciones se tiene lo siguiente:

A) Molde de 8 cavidades:

Tiene una distribución radial; una relación de transmisión (R.T.) de 2 a 1, por la distancia entre centros requerida; la transmisión es con avance automático utilizando la apertura del molde, es decir, de husillo; el molde es muy rápido pero debido a las pocas cavidades, da poca producción, y por lo tanto poca facturación.

B) Molde de 16 cavidades:

Es un molde de tercera placa, tiene una distribución de cavidades en forma de hileras, su inyección es balanceada al igual que el anterior, es decir, la distancia del recorrido del plástico es la misma para todas sus cavidades, cosa que no ocurre en el de 24 cavidades. El accionamiento de la transmisión es por motor hidráulico, por lo que es más lento; el avance de las placas es por resortes; la relación de transmisión se reduce a 1.5 - 1.0 y únicamente tiene 4 engranes satélites, lo que minimiza gastos de operación y mantenimiento. Su producción diaria es buena.

C) Molde de 24 cavidades:

Tiene una distribución de hileras no balanceada, por lo que al trabajar cierto tiempo tendrá problemas de pandeo de placas, por recibir mayor fuerza al centro, además de tener

problemas en el control de la inyección; requiere mantenimientos constantes y caros; por la distribución de hileras que tiene, requiere de una R.T. de 1 a 1 por lo que necesita mayor torque inicial. Lleva 8 engranes satélites, que son el límite superior para trabajar sin problemas en la transmisión; su producción es bastante buena. Este es el molde que se encuentra trabajando en la actualidad.

D) Molde de 32 cavidades:

Tiene inyección balanceada; es el más lento; al igual que el anterior trabaja con motor hidráulico; lleva 12 engranes satélites, lo que ocasiona problemas en la transmisión; se convierte en un molde muy grande con limitaciones para su operación. Por tener tantas cavidades y por llevar tanto trabajo cada una de ellas, se vuelve un molde excesivamente caro. Aquí nos podemos dar cuenta que no por tener más cavidades quiere decir que va a producir más.

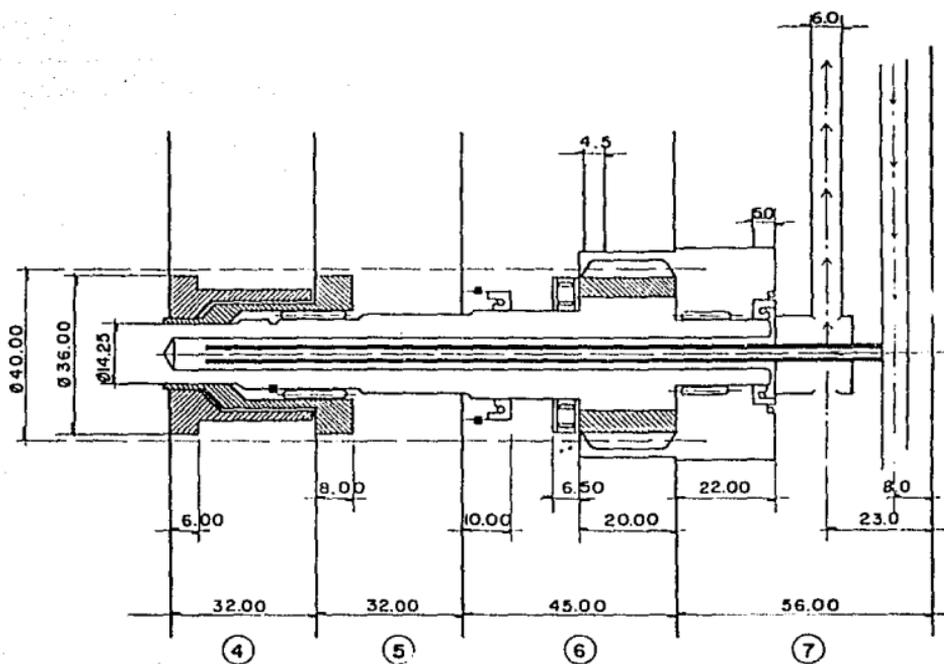
La conclusión es que el de 16 cavidades es el mejor, debido a que es el que puede trabajar con la máxima eficiencia, inversión inicial moderada, con menos mantenimiento, de operación accesible y buena producción. Teniendo como principal virtud la constancia en el trabajo. En el siguiente capítulo se hace un estudio de costos para diferentes moldes, en donde se justifica la selección del molde de 16 cavidades.

Una vez ya determinado el número de cavidades, se debe determinar la extracción de la pieza del molde, para obtener diámetros finales y así su distribución en el portamolde; para ésto nos auxiliamos de la Fig. 6.2 en la que se esquematiza la parte de extracción del diseño.

El diámetro de la figura de macho es de 14.25 mm, el barreno de refrigeración debe llegar lo más cerca posible de la punta (aproximadamente 3 - 4 mm), lo que ocasiona que las paredes del corazón (pieza # 12) sean muy frágiles por lo delgadas. Es por esta razón que se tiene que ir reforzando poco a poco el diámetro de esta pieza tal como se explica enseguida.

El diámetro del corazón, llega a 16.00 mm, donde es apoyado en una jaula de agujas lo más larga posible (pieza # 50), de acuerdo al catálogo INA, la más adecuada es de 16x20x13, con esto se determina el diámetro interior de la arandela de amarre (pieza # 15) que es de 20.00 mm. Se sigue fortaleciendo el corazón, ahora quedando a 18.00 mm, donde le sirve de tope a la jaula de agujas, para que no se salga, teniendo del otro lado un anillo elástico para exteriores (pieza # 45).

FIGURA 6.2  
PARTE DE EXTRACCION DEL MOLDE



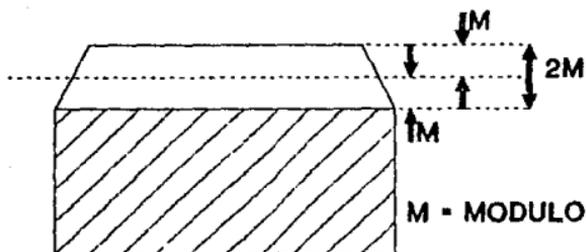
PARTE DE EXTRACCION DEL MOLDE

En la placa No. 6 lleva un retén, para evitar que la grasa de la transmisión corra por el corazón y llegue a la figura, que por lo regular es blanca, con lo que se mancharía; las medidas más comerciales del retén son de 12,16,20 y 24 mm de diámetro interior, por lo que se aprovecha para seguir reforzando el corazón, quedando ahora en 20.00 mm. Este retén tiene el número de pieza # 48. Más atrás lleva un rodamiento axial para suavizar la transmisión (pieza # 51), en éste rodamiento debe apoyar tanto el corazón como el engrane y debe ser lo más delgado posible para no quitar espacio de apoyo en la placa, por lo que se selecciona el rodamiento axial de rodillos de 20.00 mm de diámetro interior, 35.00 mm de diámetro exterior y con un espesor de 8.5 mm (catálogo INA K81104TN); con el fin de adelgazarlo todavía más se rectifican las 2 pistas, quedando un espesor final de 6.50 mm, y así no debilitar tanto la placa. El espesor del engrane se recomienda en éste tipo de moldes no menor a  $3/4" = 19$  mm aprox; por lo que queda en 20.00 mm tanto los engranes de macho, como los engranes satélites y el motriz.

Para determinar el número de dientes del engrane del macho, se tiene que el diámetro exterior del rodamiento más 2 veces el módulo seleccionado del engrane, entre el módulo, da como resultado el número de dientes.

El módulo puede ser 1.0, 1.5 y 2.0, mientras más grande sea, mayor y mejor será el apoyo de los engranes y mejor la transmisión, para éste caso. Por lo que tomamos 2.0 de módulo. En la Fig. 6.3 se muestra un diente de engrane para entender mejor este concepto.

FIGURA 6.3  
DIENTE DE ENGRANE



Volviendo a lo anterior se tiene:

$$\frac{D + 2M}{M} = \frac{35 + 2(2)}{2} = \frac{39}{2} = 19.5 \text{ Dientes}$$

(Referencia: Applicazioni Pratiche De Lle Simulazioni Nello Stampaggio. Editorial Sandretto).

Lo cual no se puede, por tener que ser número entero, entonces se aumenta 1 mm, al diámetro base y se tiene:

$$\frac{36 + 2(2)}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ Dientes} = 20 Z$$

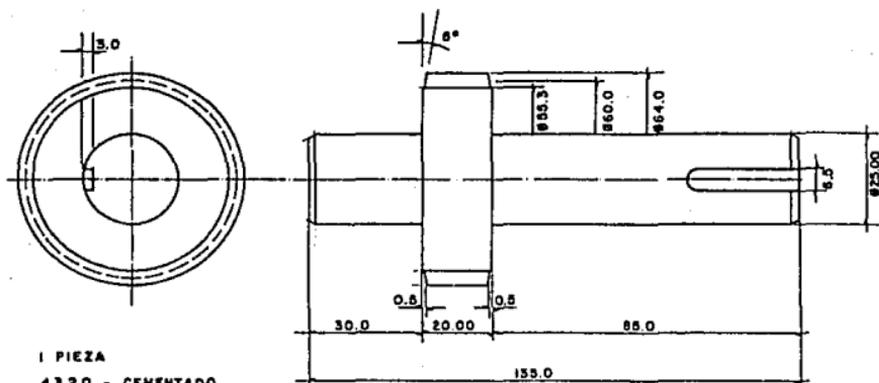
Con ésto se tiene que los engranes de los machos (pieza # 35) tienen 20 dientes; la razón por la cual son 2 piezas y no una sola, es porque el corazón en la punta debe ser resistente al calor y a los cambios bruscos de temperatura por lo que el acero ideal es el H13 templado y el engrane debe tener muy buena tenacidad por lo que se utiliza el 4320 cementado. Aquí un detalle muy importante es dejar sin holgura a la cuña para que no se clave en ninguna de las piezas.

El diámetro primitivo del engrane será entonces  $36 + 2(2) = 40$  mm, con 20 dientes; la relación de transmisión puede ser 2:1, 1.5:1 y 1:1; la primera hace un portamolde excesivamente grande, la última requiere un torque inicial fuerte, por lo que tendremos como relación de transmisión 1.5:1, con engrane motriz de 30 dientes y un diámetro primitivo de 60 mm (pieza # 36). La flecha del engrane motriz tiene 2 apoyos o rodamientos mixtos, para facilitar su rotación y la transmisión en general, según el catálogo INA son NKXR25 (pieza #52).

El ángulo de presión utilizado en todos los engranes será de 14.5 ya que es el más comercial por las herramientas que se tienen para la fabricación de engranes, hace la transmisión más silenciosa y segura.

Los 4 engranes satélites (pieza # 34), que lleva el molde serán de relación 1:1, es decir serán idénticos a los engranes de los machos. A continuación se muestran esquemas de los engranes que llevará el molde (Fig. 6.4 y 6.5).

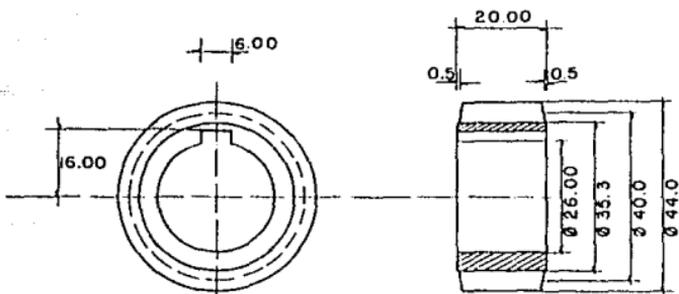
FIGURA 6.4  
ENGRANE MOTRIZ



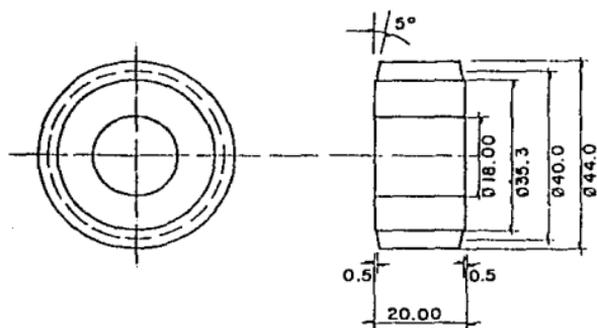
1 PIEZA  
A320 - CEMENTADO  
60-62 HR@

DATOS DEL ENGRANE	
DIAMETRO PRIMITIVO	30.0
MODULO (M)	2.0
NUMERO DE DIENTES	302
ANGULO DE PRESION	20°
PROFUNDIDAD DE DIENTE $2M + \frac{1}{8}M$	4.35
RELACION DE TRANSMISION	1.6:1:0

FIGURA 6.5  
ENGRANES DE MACHO Y SATELITES



ENGRANE DE MACHO  
16 PIEZAS  
4320 - CEMENTADO  
60-62 HRC



ENGRANE SATELITE  
4 PIEZAS  
4320 - CEMENTADO  
60-62 HRC

DATOS DE LOS ENGRANES

DIAMETRO PRIMITIVO	40.0
MODULO (M)	2.0
NUMERO DE DIENTES	20Z
ANGULO DE PRESION	20°
PROFUNDIDAD DEL DIENTE $2M + \frac{1}{6}M = 4.35$	
RELACION DE TRANSMISION	1.5 : 1.0

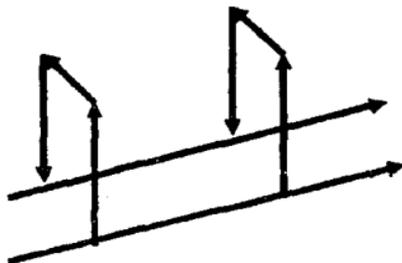
En la placa No. 7 va el otro apoyo, pero debe ser lo más corto posible para no debilitar la placa, ya que ésta, es muy gruesa por los 2 canales de refrigeración que lleva atrás. Se tiene según el catálogo INA que el más corto es de 10.00 mm y éste es 15x19x10 (pieza # 49).

Como la pieza lleva movimiento giratorio y lleva también refrigeración (agua), es necesario poner un retén (pieza # 47) con la suficiente presión como para evitar el paso de agua por el corazón. Es por ésta constante fricción que se recomienda darle un recubrimiento ya sea de cromo duro o de carburo de tungsteno, siendo éste último lo mejor para exteriores y así poder rectificarlo a la medida deseada. En el retén de grasa (pieza # 48) no es necesario dar éste recubrimiento porque no lleva tanta presión, y no hay desgaste en el acero.

En cuanto a la refrigeración de la parte de extracción, existen 2 formas de hacerla, una es en serie y la otra en paralelo, las dos maneras se esquematizan en la Fig. 6.6.

FIGURA 6.6  
REFRIGERACION EN SERIE Y EN PARALELO

ENFRIAMIENTO  
EN  
SERIE



ENFRIAMIENTO  
EN  
PARALELO

En el enfriamiento en serie, los distintos núcleos son recorridos sucesivamente por el líquido refrigerante, pero como la diferencia de temperatura entre las piezas y el líquido disminuye con la longitud del recorrido, no se obtiene un enfriamiento uniforme de los diversos núcleos, ni por lo tanto, de las piezas de plástico. En los moldes múltiples provistos de este sistema la calidad de las piezas es muy variable. Para evitar este inconveniente se emplea el enfriamiento en paralelo, en donde el líquido refrigerante se conduce a los diversos núcleos desde un canal colector, un segundo colector se encarga del retorno del líquido; con ello se consigue disponer de líquido a la misma temperatura para cada núcleo, quedando garantizado el enfriamiento uniforme.

Es un error la denominación de canales de enfriamiento, en el sentido estricto, es más apropiado llamarlos canales de acondicionamiento de la temperatura, y ésto es debido a que existen materiales que requieren cierta temperatura del molde para su apariencia, funcionamiento, desmoldeo, etc; en donde no existe refrigeración sino calefacción, ya que en lugar de introducir líquido a una temperatura inferior a la ambiental, se introduce un líquido a una temperatura superior a la ambiental, dependiendo del material a inyectar. A bajas temperaturas se utiliza agua, salmuera y una mezcla de agua-alcohol; a temperaturas de

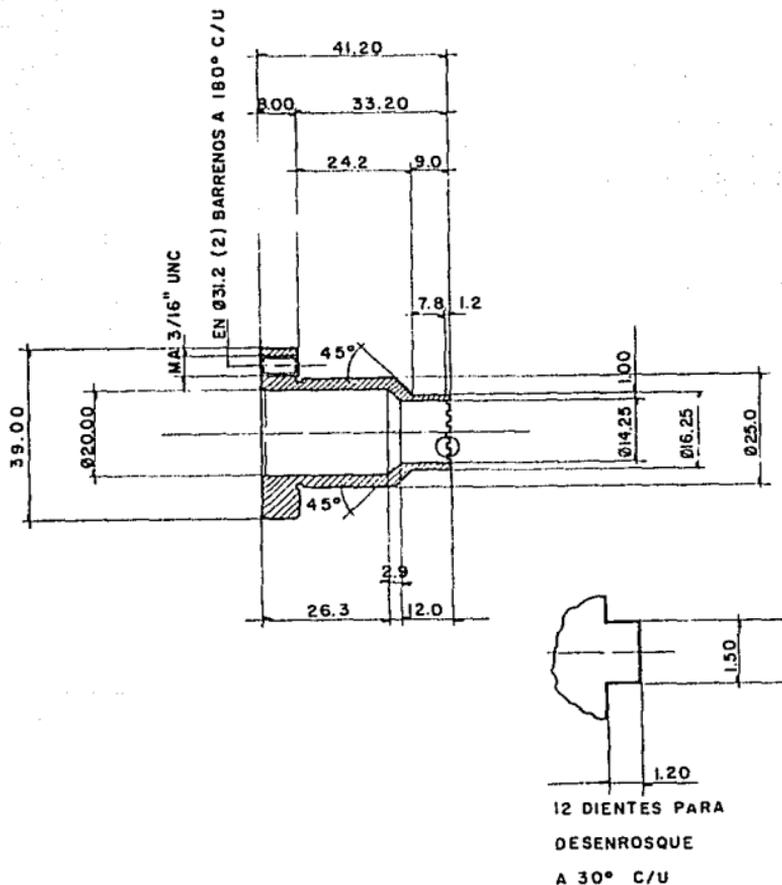
calefacción se utiliza siempre aceite, con la ayuda de un termorregulador como el que se mencionó en el capítulo de inyección. La forma en que se conecta la refrigeración al molde es mediante conexiones rápidas D-M-E de 1/8" con cuerda NPT (Tubo), con el fin de realizar el cambio de molde rápidamente en las máquinas de inyección, ya que en éstas se tienen las conexiones rápidas hembras para conectar con el molde (piezas # 60). Es importante mencionar que en este caso en particular por los espesores de plástico de la pieza se requiere una disipación de calor muy rápida y esto se logra de 2 maneras: la primera es controlando el flujo del refrigerante en el molde, en este caso, por ser los corazones tan delgados y, por tener un sistema de refrigeración en paralelo, el diámetro del barrenado de refrigeración está muy limitado (Diám. 5/16" = 7.8 mm). La segunda es controlando la temperatura del refrigerante lo más baja posible, donde utilizando equipos convencionales esta temperatura llega a ser de 7 - 9 °C. Se tiene que tomar en cuenta que entre más rápido se enfríe la pieza dentro del molde, se logra más productividad, por lo tanto más dinero.

Es básico el hacer referencia a la función que realizan tanto las arandelas de amarre, como las arandelas de expulsión (piezas # 15 y # 14 respectivamente). Como se

mencionó anteriormente la arandela de amarre tiene un diámetro interior de 20.00 mm; la función de ésta es sujetar a la pieza de plástico mientras se desenrosca para botarla con las arandelas de expulsión, utilizando la carrera de la placa No. 4 que es de 3.00 mm, es suficiente para que caigan del molde, utilizando el tipo de botado por placa y/o arandela que se explicó en el capítulo anterior.

La figura superior de las arandelas de amarre es determinada de acuerdo al dibujo de producto, en cuanto al número de muescas y su forma. Existe una cualidad que debe tener ésta arandela y es la capacidad de soportar la fricción sin desgarrarse; ya que por dentro tienen el macho que además de girar sobre ella, también tiene desplazamiento axial y por fuera está la arandela de expulsión, que también lleva desplazamiento; es por toda esta fricción a que está sometida esta pieza que se recomienda nitrurarse, alcanzando una dureza superficial aproximada de 68 - 70 HRC. A continuación se muestra en la Fig. 6.7 la arandela de amarre que llevara este molde.

FIGURA 6.7  
ARANDELA DE AMARRE



Una vez ya analizadas las arandelas, analizaremos el macho de figura (pieza # 12). Este macho está construido en acero H-13 templado, con una dureza de 52-54 HRC., ya anteriormente se había hablado de él en cuanto al barreno de refrigeración que es de 5/16" = 8 mm de diámetro y 132 mm de

largo máximo para poder refrigerar en la punta; también se habló de sus diámetros externos que son 14.25 mm en la punta, luego aumenta a 16.00 mm que es la pista para la jaula de agujas (pieza # 49), con su alojamiento para candado, luego aumenta a 18.00 mm que es el tope de la jaula, posteriormente aumenta a 20 mm que es donde pasa el retén de grasa, y finalmente a 26.00 mm que es el diámetro interior de los engranes que le transmiten movimiento, con un espesor de 20.00 mm, finalmente el diámetro tanto para el retén de agua como para la jaula de agujas posterior (piezas # 47 y # 49) es de 16.00 mm.

Ahora toca explicar la parte de la figura del macho, que depende totalmente del dibujo de producto, empezaremos por la cuerda detallada en la figura 6.8, el paso es de 2.11 mm (12 hilos por pulgada) con un desarrollo de 7.25, utilizando las contracciones siguientes:

- Radial de 3.0 %
- Axial de 2.0 %

El dibujo de producto muestra que tiene un desarrollo de 7.11 y un diámetro en la punta de 13.83 mm, por lo tanto:

- $7.11 \times 1.02 = 7.25$  Desarrollo en macho
- $13.83 \times 1.03 = 14.247 \text{ mm} = 14.25$  Diam. en macho

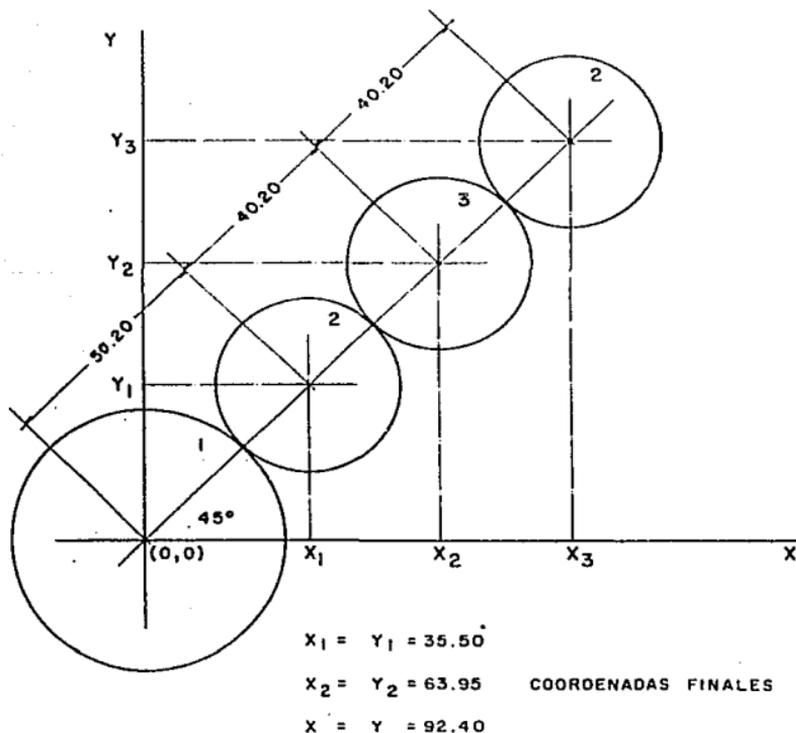
Es importante mencionar que para efectos de desmoldeo de la pieza se hace un pequeño ángulo de  $0^{\circ} 30'$  con el fin de no tocar más a la pieza de acero al empezar a desenroscar.



Con todos los datos obtenidos anteriormente, se puede determinar la distancia entre centros, o mejor dicho las coordenadas que llevarán los centros en el portamolde. A los diámetros primitivos de los engranes se aumenta 0.20 mm por seguridad para un buen hermanamiento, calculando esta distancia tenemos lo que se muestra en la Fig 6.9.

FIGURA 6.9

## CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE CENTROS



Donde 1 es el engranes motriz, 2 son los engranes de macho y 3 es el engrane satélite. En cuanto a las coordenadas del resto de las piezas del molde no son calculadas, ya que dependen del espacio que se tenga para su colocación.

Pasamos ahora a la parte de inyección del molde, que son las primeras 3 placas. El tipo de inyección es superior capilar, por lo que se recomienda utilizar el sistema de tercera placa, llamada así a la placa No. 2, que es la que se pone de más para este sistema de inyección. Utiliza anclas de colada (pieza # 41), que sirven para sujetar la colada, cuando se mueve la placa de cavidades y romper así el punto de inyección, posteriormente se realiza la última carrera de botado en que se separa la placa No. 2 de la placa No. 1, para botar la colada, con la ayuda de los expulsores de colada que tienen resortes (pieza No. 37).

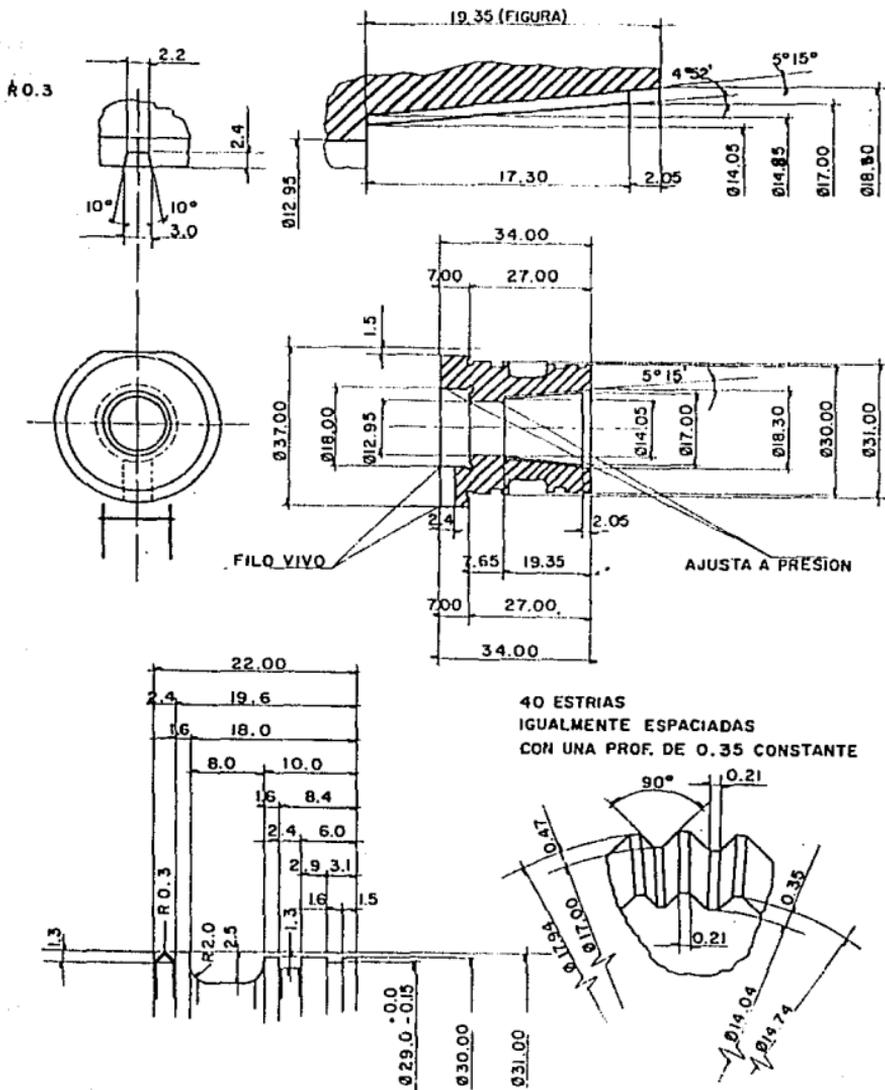
En la Figura 6.10 se muestra un esquema de la parte de inyección a molde cerrado, donde se puede ver que el ancla está sujeta en la placa No. 1 por un opresor y una rondana de presión (piezas # 69 y # 71), en la placa No. 2 es

necesario que vaya rectificando el alojamiento del ancla para que no se meta plástico por ahí. En la placa No. 3 se tiene tanto el postizo de cavidad como la cavidad, esta última debe llevar enfriamiento, por lo que lleva un alojamiento por donde pasa el agua fría; para hacer el sello y evitar que haya fugas. Se tienen tanto en la placa como en la cavidad (pieza # 10) 2 diámetros, uno chico de 30.00 mm y uno grande del lado de la cabeza de 31.00 mm, cada uno de ellos con un alojamiento para un arosello en la cavidad.

Este aro-sello llamado también o'ring (pieza # 46), debe ajustar en los 2 diámetros de la placa para evitar así una fuga de agua.

FIGURA 6.10

CAVIDAD



40 ESTRIAS  
IGUALMENTE ESPACIADAS  
CON UNA PROF. DE 0.35 CONSTANTE

La cavidad ajusta a presión en la placa con un diámetro de 37.00 mm.

Considerando los mismos factores de contracción anteriormente mencionados se tiene:

- Altura total de la pieza:

$$19.0 \times 1.02 = 19.38 = 19.35 \text{ mm Profundidad de en cavidad}$$

- Diámetro exterior mayor:

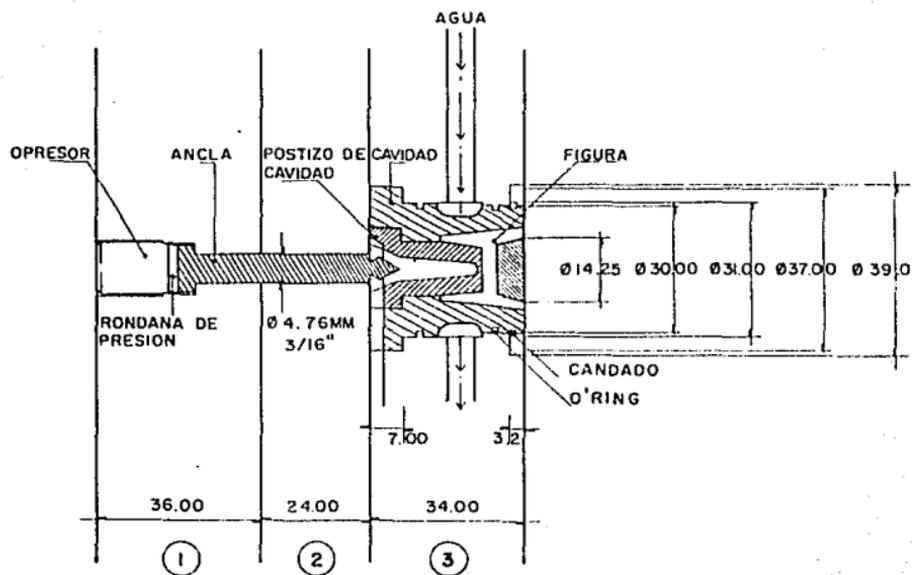
$$18.0 \times 1.03 = 18.54 = 18.50 \text{ mm Diam. exterior cav. (arillo)}$$

- Diámetro exterior menor:

$$14.5 \times 1.03 = 14.93 = 14.90 \text{ mm Diam. exterior cav. (estria)}$$

Las demás medidas se dan en la Figura 6.11 en donde se respetan todas las condiciones estipuladas en el dibujo de producto de la Figura 6.1.

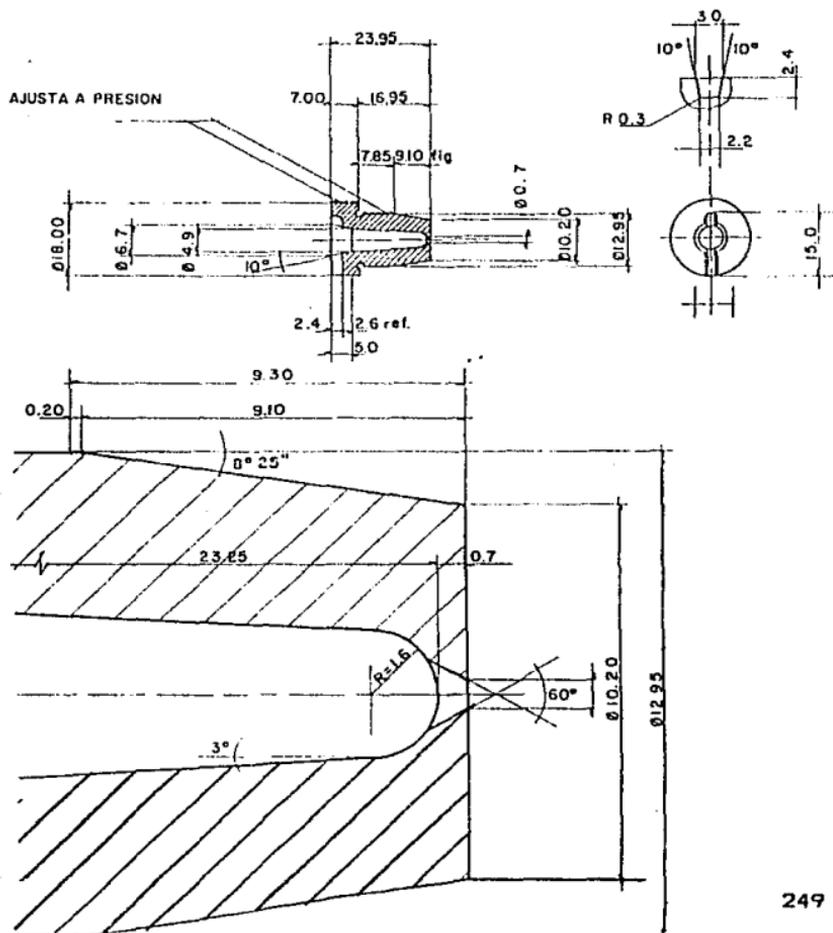
FIGURA 6.11  
PARTE DE INYECCION DEL MOLDE



PARTE DE INYECCION DEL MOLDE

En la Figura 6.12 se muestra el postizo de cavidad (pieza # 11) donde se realiza la inyección del plástico, la pieza ajusta a presión con la cavidad en los 2 diámetros.

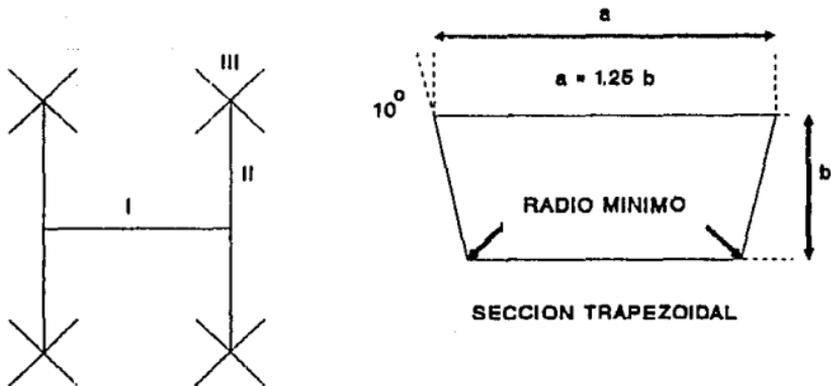
FIGURA 6.12  
POSTIZO DE CAVIDAD



En cuanto a la inyección del molde se debe dejar una vena cónica, especificada en la Figura 6.12, aproximadamente de 3 , faltando entre 0.7 y 0.8 mm se hace un cono mucho más chico y más definido a 60 aproximadamente, que abre la entrada de material, cuyo diámetro máximo es de 0.70 mm, si es menor cuesta trabajo llenar la cavidad, si es mayor queda el punto de inyección alto, y requiere un proceso posterior de rebabeo en la pieza de plástico, cosa que la encarece.

En lo que se refiere a las venas de distribución de plástico se tiene que son secciones trapezoidales y de 3 tamaños diferentes, tal como se muestra en la Figura 6.13.

FIGURA 6.13  
VENAS DE DISTRIBUCION



- I) Es la sección primaria donde  $a=4$  mm;  $b=3.2$  mm con un ángulo de  $10^\circ$  por lado.
- II) Es la sección secundaria donde  $a=3.5$  mm;  $b=2.8$  mm con un ángulo de  $10^\circ$  por lado.
- III) Es la sección terciaria donde  $a=3.0$  mm;  $b=2.4$  mm con un ángulo de  $10^\circ$  por lado.

Cabe mencionar que los vértices interiores de la sección trapezoidal deben llevar un pequeño radio para que deslice el plástico. El objeto de disminuir la sección es la de crear el efecto del Venturi y así aumentar la velocidad del plástico a medida que disminuya la sección del canal.

Por último se describirán los detalles del molde, empezando por el cálculo del diametro de los pernos guía (piezas #24 y #25). La única restricción que se usa es la flexión máxima permisible que es de 0.02 mm y la fórmula para calcularlos es la siguiente (Manual del Ingeniero Mecánico - Marks):

$$FM = \frac{P L^3}{3 E I}$$

Donde: FM= Flexión máxima permisible=0.025 mm

P= Peso de la placa por perno; kg

L= Longitud del brazo en mm

E= Módulo de elasticidad del acero=21000 kg/mm

I= Momento de inercia para una sección circular

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

D= Diámetro de la flecha (perno) en mm.

Sustituyendo y despejando, se tiene:

$$D = \sqrt[4]{\frac{64 P L}{3 \pi E F M}}$$

Para éste cálculo se hacen las siguientes consideraciones:

- El peso de la placa se toma sin barrenos, es decir sólida.
- La distancia del brazo se toma con el molde abierto y la placa a la mitad.
- Para portamoldes, la medida mínima de diámetro de pernos guía es de 22.00 mm; y para mesas de botado es de 16.00 mm.

Se realizarán 2 cálculos, el primero para los 4 pernos de la parte de inyección y el segundo para los de la parte de extracción.

Parte de inyección:

Molde abierto:  $L=8+24+120+17 = 169$  mm

Peso de la placa No.3 sólida por perno:  $4P = 33$  Kg,

$P = 8.5$  Kg.

Sustituyendo:

$$D = \sqrt[4]{\frac{64 \times 8.50 \times (169)^3}{3 \times 3.1416 \times 21000 \times 0.025}} = 26.997 \text{ mm}$$

El diámetro de los pernos de la parte de inyección es de 28.00 mm.

Parte de extracción:

$$\text{Molde abierto: } L = 8+3+32+16 = 59 \text{ mm}$$

$$\text{Peso de la placa No.4 sólida por perno: } 4P=31 \text{ Kg.}$$

$$P = 7.75 \text{ Kg.}$$

Sustituyendo:

$$D = \sqrt[4]{\frac{64 \times 7.75 \times (59)^3}{3 \times 3.1416 \times 21000 \times 0.025}} = 11.979 \text{ mm}$$

En este caso el resultado obtenido es muy poco, por lo tanto los pernos que se utilizan son de 22.00 mm de diámetro; ya que es la medida mínima normalizada para pernos guía de portamolde.

En lo referente a las carreras de apertura en el molde, se tiene lo necesario para su buen funcionamiento y las placas están restringidas por los pernos limitadores, los cuales determinan los movimientos de las placas y su secuencia (piezas # 26, 27, 28 y 29).



La boquilla de inyección (pieza # 8) está construida en acero H-13 templado, está detenida con el diámetro interior del arillo de inyección, tiene un radio esférico de 19.0 mm o 3/4" que es donde asienta la nariz del cañon de la máquina de inyección, el canal es cónico para el desmoldeo del plástico y debe estar perfectamente pulido.

El gancho está colocado en la placa No. 5, se pone en medio del molde para poder cargarlo con algún polipasto y así, montarlo y desmontarlo en la máquina; es importante, cuando se utilice el gancho, amarrar el molde para que no se abra en el movimiento por motivos de seguridad. Otra forma de cargarlo es utilizar una cadena con tornillos de 1/2" de diámetro, sujetos en las placas No. 1 y No. 7, siendo esta última forma de manejo, la más utilizada y segura.

En cuanto a la fijación del molde a la máquina de inyección, se realiza por medio de clamps o grapas, las platinas de las máquinas tienen ya sea machuelos o canales de donde se apoyan los tornillos para las grapas, el molde tiene un resaque de 24x12 mm en la placa No.7 para fijar la parte de extracción; y en la parte de inyección la placa No. 2 es más corta, para poder sujetar la parte de inyección de la placa No.1.

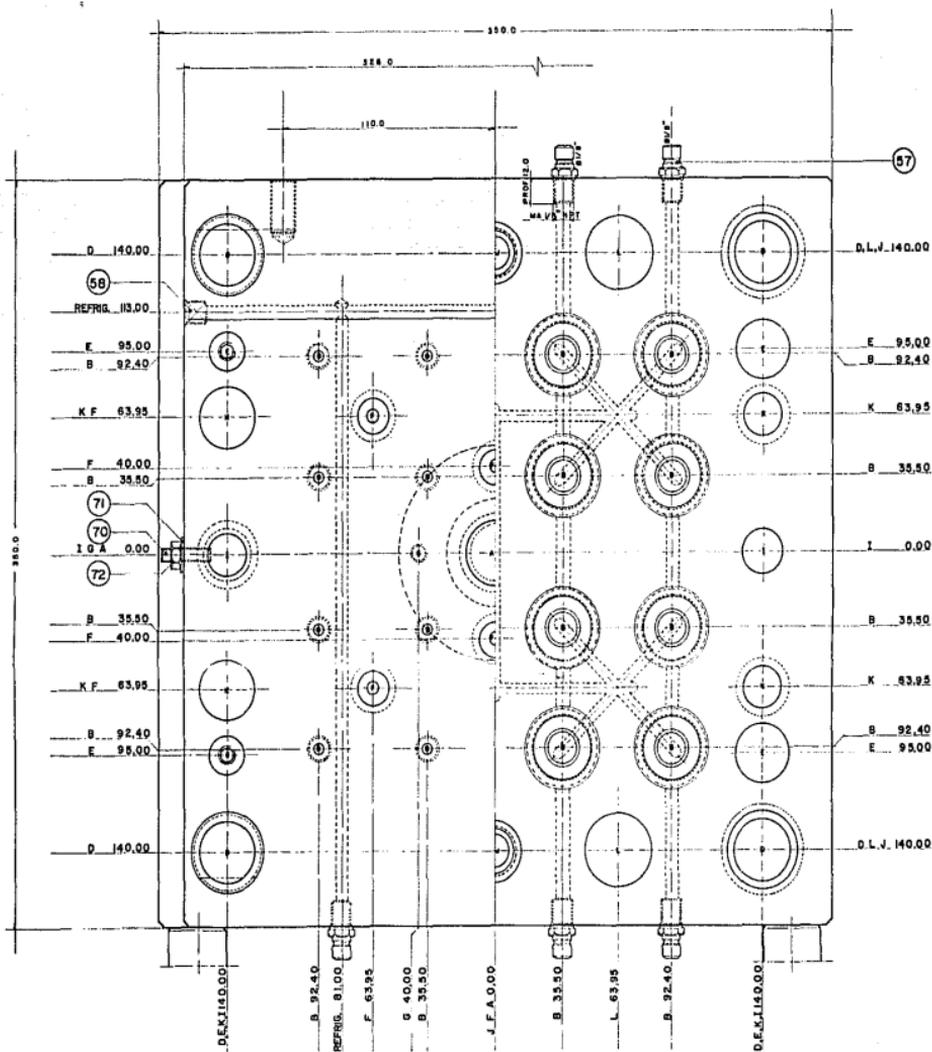
A continuación se muestran 5 dibujos correspondientes al ensamble y vistas de sus diferentes placas, así como las lista de materiales correspondientes.





# PARTE DE INYECCION

## VISTA DE PLACAS N° 1 Y 2 VISTA DE PLACA N° 3







## CAPITULO No. 7 .- ANALISIS ECONOMICO

El objetivo de este capítulo es además de hacer un estudio de costos del molde, demostrar desde el punto de vista económico el porqué se seleccionó un molde de 16 cavidades y no uno de 24 ó 32 cavidades y el tiempo en el que se recupera la inversión.

Antes de empezar el análisis es necesario presentar una lista de precios tanto de los aceros como de los tratamientos térmicos que se van a utilizar. Los costos de mano de obra y materia prima fueron obtenidos de empresas dedicadas al maquinado de moldes e inyección de plásticos.

Tabla 7.1

## LISTA DE PRECIOS ACEROS Y TRATAMIENTOS TERMICOS

Tipo de Acero	Costo \$/Kg
9840 - Tratado	10,800
4140 - Tratado	10,800
9840 - Recocido	11,100
4140 - Recocido	11,100
H - 13	27,000

4320	10,900
P - 4	36,000
8620	10,900

Tipo de Tratamiento Térmico	Costo \$/Kg
Temple hasta 900 C	8,000
Temple hasta 1150 C	11,200
Cementado	14,300
Nitrurado	7,000

Empezaremos analizando el portamolde completo y para ésto se tiene la Tabla 7.2, en la que se describe placa por placa el costo estimado. Para efectos de compra de acero, se toma un 20 % extra del volúmen final de cada placa para el escuadrado de la misma. Para el tratamiento térmico se le quita un 30 % del volúmen final de la placa debido a los barrenos que tiene.

Tabla 7.2

Costo del Portazoide

No.Placa	Volumen m <sup>3</sup>	Peso en kg =7.9x10 gr/m <sup>3</sup>	Peso en Kg para compra	Peso en Kg. para T.T.	Costo Acero	Costo T.T.	Total	
1 9840 T	4,410,000	34.8	41.8	24.3	451,400	---	451,400	
2 H - 13	2,940,000	23.2	27.8	16.2	750,600	181,400	932,040	
3 H - 13	4,165,000	32.9	39.5	23.0	1,066,500	257,600	1,324,100	
4 4140 R	3,920,000	30.9	37.2	21.7	412,920	173,600	586,520	
5 9840 R	3,920,000	30.9	37.2	21.7	412,920	173,600	586,520	
6 4320	5,512,500	43.5	52.3	30.5	570,070	426,150	1,006,220	
7 4320	6,860,000	54.2	65.0	37.9	708,500	541,970	1,250,470	
Peso apro. del solde					Costo del acero con tratamiento térmico del portazoide.		250.4	6,137,310

Como podemos ver en la tabla se tiene información importante como el peso aproximado del molde que es de 250 Kg. aproximadamente y el costo del acero y del tratamiento térmico del portamolde es de \$ 6,137,310 y este valor lo denominaremos I.

$$I = \$ 6,137,310$$

Siguiendo con el portamolde se van a estimar las horas de trabajo para cada placa; tomando en cuenta que la hora de trabajo de un taller bien equipado está a \$85,000. en la tabla 7.3

De esta tabla se obtiene un costo aproximado de \$10,455,000 correspondiente al trabajo invertido en el portamolde y esta cifra tendrá el número II.

$$II = \$ 10,455,000$$

Ahora empezaremos a analizar el despiece a continuación se muestra en la tabla 7.4 en la que se describe el costo tanto de material como de tratamiento térmico y este valor lleva el número III.

$$III = \$ 2,374,00$$

Tabla 7.3

## Costo Maquinado del Fortamolde

No. de Placa	Horas de Escuadrado	Horas de Barrenado	Horas de Rectificado	Total Hrs.	Costo per Hora	Total
1	2	6	3	11	85,000	935,000
2	2	14	14	30	85,000	2,550,000
3	2	12	14	28	85,000	2,380,000
4	2	8	4	14	85,000	1,190,000
5	2	6	4	12	85,000	1,020,000
6	2	8	4	14	85,000	1,190,000
7	2	8	4	14	85,000	1,190,000
				Total Horas	123	Costo Total 10,455,000

Tabla 7.4

## Costo de Despiece

Descripción	Material	Peso aprox en kg.	Costo material	Costo T.T.	Total
8 Pernos	4320	10	109,000	143,000	252,000
20 Bujes	4320	8	87,200	114,400	201,600
20 Engranés	4320	8	87,200	114,400	201,600
1 Engrane Matriz	4320	2	21,800	28,600	50,400
Limitadores	4320	3	32,700	42,900	75,600
16 Cavidades completas	P - 4	6	216,000	67,200	283,200
16 Arandelas de agarre	H - 13	7	189,000	127,400	316,400
16 Arandelas de macho	H - 13	7	189,000	78,400	267,400
16 Arandelas de expulsión	H - 13	7	189,000	78,400	267,400
4 Centradores	H - 13	2	54,000	22,400	76,400
16 Corazones	H - 13	10	270,000	112,000	382,000
Costo Total				2,374,000	

Estimado las horas de trabajo de todo el despiece se tiene, según la tabla 7.5 que son \$ 68,850,000 por concepto de trabajo en todo el despiece y esta cifra tendrá el número IV.

$$IV = \$ 68,850,000$$

Se estima 100 horas de trabajo para su ajuste equivalentes a \$ 8,500,000 y esta cifra tendrá el número V.

$$V = \$ 8,500,000$$

Del material que se compra se tiene lo siguiente:

Concepto	No. piezas	Precio unitario	Total
Rodamientos mixtos	2	350,000	700,000
Rodamientos axiales	16	40,000	640,000
Anclas (pernos)	16	15,000	240,000
Tornillos	104	500	52,000
Conexiones	18	4,000	72,000
Tapones	9	3,000	27,000
Seguros	32	2,000	64,000
Jaulas	32	18,000	576,000

---

A esta cifra le llamamos VI = \$ 2,371,000

Tabla 7.5

## Costo Maquinado del Despiece

Descripción	Horas Torno	Horas Fresa	Horas Erosión	Horas Rectificado	Total
8 Pernos	6	-	-	6	12
20 Bujes	8	-	-	10	18
20 Engranés	10	160	8	14	192
1 Engrane Motriz	2	10	-	2	14
Limitadores	8	2	-	-	10
16 Cavidades completas	40	10	130	38	218
16 Arandelas de amarre	24	36	-	40	100
16 Arandelas de macho	24	10	-	26	60
16 Arandelas de expulsión	18	-	-	20	38
4 Centrales	12	-	-	4	16
16 Corazones	40	24	32	36	132
Horas maquinado					810
810 x 65,000 = \$ 68,850,000 Costo maquinado despiece					

Sumando las 6 cifras nombradas anteriormente, tendremos el costo total del molde:

I	6,137,310
II	10,455,000
III	2,374,000
IV	68,850,000
V	8,600,000
VI	2,371,000

---

Total    \$ 98,687,310

Para efectos de estimación es válido obtener el costo por " cavidad " entendiendo por cavidad a un juego de figura incluyendo su parte proporcional del portamolde y esto se obtiene:

$$\frac{98,700,000}{16} = \$ 6,168,750$$

Para un molde de 24 cavidades se tiene un costo de:

$$6,168,750 \times 24 = \$ 148,050,000$$

Para un molde de 32 cavidades se tiene un costo de:

$$6,168,750 \times 32 = \$ 197,400,000$$

Con estos datos podemos hacer un estudio de factibilidad del proyecto, por lo tanto considerando que el precio de venta de la pieza en el mercado es de \$ 16.0, es necesario calcular la utilidad que deja para cada uno de los moldes, considerando los siguientes datos:

**Materia Prima:** El plástico a utilizar es el polipropileno cuyo costo por Kg es de \$ 2,650.0, si la pieza tiene un peso de 1.25 gms, a la cual se le aumenta un 50 % por la parte proporcional del peso de la colada que le corresponde, tenemos que:

$$MP = \text{Peso de la pieza (Kg)} * 1.5 * \text{Costo del plástico (\$/Kg)}$$

$$MP = 0.00125 * 1.5 * 2650 = \$ 5.0 \text{ aprox.}$$

**Mano de Obrá:** Una máquina de inyección es automática, así como el molde, por lo tanto solo es necesario un operador que empaque las piezas directamente, por lo general en una planta de inyección, un operador es capaz de atender 3 máquinas, por lo tanto el costo de la mano de obra será de:

$$MO = (\text{Sueldo diario operador} / 3) / \text{No. piezas diarias}$$

Para 16 cavidades:

$$MO = (45000 / 3) / 92160 = \$ 0.16$$

Para 24 cavidades:

$$MO = (45000 / 3) / 110592) = \$ 0.13$$

Para 32 cavidades:

$$MO = (45000 / 3) / 121651 = \$ 0.12$$

El sueldo diario de un operador es considerando tres turnos, donde cada uno gana \$ 15,000.0 diarios.

**Gastos Fijos:** Se entienden por gastos fijos a todo aquello que es necesario para el funcionamiento de la máquina y del molde, tales como servicios, gastos administrativos, empaque, etc.

GF = Gastos fijos por prensa por día / No.piezas diarias

Para 16 cavidades (suponiendo una prensa de 85 Ton) :

$$GF = 840000 / 92160 = \$ 9.11$$

Para 24 cavidades (suponiendo una prensa de 100 Ton):

$$GF = 984000 / 110592 = \$ 8.90$$

Para 32 cavidades (suponiendo una prensa de 120 Ton):

$$GF = 1080000 / 121651 = \$ 8.88$$

Por lo general una máquina de inyección trabaja las 24 horas del día debido a que su arranque es sumamente tardado, así que el costo de la prensa por día es suponiendo esto.

Sumando estos tres conceptos, se obtiene el costo total por pieza producida, por lo tanto las utilidades por pieza son las siguientes:

Molde	Valor de venta	Costo	Utilidad
16 cav.	\$ 16.0	\$ 14.30	\$ 1.7
24 cav	\$ 16.0	\$ 14.03	\$ 1.97
32 cav	\$ 16.0	\$ 14.00	\$ 2.00

Para el estudio de factibilidad del proyecto se utilizará el método de la Tasa Interna de Retorno, ya que este método arroja un porcentaje de ganancia anualizado, el cual es comparable a los porcentajes que ofrecen diversos tipos de inversiones bancarias y bursátiles. Con este método se trata de demostrar que al invertir en un proyecto este será más rentable que invertir en el banco, así como demostrar cual de los diferentes proyectos es el más rentable.

Se tomará como inversión a comparar o TREMA (Tasa de rendimiento atractivo) lo que se considera es una de las inversiones más atractivas y sobre todo más estable en México durante 1991, y que fueron los CETES, los cuales dieron un 23 % de interés anual fijo promedio, si después de

calcular la TIR ( Tasa interna de retorno ) del proyecto, ésta es mayor a la TREMA, significa que es un buen negocio para invertir, además de que se calculará para cada uno de los moldes con lo cual se obtendrá el más rentable.

(Referencia: Análisis y Evaluación de Proyectos; Raúl Coss)

A) Molde de 16 cavidades.

Inversión inicial (P) = \$ 99,000,000

Vida Útil (n) = 5 años

Valor de recuperación (VR) = \$ 10,000,000

Tasa de impuestos anual (i) = 20 %

Utilidad por pieza = \$ 1.7

La utilidad anual es :

$U = (\text{No piezas diarias} * \text{Utilidad p/pza.} * 25 * 11.5) - \text{Costo de mantenimiento anual del molde.}$

$U = ( 92160 * 1.7 * 25 * 11.5 ) - 5,000,000$

$U = \$ 40,043,200 = \$ 40,000,000 \text{ aprox.}$

Donde: 25 = Días trabajados al mes

11.5 = Meses trabajados al año

Según el método de la TIR:

Datos en millones de pesos.

AÑO	FEAI	DEP	IG	IMP	FEDI	FEDI ACUM.
0	- 99	-	-	-	- 99	- 99
1	40	19.8	20.2	4.04	35.96	- 63.04
2	40	19.8	20.2	4.04	35.96	- 27.03
3	40	19.8	20.2	4.04	35.96	8.88
4	40	19.8	20.2	4.04	35.96	44.84
5	40	19.8	20.2	4.04	35.96	81.80

Donde:

FEAI = Flujo de efectivo antes de impuestos

Año 0 = Inversión inicial

Año 1 a 5 = Utilidades anuales

DEP = Depreciación = Inversión inicial / período de recuperación

IG = Ingreso gravable = FEAI - DEP

IMP = Impuestos anuales = IG \* i

FEDI = Flujo de efectivo después de impuestos = FEAI - IMP

De esta tabla obtenemos que el período de recuperación se da entre los 2 y 3 años, siendo exactamente:

$$PR = 35.96 / 12 \text{ meses} = 2.99 \text{ (x)} = 27.03$$

$$x = 27.03 / 2.99 = 9.04 \text{ meses}$$

Período de Recuperación = 2.9 años

Calculando la TIR según fórmula de interés compuesto discreto con valor de rescate, tenemos:

$$-P + (P/A, i, n) + VR * (P/F, i, n) = 0$$

Donde :  $(P/A, i, n)$  y  $(P/F, i, n)$  son datos obtenidos de tablas de interés compuesto.

Suponiendo una  $i = 28 \%$

$$\begin{aligned} -99 + 40 * (2.5827) + 10 * (0.3027) &= 0 \\ 7.335 &= 0 \end{aligned}$$

Suponiendo una  $i = 30 \%$

$$\begin{aligned} -99 + 40 * (2.4356) + 10 * (0.2693) &= 0 \\ 1.117 &= 0 \end{aligned}$$

Por lo tanto la TIR es aproximadamente  $31 \%$

## B) Molde de 24 cavidades.

Inversión inicial (P)	=	\$ 148,000,000.0
Vida útil (n)	=	5 años
Valor de recuperación (VR)	=	\$ 20,000,000.00
Tasa de impuestos anual (i)	=	20 %
Utilidad por pieza	=	\$ 1.97 = \$ 2.00 aprox.

$$\text{Utilidad anual (U)} = (110592 * 2 * 25 * 11.5) - 12000000$$

$$\text{Utilidad anual (U)} = \$ 51,590,400.00 = \$ 51,600,000.00 \text{ aprox}$$

AÑO	FEA1	DEP	IG	IMP	FEDI	FEDI ACUM.
0	-148	-	-	-	-148	-148
1	51.6	29.6	22	4.4	47.2	-100.8
2	51.6	29.6	22	4.4	47.2	-53.6
3	51.6	29.6	22	4.4	47.2	-6.4
4	51.6	29.6	22	4.4	47.2	40.8
5	51.6	29.6	22	4.4	47.2	88.0

$$\text{Período de recuperación} = 47.2 / 12 = 3.9(x) = 6.4$$

$$x = 6.4 / 3.9 = 1.7 \text{ meses}$$

$$\text{Período de recuperación} = 3.17 \text{ años}$$

Calculando la TIR:

Suponiendo  $i = 30 \%$

$$\begin{aligned} -148 + 51.6 * (2.4356) + 20 * (0.2693) &= 0 \\ -16.9 &= 0 \end{aligned}$$

Suponiendo  $i = 24 \%$

$$\begin{aligned} -148 + 51.6 * (2.7454) + 20 * (0.3411) &= 0 \\ -0.4 &= 0 \end{aligned}$$

Por lo tanto la TIR es aproximadamente  $24 \%$

C) Molde de 32 cavidades.

Inversión inicial (P) = \$ 197,000,000.00

Vida útil (n) = 5 años

Valor de recuperación (VR) = \$ 30,000,000.00

Tasa de impuestos anual (i) = 20 %

Utilidad por pieza = \$ 3.58

Utilidad anual =  $(121651 * 2 * 25 * 11.5) - 15000000$

Utilidad anual = \$ 54,949,932.00 = 55,000,000.00 aprox.

AÑO	FEAI	DEP	IG	IMP	FEDI	FEDI ACUM.
1	-197	-	-	-	-	-197
2	55.0	39.4	15.6	3.12	51.88	-145.2
3	55.0	39.4	15.6	3.12	51.88	-93.2
4	55.0	39.4	15.6	3.12	51.88	-41.36
5	55.0	39.4	15.6	3.12	51.88	10.52

Periodo de recuperación =  $51.88 / 12 = 4.32(x) = 41.36$

$$x = 41.36 / 4.32 = 9.5 \text{ meses}$$

Periodo de recuperación = 4.95 años

Calculando la TIR :

Suponiendo  $i = 25 \%$

$$\begin{aligned} -197 + 55 * (2.6893) + 30 * (0.3277) &= 0 \\ &- 39.2 = 0 \end{aligned}$$

Suponiendo  $i = 17 \%$

$$\begin{aligned} -197 + 55 * (3.3521) + 30 * (.4800) &= 0 \\ &1.7 = 0 \end{aligned}$$

Por lo tanto la TIR es aproximadamente  $17 \%$

Con estos análisis se puede observar que el proyecto más rentable y con menor tiempo de recuperación es un molde de 16 cavidades tal como el que se propone en ésta tesis, apoyando la selección del capítulo anterior por este molde.

## CONCLUSIONES.

Podemos decir que en el anterior trabajo de tesis se cumplieron muy satisfactoriamente los objetivos señalados al principio, y se presentan las siguientes conclusiones:

- Para el buen diseño del molde es muy importante el conocer a fondo los materiales plásticos utilizados para el proceso de inyección, es decir, sus temperaturas de operación, contracción, rigidez, fluidez, higroscopía, degradación, aditivos, cargas, condiciones de moldeo apropiadas para su operación, etc; en fin todas las características y propiedades tanto para el diseño del molde como para la operación del mismo.
- Las máquinas de inyección son muy variadas, así como los equipos periféricos, esto ocasiona que al diseñar el molde se debe conocer la máquina en la que se va a trabajar el molde, para determinar algunas características del mismo, como son apertura, cierre, forma de sujetarlo a la máquina, fuerza de cierre, distancia entre columnas, inyección, material a inyectar, etc.
- Es necesario conocer bien la pieza a inyectar para poder determinar adecuadamente las condiciones de moldeo que se requieren para la operación del molde, como cantidad de material, cierre, presión de inyección, presión de

sostenimiento, velocidad de inyección, tiempo de inyección, de enfriamiento, etc.

- Para poder diseñar un molde es necesario conocer los aceros que llevarán sus diferentes piezas, dependiendo la función que desempeñan dentro del molde. De la calidad de los aceros con que este hecho el molde depende su vida útil; de ahí su importancia.
- Al igual que el punto anterior, es muy importante conocer los tratamientos térmicos que se les da a los aceros, como se realizan, en que condiciones y que resultados se obtienen con ellos que beneficien las condiciones de operación de las piezas de acero. También es muy importante realizar bien un adecuado tratamiento térmico porque de ello depende la durabilidad del pieza.
- Es muy importante y necesario tener ciertas bases de teoría de moldes, conocer los diferentes tipos que hay y como hacerlos; pero todavía más importante es saber, que para producir una pieza de plástico se pueden fabricar moldes diferentes y esto depende de 3 factores: La experiencia que se tenga en el diseño de moldes, la idea mecánica que se tenga y el analizar hasta el más mínimo detalle de la pieza de plástico.

### Aportaciones del Molde diseñado:

La principal aportación del trabajo es el diseño mismo del molde, mostrado al final del capítulo 7, en el que cada detalle fue pensado, calculado y/o seleccionado de acuerdo a las necesidades del molde; cumpliendo el principal objetivo impuesto al principio de la tesis.

- Antes de empezar cualquier diseño es necesario tener un dibujo de producto autorizado y poder partir de una base para el diseño.
- En los capítulos 6 y 7 se tiene una justificación tanto teórica como económica respectivamente, del porqué se seleccionó un molde de 16 cavidades, esto involucra una idea errónea que se tiene y es que a mayor número de cavidades se tiene mayor productividad; lo cual no es totalmente cierto.
- El molde de 16 cavidades diseñado es mejor que el ya existente de 24 cavidades, ya que su operación es mucho mejor controlada y menor su mantenimiento.
- La transmisión tiene una relación 1:1 ya que si tuviera alguna relación mayor el molde sería mucho mayor y más pesado.
- La transmisión es accionada mediante un motor hidráulico utilizado como equipo periférico, ya que es lo más práctico, por todas las piezas que tiene que hacer girar.

- El macho de figura es de 2 piezas ya que se requieren aceros diferentes en el corazón y en el engrane.
- El macho de figura lleva rodamientos axiales para facilitar el giro.
- La flecha motriz lleva rodamientos mixtos para facilitar tanto el giro como el apoyo.
- La refrigeración que lleva la transmisión debe ser en paralelo.
- La expulsión de la pieza del molde se realiza mediante arandelas y/o placa.
- El sistema de inyección seleccionado es de colada fría y el tipo de inyección es superior central capilar, porque así lo requiere la pieza; por lo que el molde es de tercera placa y limitadores.
- Los espesores de las placas, así como el movimiento de algunas de ellas están calculadas y/o seleccionadas al mínimo posible.
- Las conexiones para los canales de acondicionamiento de temperatura son rápidas para facilitar el montaje y desmontaje del molde en la máquina.
- Los aceros y tratamientos térmicos fueron minuciosamente seleccionados, dependiendo del trabajo realizado por cada pieza.
- El molde lleva centradores tanto internos como externos, los primeros para darle más vida útil al molde y los

segundos para posicionarlo en la máquina.

- Por lo complicado de la pieza, la cavidad lleva tacón o postizo de cavida, por donde se inyecta el plástico.
- El molde debe trabajar en una prensa de 85 Toneladas de cierre como mínimo. Las dimensiones del portamolde son tales que no presenta ningún problema para el montaje en cualquier marca de prensa.
- La Tasa Interna de Retorno es de 31 % y el período de recuperación es de 2.9 años para el molde diseñado, esto lo convierte en una buena inversión, con la alternativa de que con un buen trato y mantenimientos preventivos bien establecidos, puede lograrse un tiempo de vida útil mayor.

**BIBLIOGRAFIA.**

- Injection Molding Handbook

Dominick V. Rosato

Ed. Van Nostrand Reinhold

- Manual del Ingeniero Mecánico

Marks

Ed. Mc Graw Hill

- Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones

Richard A. Flinn

Ed. Mc Graw Hill

- Prontuario de Materiales Plásticos

Hellerich

Ed. Sandretto

- Catalogo General

S K F

- Introducción a la Metalurgia Física

Avner

Ed. Mc Graw Hill

- Tratamientos Térmicos de los Aceros

D.M.K. De Grindberg

Ed. Limusa

- Tratamientos Térmicos de los aceros

Jose Apraiz Barreiro

Ed. Dossat

- Apuntes de Teoría de Moldes

Micromold.

- Plastic Product Design

Ronald D. Beck

Ed. Van Nostrand Reinhold

- Plastic Mold Engineering

J. Harry Dubois

Ed. Van Nostrand Reinhold

- Inyección de Plásticos

W. Mink

Ed. Gustavo Gili

- **Moldes para Inyección**

**Menges Mohren**

**Ed. Gustavo Gili**

- **Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión**

**Raúl Coss Bu**

**Ed. Limusa**

- **Applicazioni Pratiche De Lle Simulazioni Nello  
Stampaggio.**

**Louis. T. Manzione**

**Ed. Sandretto.**