



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

APLICACION DE LOS SISTEMAS CAD/CAM EN LA  
FABRICACION DE MOLDES PARA INYECCION  
DE PLASTICO.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N .  
RICARDO AMEZCUA ORNELAS  
GUSTAVO ARCOS GARCIA

FACULTAD DE  
INGENIERIA



MEXICO, D. F.

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. ALVARO AYALA RUIZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1994



## **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.

PJN TPJE FNBAPESFQ

A mis padres:

Miguel y Jovita.

Nunca pensé que escribir podría resultar tan difícil, no creo que existan palabras que puedan explicarles lo que siento por ustedes y sin embargo, estoy seguro que sus corazones entienden perfectamente, usando el lenguaje que no necesita de palabras.

Nunca los olvidaré.

A mis hermanos:

Leonardo, Adriana, Gabriel, Patricia, Nora, Juan, Marco, Armando, Miguel, Griselda y Claudina.

Por todos los momentos que compartimos.

*Ricardo Ameghino Qorelos.*

A mis padres:

Este es el resultado del esfuerzo realizado por ustedes durante todo este tiempo, gracias por su apoyo.

A mi esposa e hija:

Por el apoyo incondicional que me brindaron durante la realización de esta tesis.

A mis hermanos y amigos:

Por la ayuda desinteresada que me brindaron, ya que sin ella no habría sido posible alcanzar esta meta.

*Gustavo Arcos Garcia.*

Es justo hacer un reconocimiento a las personas que nos brindaron su ayuda desinteresada para la realización de este trabajo, en especial al Ing. Alvaro Ayala Ruíz, Ing. Miguel Angel Cruz Morales, Ing. Luis Flavio Romero Pérez, Sr. Santos Avila Peña y al personal de los talleres de ingeniería mecánica, a todos ustedes solo les podemos decir una cosa:

"Gracias".

## Indice.

■ Introducción.	1
■ Capítulo 1.	
<b>Selección del material a inyectar.</b>	
Introducción.	5
1. 0. El plástico en México.	5
1. 1. Selección del polímero.	7
1. 2. Un estudio general del polipropileno.	9
■ Capítulo 2.	
<b>Inyección de plásticos.</b>	
Introducción.	14
2. 0. El proceso de inyección de plástico.	14
2. 1. Variables del proceso.	17
2. 2. La máquina de inyección de plástico.	18
2. 2. 1. Unidad de inyección.	19
2. 2. 2. Conjunto de cierre.	22
2. 2. 3. Equipo periférico.	24
2. 3. La máquina y el molde de inyección.	24
■ Capítulo 3.	
<b>El molde de inyección.</b>	
Introducción	
3. 0. Constitución y función del molde.	27
3. 1. Elementos del molde de inyección.	29
3. 1. 1. El sistema de llenado.	32
3. 1. 2. Salida de aire de los moldes.	39

3. 1. 3.	Sistema de enfriamiento del molde.	40
3. 1. 4.	El sistema de expulsión.	44
3. 2.	Clasificación de los moldes de inyección.	45
3. 2. 1.	Clasificación por el tipo de inyección.	48
3. 2. 2.	Clasificación por el tipo de construcción.	48
3. 2. 3.	Clasificación por el tipo de extracción.	50
3. 2. 4.	Clasificación por el tipo de transmisión.	50
■ Capítulo 4.		
Diseño tradicional del molde.		
	Introducción.	52
4. 0.	Consideraciones para el diseño de moldes.	52
4. 1.	Pasos del proceso de diseño.	53
4. 2.	Diseño del molde.	58
4. 2. 1.	Parámetros de partida.	58
4. 2. 2.	Sistema de enfriamiento.	57
4. 2. 3.	Sistema de botado.	58
4. 2. 4.	Sistema de llenado.	59
4. 2. 5.	Cálculos.	60
4. 2. 5. 1.	Sistema de llenado.	61
4. 2. 5. 2.	Presión de inyección.	62
4. 2. 5. 3.	Espesor de pared para las cavidades.	65
4. 2. 5. 4.	Fuerza de cierre.	68
4. 2. 5. 5.	Resistencia del molde a la fuerza de cierre.	69
4. 2. 5. 6.	Pernos guía.	70

■ **Capítulo 5.**

**Diseño asistido por computadora.**

Introducción.	72
5. 0.       Diseño asistido por computadora.	72
5. 1.       Ingeniería asistida por computadora.	73
5. 2.       Diseño.	75
5. 2. 1.    Análisis por elemento finito.	77
5. 2. 1. 1. Análisis del sistema de llenado.	77
5. 2. 1. 2. Análisis de esfuerzos en las cavidades del molde.	81

■ **Capítulo 6.**

**Manufactura del molde.**

Introducción.	80
6. 0.       Manufactura asistida por computadora.	80
6. 1.       Viabilidad para el uso de paquetes de generación de códigos de CN en el molde.	84
6. 2.       Proceso de fabricación.	86
6. 3.       Costos.	107

■ **Conclusiones.**

108

■ **Apéndice A.**

■ **Referencias.**

## INTRODUCCION

En la actualidad, los materiales plásticos han tomado gran importancia en nuestra vida diaria, a tal grado que se han hecho indispensables en casi todas las actividades que desempeñamos. Esto es debido al gran desarrollo que se ha dado en torno a esta industria que día a día crece más a nivel mundial, sin embargo, México ciertamente no ocupa un lugar preponderante en este campo debido en gran medida al atraso tecnológico, es por esto que en esta tesis se estudia parte de la industria de los plásticos y la aplicación de nuevas técnicas como lo son el diseño de moldes de inyección mediante el uso de técnicas computacionales, Diseño Asistido por Computadora (CAD).

En esta tesis se presenta el diseño y fabricación de un molde para inyección de plástico de múltiples cavidades usando las instalaciones y equipos con los que cuenta la Facultad Ingeniería en su departamento de ingeniería mecánica, estos equipos son tanto los sistemas de dibujo y diseño así como las modernas máquinas de control numérico.

El problema a resolver es el diseño y la fabricación de un molde de múltiples cavidades, el cual constará de dos cavidades siendo el molde más simple, sin embargo presenta los problemas más frecuentes en la fabricación de este tipo de herramientas, las dificultades de fabricación son provocadas por la forma de la pieza que presenta dificultades técnicas para su obtención.

La pieza a obtener es una tapa cilíndrica de un envase llamado "Pepsilindro" (sic), la cual consta de una salida para un popote y una válvula compensadora de aire, además, la tapa cuenta con una cuerda interior que dificulta la extracción de la pieza del molde. Una

exigencia que se fijó es la de lograr que el molde sea capaz de completar, por lo menos, tres ciclos por minuto; la dificultad de esta exigencia radica en que el plástico debe ser enfriado y solidificado para así poder extraer las piezas en este tiempo.

El trabajo de diseño y fabricación no resulta de ninguna manera fácil debido a la complejidad del problema que se desea resolver, sin embargo los beneficios que se pueden lograr compensan totalmente este trabajo de tesis.

Ciertamente el diseño de moldes para inyección de plástico no es un trabajo nuevo, sin embargo, el diseño de moldes mediante sistemas asistidos por computadora sí lo es. Es por esto que se decidió desarrollar una técnica para la aplicación de los sistemas CAD en el diseño de moldes para inyección de plástico y evaluar las ventajas o desventajas.

El diseñar moldes de inyección de plástico nos conduce inevitablemente a percatarnos de la estrecha relación que guardan entre sí todos los elementos que intervienen en el proceso de inyección el cual puede ser visto como una trilogía compuesta por: la unidad de inyección, el molde y el polímero.

Cada uno de estos elementos tiene gran influencia sobre el producto, la unidad de inyección controla los parámetros como pueden ser presión de inyección, dosificación del material a inyectar, tiempo de llenado, temperatura de inyección, etc., cada uno de estos parámetros deben ser comprendidos correctamente y adaptados a la pieza que se desea obtener, estos parámetros a su vez, dependen de el material a inyectar y de la forma de la pieza, el último punto de que depende la calidad de nuestro producto es el molde que dará forma a la pieza y que es el punto en donde se centra el trabajo de esta tesis.

En base a lo anterior los objetivos que se pretenden con la realización de este trabajo son :

1.-Dar una aplicación práctica a los sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora con los que cuenta la Facultad, en la fabricación de un molde para inyección de plástico.

2.-Obtener un procedimiento para el diseño de moldes de inyección de plástico en el que se complemente el proceso tradicional con las técnicas CAD.

3.-Obtener las piezas plásticas inyectadas.

Para lograr lo anterior esta tesis se estructuró en 6 capítulos de la siguiente forma:

En el capítulo 1 se da una breve semblanza de los materiales plásticos y la forma en que se seleccionó el material para la tapa; en el capítulo 2 y 3 se detalla el proceso de inyección, los diferentes tipos de máquinas de inyección, los elementos que componen un molde, ésto con el fin de introducirse en materia y tener dominio de los términos más usados en el tema de moldes, pues es claro que antes de diseñar un molde se debe de saber qué es un molde, cómo está constituido, su funcionamiento, requerimientos para su buen desempeño, así como también, la función de la máquina de inyección y la forma en que interacciona con el molde.

El capítulo 4 se centra en el diseño del molde mediante la técnica tradicional, los resultados obtenidos en este capítulo serán complementados con los del capítulo 5, en donde se hace uso de las técnicas CAD. Una vez que el diseño del molde se ha hecho correctamente, el último paso es la manufactura del molde, la cual se

detalla en el capítulo 6; finalmente, se presentan las conclusiones de este trabajo de tesis.

## CAPITULO 1

### SELECCION DEL MATERIAL A INYECTAR

#### INTRODUCCION.

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 una presión, temperatura o de ambos factores, y una vez transformados conservan la forma obtenida.

El primer plástico fué hecho a principios del siglo veinte, después de este logro se han creado diferentes tipos de plásticos que han ayudado a cubrir necesidades específicas. En la actualidad existen cuarenta familias de materiales básicos que son popularmente utilizados y producidos en millones de toneladas anualmente. Los plásticos poseen características que los hacen buenos candidatos para sustituir a otros materiales.

#### 1.0 .- EL PLASTICO EN MEXICO.

Actualmente una de las industrias que está teniendo un gran auge en México y en el mundo es la de los plásticos o polímeros, esto es debido a su gran versatilidad, bajo costo y velocidad de procesamiento.

En México, el plástico comenzó a entrar en el mercado en el año de 1940, rápidamente comenzó a haber una invasión de este material. Primero comenzó a usarse como sustituto de la madera y del cuero, y ha llegado hasta la sustitución de materiales ferrosos.

En México la industria de plástico ocupa a 180 000 personas, con una derrama económica de 800 millones de nuevos pesos, distribuidos en industrias que producen resinas sintéticas, fibras o que transforman productos plásticos, siendo éstas la mayoría en México.

Dentro de las empresas transformadoras es importante señalar que las que se dedican a la inyección de plástico son la mayoría ocupando un 35% del total de estas empresas; 30% se dedican a la extrusión, 15% al soplado y el restante 20% a otros procesos como lo son el moldeo rotacional, espumado, recubrimiento, sellado, etc.

Como lo muestran las estadísticas antes mencionadas, la gran mayoría de los productos son los fabricados por inyección, extrusión y soplado, entre éstos podemos mencionar los siguientes:

Artículos de plástico para el hogar: cubetas, baldes y palanganas, vasos, platos y cubiertos desechables y no desechables, botones, biberones y otros.

Artículos de plástico para empaque y embalaje: cajas para refrescos, tapas y tapones.

Accesorios y piezas plásticas de uso industrial: para la industria de línea blanca (estufas, refrigeradores, lavadoras), para la industria eléctrica y electrónica.

Artículos de plástico para uso clínico, farmacéutico y de laboratorio.

La lista resultaría interminable pero es indudable la gran importancia que tiene el plástico en nuestra vida. Estos productos son fabricados con una variación de 38.6% de incremento anual promedio y su tendencia es a la alza, es importante resaltar la necesidad de personal debidamente capacitado y de equipo que satisfaga los requerimientos que a futuro demandará esta industria.

## 1.1 .- SELECCION DEL POLIMERO

El proceso de selección de un material plástico adecuado para satisfacer una cierta necesidad no es un trabajo sencillo, ya que con frecuencia algunos polímeros realizan el trabajo de igual forma, sin embargo, la selección final depende de la experiencia individual, de los costos y de la forma de procesamiento del material. Para llevar al cabo esta selección también se cuenta con programas y sistemas expertos para la selección del material, los cuales contienen propiedades físicas, químicas, etc., de un número muy grande de polímeros que pueden cubrir los requerimientos del producto en cuestión.

Para nuestro caso particular, la selección del polímero se realizó de la siguiente forma:

El primer punto fué el considerar que la pieza se producirá por medio del proceso de inyección y que el material debe ser flexible para soportar los problemas de botado debido a la cuerda, así mismo el material no debe ser tóxico y de bajo costo, los materiales que pueden satisfacer estos requerimientos son el polietileno, el poliestireno y el polipropileno.

El siguiente paso fué analizar las propiedades de cada uno de ellos haciendo uso de la tabla 1.1 [2].



y un costo de N\$2.8; Finalmente el poliestireno tiene las siguientes propiedades:  $1.04 \text{ gr/cm}^3$ , 41.39 MPa, 3104 MPa, y un costo de N\$4.17.

El razonamiento de selección fué el siguiente: El poliestireno eleva los costos por el precio más alto que el de los otros dos polímeros, también porque su densidad es más alta por lo que un decímetro cúbico de este material costaría N\$433.68 por N\$252 del polipropileno y N\$266.63 del polietileno. Como puede verse el polipropileno resulta más económico debido a su menor densidad y costo. Pero el aspecto costo no lo es todo para seleccionar un material sino hay que analizar las propiedades y seleccionar el que se apegue mejor a nuestras necesidades.

Como la tapa a inyectar llevará una rosca, la pieza tendrá que soportar los esfuerzos generados por el cierre de la misma, debido a esto nuestra pieza deberá tener buena resistencia mecánica. Si analizamos los valores de resistencia de los materiales seleccionados el que tiene mayor resistencia es el poliestireno, pero este queda eliminado por su alto costo, de los dos materiales restantes, el de mayor resistencia mecánica es el polipropileno, debido a éste y a su bajo costo, éste es el material seleccionado como materia prima para inyectar la pieza. Finalmente, las características de este material serán las que regirán gran parte del diseño del molde. Las propiedades de este material serán consideradas para el diseño del molde.

## 1.2 .- UN ESTUDIO GENERAL DEL POLIPROPILENO.

El polipropileno junto con el PVC, son de los materiales plásticos de mayor consumo a nivel mundial debido a la alta calidad lograda en piezas inyectadas, su alta resistencia al desgarre, brillantez y a su

gran resistencia a los esfuerzos para la industria textil.

El polipropileno es un material que tiene bajo peso molecular, una superficie dura, es translúcido, pero en forma de película es transparente, tiene una densidad de  $0.9 \text{ gr/cm}^3$  y tiene un punto de fusión de  $165$  a  $175^\circ\text{C}$ . El polipropileno puede ser cargado con fibra de vidrio que da alta resistencia a la tensión, estabilidad dimensional, resistencia al calor y resistencia a los químicos, la carga de fibra de vidrio en el polipropileno varía desde el 20 hasta el 40%. A continuación se muestra una comparación entre el polipropileno sin carga y con 30% de fibra de vidrio.

Propiedad	Sin carga	30% Fibra de vidrio.	Unidades.
-Densidad.	0.9	1.12	$\text{gr/cm}^3$
-Resist. al impacto.	0.428	1.01	N.M/cm
-Dureza Rockwel A.	95	109	R
-Módulo de flexión.	500	700	$\text{Kg/cm}^2$
-Temperatura de fusión.	165	185	$^\circ\text{C}$
-Contracción de moldeo.	2	0.5	%
-Índice de fluidez.	4	3	$\text{gr}/10 \text{ min}$

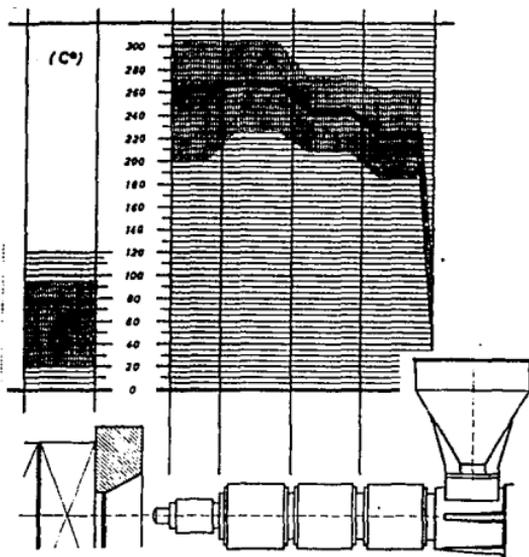
Tabla 1.2. Comparación de las propiedades del polipropileno puro con otro reforzado con 30% de fibra de vidrio [13].

De la tabla 1.2 se puede ver que el polipropileno con carga mejora sus propiedades de la misma forma como sucede en los metales al alearlos. A lo mencionado anteriormente se pueden agregar las siguientes propiedades:

- Aislante eléctrico.
- Resistencia a la oxidación.
- Resistencia a los compuestos inorgánicos hasta una temp. de  $60^\circ\text{C}$ .

- Resistencia a los compuestos orgánicos, a temperatura ambiente no se disuelve.
- Resistencia al medio ambiente.
- No es tóxico al estar en contacto con los alimentos.
- Tiene una baja permeabilidad a los gases y líquidos.

En la gráfica 1.1 se muestran los rangos de temperatura a los que el polipropileno puede ser expuesto en el sistema de inyección de una máquina.



Gráfica 1.1. Rangos de temperatura recomendables para la elaboración del polipropileno [6].

Con el polipropileno se pueden lograr reducciones en el espesor de hasta 0.2 a 0.6mm.. La flexibilidad es grande y la inyección puede hacerse repetidamente sin tener fracturas. Es muy importante la orientación en la estructura del polímero para obtener mayor duración y resistencia en el producto, por eso la inyección debe de ser calculada previamente tomando en cuenta el flujo en los canales del molde y sobre todo, la presión suministrada. Un material del que se pueden controlar fácilmente estos parámetros, es el polipropileno, ya que tiene un alto grado de fluidez, aún en las orillas, extremos y al final de las cavidades.

También es usado en piezas de pequeñas dimensiones con grandes o pequeñas reducciones de sección.

El polipropileno tiene un sin fin de aplicaciones tanto en la industria como en el hogar. Enumeraremos enseguida una serie de aplicaciones que tiene éste material:

Industria automotriz:

- Tolvas.
- Consolas.
- Ductos de calefacción.
- Guanteras.
- Respaldos de puertas.
- Ventiladores.
- Filtros de aire.
- Parrillas.

Industria del empaque:

- Envolturas de botana.
- Envolturas de dulces.
- Envolturas de carnes frías.

-Envolturas de ropa.

-Costales.

Artículos domésticos:

-Recipientes de alimentos.

-Lava vajillas.

-Partes de lavadoras.

-Sillas.

Por todo lo antes mencionado, el polipropileno resulta ser una buena selección para usarlo como el material de nuestra tapa de "PEPSILINDRO".

## CAPITULO 2

### INYECCION DE PLASTICOS

#### INTRODUCCION.

Una de las muchas formas en que los polímeros son procesados es la inyección, que consiste en introducir una masa plástica fundida dentro de la cavidad de un molde que le da la forma requerida.

Este proceso es muy usado debido a que se pueden producir piezas de alta calidad, buena precisión y generalmente las piezas inyectadas no requieren de un trabajo posterior. Los termoplásticos, pequeñas cantidades de termofljos y elastómeros son procesados de esta manera.

En el proceso de inyección se controlan las variables del proceso tales como temperatura, presión, tiempo de inyección, fuerza de cierre etc., ya que dichas variables repercuten en la calidad de la pieza; los parámetros de inyección dependen a su vez del plástico a inyectar, dimensión de la pieza y número de cavidades del molde, entre otras.

En este capítulo se dará una explicación más amplia del proceso para lograr una mejor comprensión del tema.

#### 2.0 .- EL PROCESO DE INYECCION DE PLASTICO.

La inyección de plástico es un proceso donde se introduce en la cavidad de un molde una cantidad dosificada de material plástico fundido; tras un cierto período de tiempo, solidifica la masa inyectada, el molde se abre y se extrae la pieza.

El material plástico inicialmente se encuentra en forma de pellets (materia prima en gránulos) en la tolva de la máquina, situada

sobre la unidad inyectora.

La secuencia de operaciones para la producción en moldes de inyección es la siguiente:

1. El molde se cierra, una dosis de el plástico fundido está lista para ser introducida en la unidad de inyección.
2. La inyección ocurre, la válvula que da paso al flujo plástico proveniente de la inyectora se abre y el tornillo funciona como un dosificador, el material fundido pasa a través de los canales y entra al molde.
3. El estado de espera, es cuando la presión es mantenida durante los primeros estados de enfriamiento. Una vez que la pieza inyectada es enfriada, la presión puede ser desactivada.
4. El tornillo dosificador retrocede para acumular una parte de la fusión enfriada que se encuentra en la punta de la unidad inyectora.
5. Mientras tanto, el material en el interior del molde sigue enfriándose, cuando está listo, la prensa y el molde son abiertos y el producto es removido de la cavidad del molde.
6. El molde cierra y el ciclo se repite.

Este proceso se muestra esquemáticamente en la figura 2.1.

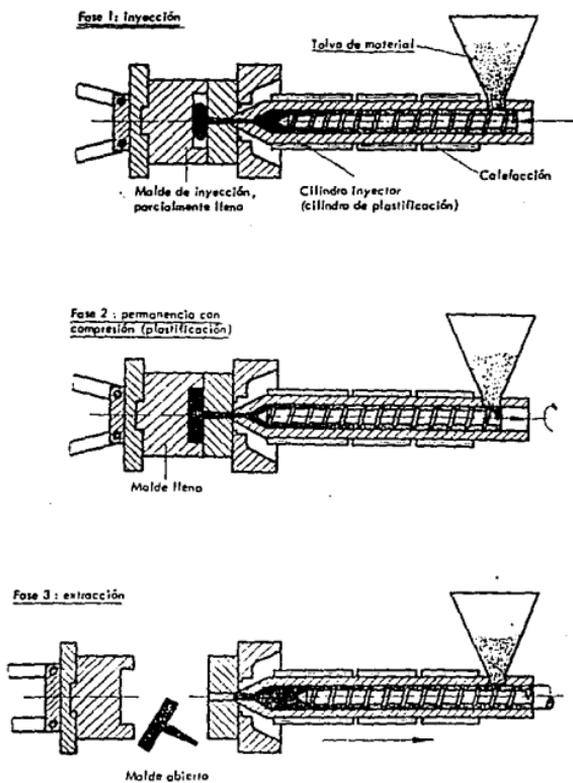


Fig. 2.1. Ciclo de operaciones para la producción de piezas por inyección.

## 2.1 .- 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 la cavidad del molde, el valor de ésta presión depende de la cantidad de piezas a inyectar, de los canales de llenado y de la temperatura a la que se inyecta el material.

### 2.- Temperatura del cilindro de inyección:

Las temperaturas tienen una gran importancia para poder obtener piezas de buena calidad, tanto en su estructura como en su apariencia. La temperatura varía dependiendo del tipo de plástico a inyectar; es muy importante que la temperatura no sea más alta que la máxima permisible, para que no haya una degradación del mismo.

### 3.- Temperatura del molde :

Otra de las variables que debe ser controlada para poder obtener piezas de calidad es la temperatura del molde, ya que con el correcto establecimiento de este parámetro se puede lograr brillo en la superficie de la pieza, una buena fluidez de la pieza fundida y en sí, mejorar la pieza.

### 4.-Velocidad de inyección :

Esta es la velocidad con la que se desplaza el husillo para inyectar el material plastificado al molde, dicha velocidad depende del plástico que se usa en el proceso, de la temperatura a la que se inyecta el material y del tamaño de la cavidad del molde.

El correcto establecimiento de estos parámetros ayudan a mejorar el producto, sin embargo, como se mencionó en el capítulo 1,

ésto no lo es todo para garantizar un producto óptimo.

## 2.2 .- LA MAQUINA DE INYECCION DE PLASTICO.

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.



Fig.2.2.Máquina de inyección [4].

Hoy en día se encuentran máquinas de funcionamiento totalmente automático que no requieren de ninguna intervención del operador, con ciclos regulados con controlador.

Existen máquinas en el mercado con capacidad de inyección desde unos gramos hasta 30 Kg, y con una fuerza de cierre de 2 a 10 000 toneladas.

### 2.2.1 .- UNIDAD DE INYECCION.

Este sistema tiene como finalidad alimentar el material, la fusión del mismo y la inyección en el molde, se representa en la figura 2.3.

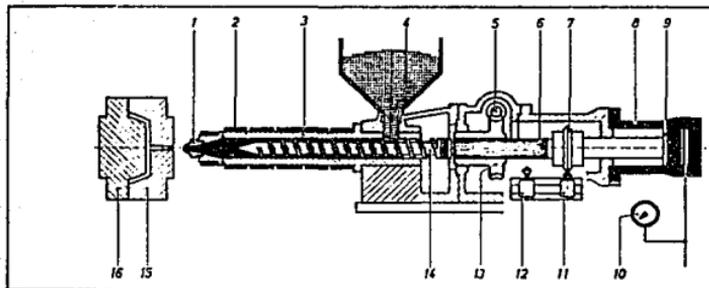


Fig 2.3. Unidad de inyección [6].

(1) boquilla. (2) bandas calefactoras. (3) cilindro de plastificación. (4) tolva. (5) eje del accionamiento del émbolo-husillo. (6) árbol para el accionamiento del émbolo-husillo. (7) leva. (8) cilindro hidráulico. (9) Pistón hidráulico. (10) manómetro. (11) interruptor final del caudal. (12) interruptor para el avance final del émbolo-husillo. (13) rueda helicoidal. (14) émbolo-husillo. (15) mitad del molde lado inyector. (16) mitad del molde lado extractor.

Las máquinas de inyección se pueden clasificar por el sistema de inyección que presentan. El tipo de máquina más antiguo es la de sistema de una sola etapa de inyección en la cual el plástico fundido es empujado por un pistón, que conduce a la masa plastificada hacia la boquilla de inyección y pasar de ahí a la cavidad del molde (fig.2.4).

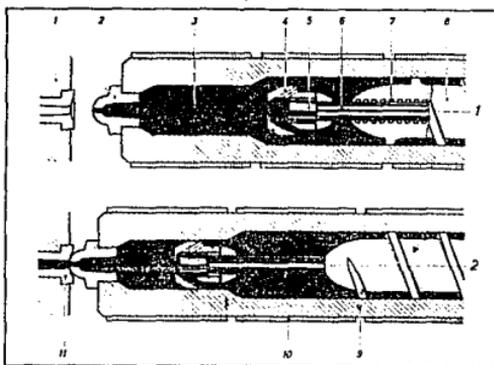


Fig.2.4. Máquina de inyección por pistón de una etapa [6].

(1) molde lado boquilla. (2) boquilla. (3) cámara de aportación de material. (4) campana de la válvula. (5) émbolo. (6) vástago del émbolo. (7) canales de junta. (8) husillo. (9) cilindro. (10) elementos calefactores. (11) bebedero.

Se ha desarrollado una máquina de inyección denominada de dos etapas (fig.2.5). Este equipo contiene dos unidades de inyección teniendo una encima de la otra, la primera plastifica el material y lo introduce dentro de la segunda que se encarga de suministrar el plástico fundido hacia el molde.

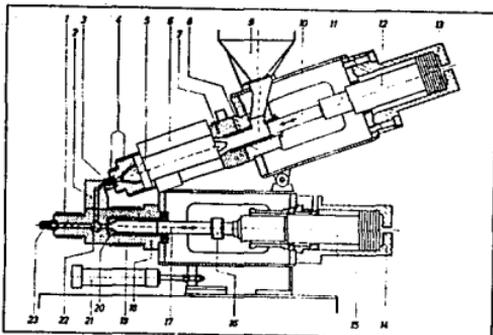


Fig.2.6.Unidad de inyección de doble pistón [6].

(1, 4, 19)bandas calefactoras. (2) elemento de unión. (3) pieza intermedia. (5) torpedo. (6) revestimiento de protección térmica. (7) cilindro de plastificación. (8, 20) camisas. (9) tolva. (10) pistón. (11, 16) acoplamientos, (12, 15) pistones hidráulicos. (13) cilindro hidráulico para el pistón 10. (14) cilindro hidráulico para el pistón 17. (17) pistón de inyección. (18) cilindro de inyección. (21) cilindro hidráulico para el movimiento de la unidad inyectora. (22) válvula para el cierre de la boquilla. (23) boquilla.

La máquina más popular es la de sistema de inyección por tornillo recíprocante en línea (fig.2.3), la cual ha sustituido a las de pistón. En este tipo de máquinas un tornillo giratorio dentro de un cilindro calefactor es el encargado de conducir el material.

### 2.2.2 .- CONJUNTO DE CIERRE.

Este sistema tiene la función de hacer el cierre y la apertura del molde y genera la fuerza necesaria para mantener cerrado el molde durante la inyección y genera la expulsión de las piezas moldeadas durante la apertura del molde, (fig. 2.6).

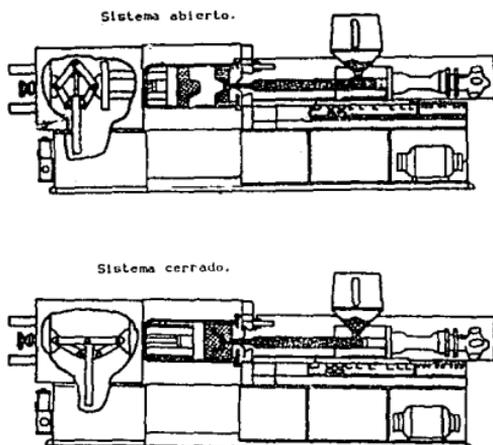


Fig.2.6. Sistema de cierre de una máquina de inyección [4].

Existen varias formas de lograr la apertura y cierre del sistema:

1.-Sistema hidráulico. En este sistema un cilindro hidráulico actúa directamente sobre las partes móviles para abrir y cerrar (fig.2.7).

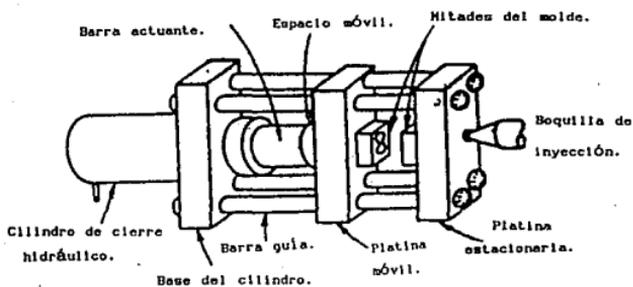


Fig.2.8.Cierre hidráulico [4].

2.-Mecánico. En este sistema el cilindro hidráulico actúa sobre un mecanismo de cierre apertura (fig. 2.8).

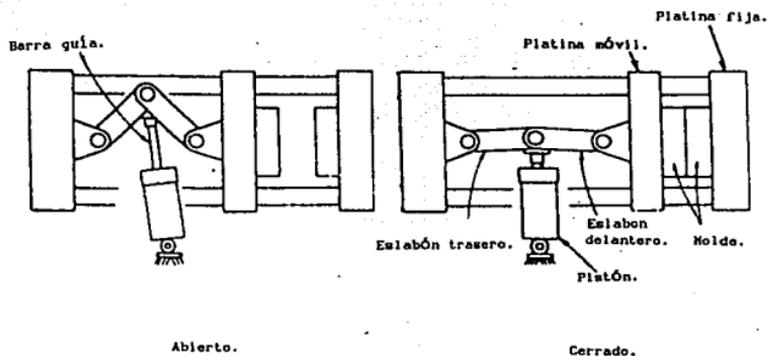


Fig.2.10.Sistemas mecánicos de cierre apertura [2].

### 2.2.3 .- EQUIPO PERIFERICO.

Alrededor de la máquina de inyección existen ciertos dispositivos que ayudan al desempeño correcto de la máquina de inyección, tales dispositivos son:

Enfriador.-Su función es dotar de agua de refrigeración al sistema.

Termorregulador.-Tiene como finalidad mantener constante la temperatura del molde.

Deshumidificador.-Elimina la humedad del polímero a inyectar.

Cargadores.- Su función es dotar de plástico a la tolva de manera que no falte el suministro al cilindro.

Mezclador.- Tiene como finalidad mezclar los componentes, como los aditivos con el plástico virgen.

Molino.-Sirven para triturar el desperdicio de plástico generado por los canales de colada.

Motores de desenrosque.- Tienen la finalidad de dar movimiento giratorio a los corazones del molde para desenroscar a la piezas roscadas que no pueden ser extraídas por algún sistema de botado.

### 2.3 LA MAQUINA Y EL MOLDE DE INYECCION.

La relación existente entre la máquina y el molde es muy estrecha dado que ambos complementan al proceso de inyección, el molde montado en las platinas de la máquina, pasa a ser parte de ésta. La figura 2.9 muestra la posición en que el molde es montado en la máquina de manera que la parte de inyección del molde queda sujeta a la parte fija y, la mitad del lado de extracción se sujeta a la platina móvil de forma que el molde pueda ser abierto y cerrado por las platinas.

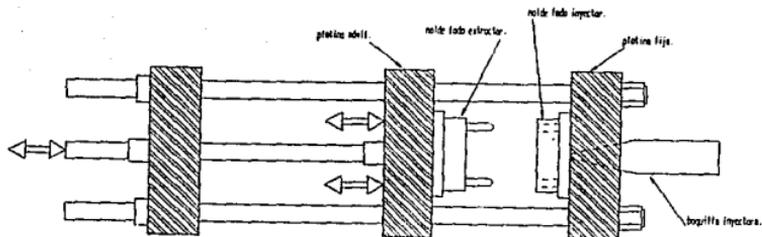


Fig. 2.9. Máquina con molde montado.

En general, no todas las máquinas pueden ser usadas con cualquier molde, esto es debido a que los diversos tipos de máquinas, como ya se mencionó en este capítulo, cuentan con diferentes capacidades, tanto en volumen de inyección, como en fuerza de cierre. Las características de cada molde definen qué máquina es la mejor opción que cumpla con las necesidades del proceso.

Un ejemplo de esto es el siguiente:

Si la fuerza necesaria para mantener cerrado un molde durante el proceso de inyección es de 13 toneladas y el peso de la masa de inyección requerido es de 30 gramos, se debe de seleccionar una máquina que cumpla con ambas cosas. Para la fuerza de cierre, se recomienda que la máquina que se usa no trabaje arriba del 80% de su capacidad, así, se requerirá que la máquina tenga una fuerza de cierre de por lo menos 17 toneladas, con este valor podemos seleccionar una

máquina comercial de 20 o 25 toneladas de cierre. Es importante señalar que una máquina de mayor capacidad puede funcionar pues los parámetros de la máquina pueden variar en un cierto rango, pero, si la máquina sobrepasa con mucho los parámetros requeridos por el molde, se tendrán pérdidas económicas. Lo anterior se aplica de la misma manera al volumen de inyección de la máquina.

## CAPITULO 3

### EL MOLDE DE INYECCION

#### INTRODUCCIÓN.

Como se mencionó en el capítulo anterior, son muchos los factores que intervienen en el proceso de inyección, pero el diseñador debe centrar su atención en el molde, para lo cual es indispensable que éste cuente con conocimientos sólidos en este campo. Es por esto que el capítulo 3 se dedica a éste tema.

#### 3.0 . - CONSTITUCION Y FUNCION DEL MOLDE.

Un molde de inyección de plástico es un dispositivo para producir piezas introduciendo a presión plástico fundido dentro de la cavidad del mismo, dándole forma y, mediante un sistema de acondicionamiento de temperatura, lograr la solidificación.

Todo molde consta de dos partes: parte de inyección y parte de extracción (fig. 3.1).

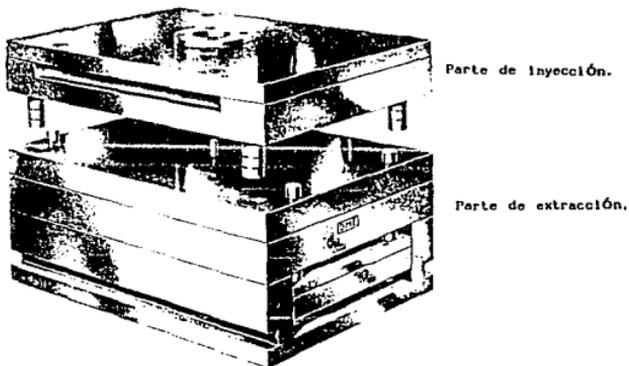


FIG. 3.1. Molde de inyección.

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 el sistema de extracción o botado de la misma, así, todo molde debe cumplir las siguientes funciones:

- 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 ésta del molde, posea tanto estabilidad dimensional como forma.
- c) Expulsar la pieza de los corazones y cavidades.
- d) Debe cumplir con cierta productividad según haya sido fabricado.

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

El caso más sencillo, pero también el más frecuente, es cuando el molde consta de dos mitades. Estos dos elementos básicos, se conocen como lado inyector y lado extractor, estos elementos aparecen en todos moldes, independientemente de su forma de construcción.

Tras el proceso de llenado y solidificación, el molde se abre por el plano de partición, quedando generalmente la pieza y la mazarota adheridas a la mitad del molde lado extractor. Al continuar el proceso de apertura, la parte posterior entra en contacto con un perno fijo de la máquina, iniciándose en seguida el proceso de desmoldeo. El tope del extractor acciona el mecanismo de expulsión, el cual desplaza la pieza y la mazarota, separándolas del lado extractor del molde. Sólo al efectuarse el movimiento de cierre se produce la recuperación del mecanismo extractor, mediante las llamadas espigas de retroceso o bien

mediante un resorte antagónico, es decir, el resorte de la placa extractora. Finalizado el movimiento de cierre, es decir, al estar el molde cerrado, el mecanismo extractor se encuentra en su posición final. Mediante una boquilla situada junto a la cavidad del molde se establece una conexión entre éste y el cilindro de inyección, con lo que puede empezar de nuevo el proceso de llenado. Según el tipo de máquina, un husillo o pistón impulsan a elevada presión la masa plastificada hacia la cavidad del molde. Finalizado el proceso de llenado, se mantiene todavía, durante un cierto tiempo, una presión residual, la cual sirve para compensar la contracción en volumen mediante nueva aportación de material. Con el inicio de llenado del molde empieza la fase de enfriamiento, que termina cuando el material se ha solidificado para formar una pieza estable. El periodo de refrigeración termina al solidificar la pieza, el molde se abre y la pieza es desmoldada iniciando un nuevo ciclo.

### 3.1 .- ELEMENTOS DEL MOLDE DE INYECCION.

En la vista explosiva (fig.3.2) se muestran los diferentes elementos del molde, dicha figura nos ayudará a entender la configuración del mismo.

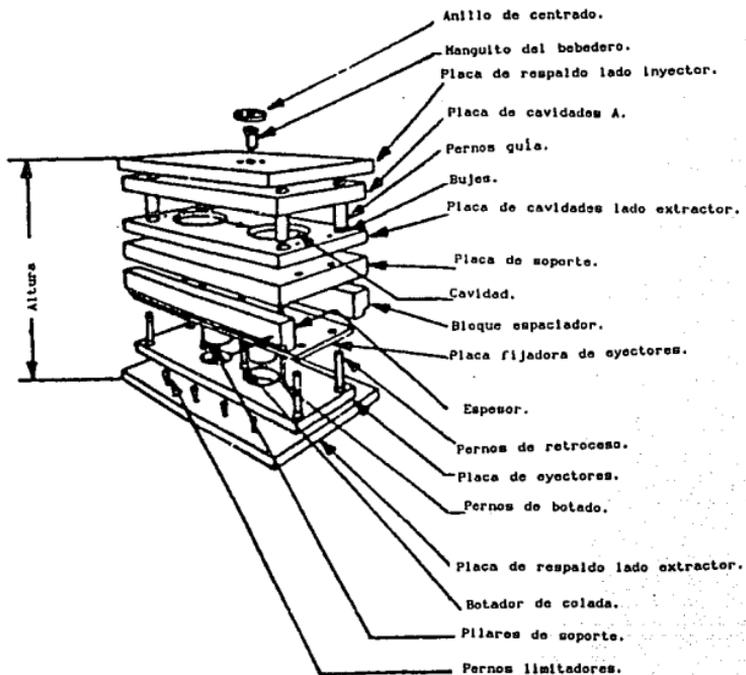


Fig. 3.2. Vista explosiva de la configuración de un molde de inyección [10].

Las funciones de las partes del molde se describen a continuación:

Componente	Función
Base del molde.	Mantiene a las cavidades fijas y en posición correcta respecto a la boquilla de inyección.
Pernos guía.	Mantiene la correcta alineación entre las dos mitades del molde.
Manguito del bebedero.	Es el conducto por donde el plástico entra a la cavidad del molde.
Venas de llenado.	Conducen el plástico fundido desde el bebedero hasta la cavidad.
Entradas puntiformes.	Regulan el flujo de plástico fundido dentro de la cavidad.
Cavidad.	Controlan la forma, medida, y la textura del artículo moldeado.
Canales de enfriamiento.	Controlan la temperatura de la superficie del molde hasta que la pieza inyectada solidifique.
Ranuras de ventilación.	Permiten la salida del aire atrapado dentro de las cavidades.
Mecanismos eyectores.	Expulsan a la pieza inyectada fuera del molde.

El manguito del bebedero tiene un radio esférico de 1/2" o 3/4" . La perforación a lo largo del manguito del bebedero tiene un ángulo de un grado por lado como mínimo. Esta perforación debe de tener un

acabado a espejo para evitar que la mazarota se adhiera. La perforación va desde la placa portamolde hasta la línea de partición del molde. La línea de partición está formada por la cavidad que se encuentra entre las placas de cavidades A y B. La placa de cavidad A, retiene los incertos de la cavidad y soporta los pernos guía, los cuales mantienen el alineamiento de las dos mitades de la cavidad durante la operación de cierre y apertura del molde.

Los pernos guía son 0.001" menores que el diámetro nominal y con una tolerancia de +0.0000" y -0.0005". Los bujes son 0.0005" mayores que la medida nominal y con una tolerancia de +0.0000" y -0.0005". Esto provee de una holgura entre el perno guía y el buje de 0.0025" y como mínimo de 0.0015".

### 3.1.1 .- EL SISTEMA DE LLENADO.

Como ya se ha indicado, el sistema de llenado, tiene por objeto recibir la masa fundida procedente del cilindro de plastificación y dirigirla a la cavidad del molde. Como muestra la figura 3.3, el sistema de llenado consta de varias partes, en moldes múltiples son:

- el cono del bebedero (mazarota, canal de entrada),
- el canal de distribución (araña, repartidor de colada),
- los canales de estrangulamiento (nervios de colada, trabazonos).

El cono del bebedero recoge la masa plástica directamente del cilindro de plastificación y la dirige hacia el plano de partición del molde, perpendicularmente a este plano. Si bien este canal de entrada varía según las normas de trabajo, generalmente tiene forma cónica

para facilitar el desmoldeo. En los moldes sencillos inyectados perpendicularmente, dicho sistema constituye muchas veces la totalidad del sistema de llenado.

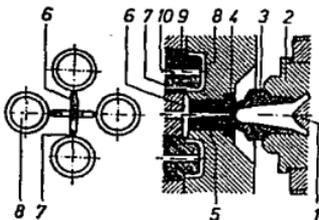


Fig.3.3. Sistema de coleda para un molde de múltiples cavidades [5].

1. Humillo; 2. Cabeza del cilindro; 3. Boquilla; 4. Manguito del bebedero; 5. Cono de entrada; 6. Canales de distribución; 7. Canal de estrangulamiento; 8. Cavidad; 9. Corazón; 10. Expulsores.

La boquilla de inyección se apoya directamente sobre el bebedero al cerrar la máquina de moldeo, estableciendo una junta de presión entre el inyector y el molde; por tal razón, es conveniente fabricar el manguito del bebedero en acero templado.

La superficie de contacto entre la boquilla y el manguito del bebedero pueden ser de diversos tipos, distinguiéndose las superficies de contacto cóncavas y las convexas. A continuación se muestran los dos tipos de superficies (fig. 3.4).

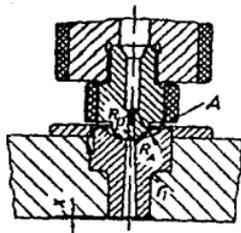


Fig.3.4. Superficie de contacto curva entre la boquilla y el manguito del bebedero [5].

Para el cálculo del radio se utiliza la siguiente ecuación empírica:

$$R_0 + 1 \leq R_A \text{ (mm)} \quad [5]$$

En estas expresiones,  $R_0$  es el radio de curvatura del extremo de la boquilla y  $R_A$  es el radio de la concavidad del bebedero.

Finalmente, se debe tener en cuenta que para una fácil extracción de la mazarota se debe de dejar una concididad que va desde 1. a 2.5. .

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, disminuir el tiempo de enfriamiento, mejorar la calidad de la pieza etc.

El tipo de alimentación viene determinado principalmente por el

hecho de conducir la masa plástica hacia la cavidad del molde con mayor rapidez, con mínimas pérdidas de calor y presión. Se tiene además la exigencia, en los moldes múltiples, de que el material debe alcanzar simultáneamente todas las cavidades a igual presión y temperatura.

El sistema de alimentación de colada fría, se elegirá de forma que la colada tenga el mismo peso, pueda separarse fácilmente de la pieza y no perjudique el aspecto de la misma. Las dimensiones de los canales dependen, en gran medida, del tamaño de la pieza, tipo de molde y plástico a inyectar.

Como se vió anteriormente, los canales de distribución constituyen la parte del sistema de llenado que une a las cavidades del molde con el cono de entrada o mazarota.

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 junto a la pared, originándose así un núcleo plástico, por el que puede fluir la masa necesaria para el llenado del molde. Este núcleo plástico debe conservarse hasta que la pieza esté totalmente solidificada, de esta forma la presión residual necesaria para compensar la contracción de volumen que ocurre durante el enfriamiento, actúa eficazmente.

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

La gran importancia del dimensionamiento de los canales de llenado

radica tanto en la calidad de funcionamiento como en rentabilidad de la producción. Un correcto cálculo de la sección del canal de llenado puede redituarse en un tiempo corto de solidificación de las venas, pero por otro lado, si éstas son muy estrechas, puede provocar un mal llenado. A continuación se muestra la fig. 3.5 con las diferentes secciones usadas para las venas o canales de distribución.

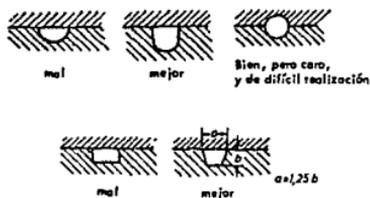


Fig.3.5. Secciones de los diferentes tipos canales de distribución [5].

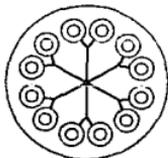
De las cinco secciones mostradas en la figura anterior, el canal circular cumple óptimamente con la relación superficie/volumen, es decir, que con éste tipo de canal se logran las mínimas pérdidas de energía en forma de calor, de rozamiento, y de presión. Para poder desmoldearlo se tiene que dividir diametralmente en partes iguales, abarcando una mitad la parte de inyección y la otra la parte de extracción, cosa que resulta difícil de hacer.

En la práctica, por facilidad y desempeño aceptable, se utilizan las secciones trapezoidales y parabólicas.

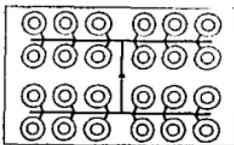
En los canales de distribución se recomienda que tengan un acabado a espejo para evitar que la vena se adhiera al molde, además de esto,

se utilizan anclas de desmoldeo para jalarlas al abrir el molde.

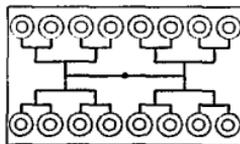
En los moldes múltiples, los canales distribuidores deben de cumplir con la condición del llenado simultáneo y uniforme de las cavidades. El modo más sencillo para lograr un llenado balanceado, consiste en hacer de igual longitud y sección a todas las vías de flujo hacia las cavidades. Para obtener vías de flujo iguales, lo mejor es disponer de las cavidades en círculo alrededor del punto central del bebedero; en tal caso, el sistema de distribución suele llamarse de "araña" o de "estrella" (fig. 3.6). Si no es posible distribuir las piezas de la forma anterior, entonces, se utiliza el sistema de hileras de la figura 3.6. El problema que se tiene con este sistema es que se deben adoptar secciones distintas de los canales de distribución para lograr un llenado simultáneo. Dicho procedimiento se hace mediante ensayo y error lo que ocasiona pérdidas de tiempo y dinero. Existe otro tipo de distribución de hileras, este tipo de distribución se denomina "de hileras de caminos iguales", así evitamos el tardado procedimiento del sistema anterior.



Distribución de estrella.



Canales de hilera de diferente longitud.



Canales de hilera de igual longitud.

Fig 3.6. Tipos de sistemas de distribución de plástico en un molde de múltiples cavidades [5].

El método de colada puntiforme se ha extendido rápidamente en la práctica por las ventajas de su empleo. La mazarota se separa en el desmoldeo por rotura de la reducción puntiforme, por lo que no hay que contar con trabajos posteriores de separación. En la superficie de la pieza sólo se ve un punto de inyección, cuyo diámetro oscila entre 0.5 y 1.3 mm. Con oportuna colocación, apenas es perceptible este punto, no perjudicando el aspecto de la pieza.

La longitud del canal será adecuada al diámetro, no sobrepasando en ningún caso los 1,3 mm. El canal se ampliará cónicamente hacia el molde. Ello facilita la separación entre pieza y precámara al desmoldear y reduce los esfuerzos en la superficie de entrada, especialmente en piezas de paredes finas.

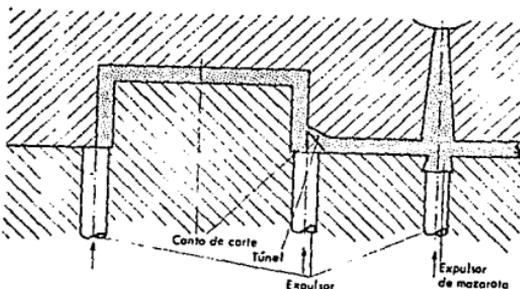
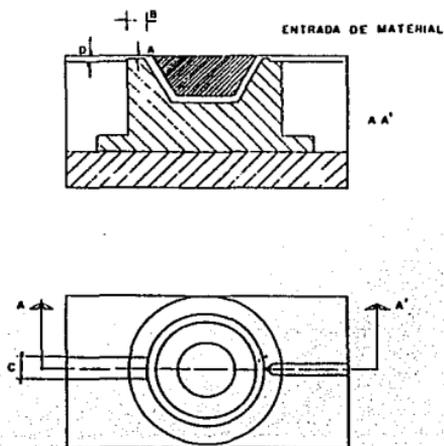


Fig.3.7. Colada submarina puntiforme [5].

### 3.1.2 .- SALIDA DE AIRE DE LOS MOLDES.

Todo molde contiene en las cavidades aire que debe ser removido cuando entra el material plástico. El aire debe de salir libremente durante la inyección. A altas velocidades de inyección, si no se tiene un venteo suficiente, se puede producir una considerable compresión.



		VENTEO DE MOLDES	
MAYORÍA DE TERMOPLÁSTICOS	A = 0.03 MM	A = 0.015 MM	
	B = 3.0 MM	B = 3.0 MM	
	C = 10-12MM	C = 10-12 MM	
	D = 0.2 MM	D = 0.2 MM	

Fig. 3.8. En este esquema se muestran las características recomendadas para el venteo correcto en un molde [10].

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), también, el plástico puede llegar a quemarse e incluso, se pueden llegar a producir explosiones. Por otro lado, si el venteo es excesivo, el plástico fluye por la salida de aire demasiado amplia y se tiene rebaba de plástico en la pieza.

Las salidas de aire se realizan tanto en las 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 figura 3.8 se muestra esquemáticamente el venteo del molde con los valores recomendados.

### 3.1.3 . - SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL MOLDE.

Al efectuar el llenado, se inyecta la masa fundida a elevada presión y gran velocidad en el molde, la masa se adapta a la forma del molde, debiendo entonces disiparse su calor hasta que se solidifique, la pieza sólo puede ser desmoldeada cuando ha adquirido suficiente rigidez.

El enfriamiento es tan importante para la calidad y la rentabilidad, que muchas veces se exige que se tenga en cuenta para iniciar la construcción del molde. La pieza ha de enfriarse uniformemente, partiendo del borde exterior hacia el punto de colada. La mazarota no ha de solidificarse demasiado pronto para que la presión residual actúe durante tiempo suficiente, un ejemplo de un sistema de enfriamiento se muestra en la figura 3.9.

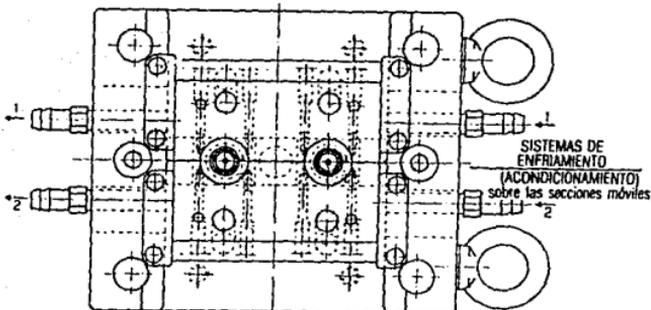


Fig. 3.8. Sistema de refrigeración de un molde lado extractor [6].

Al elegir la temperatura del molde se debe de considerar las exigencias técnicas. Por lo general, las temperaturas elevadas producen:

- buenas superficies (brillo);
- buena fluidez;
- reducido grado de orientación y pocas tensiones;
- pocas grietas de tensión;
- poca contracción posterior;
- largos tiempos de enfriamiento.

Las ventajas económicas obtenidas con tiempos de enfriamiento cortos aportan abundantes desventajas en calidad. Además, hay que tomar en cuenta que los costos del enfriamiento con temperaturas

inferiores al ambiente aumentan a medida que baja la temperatura de las paredes del molde.

La formación de agua de condensación en la pared del molde puede influir también negativamente en la calidad de la superficie cuando la temperatura es muy baja. Así pues, será preciso establecer un criterio razonable en cada caso.

Debido a que el material a inyectar en nuestro molde será polipropileno, las temperaturas recomendados para este material son:

Temperatura de elaboración	180-280°C
Temperatura del molde	0-80°C

El tiempo de enfriamiento depende de la temperatura de la masa, de la temperatura del moldeo, de la temperatura de desmoldeo, de la conductividad térmica del material inyectado y del espesor de pared.

El agente moderador que fluye por los canales de enfriamiento del molde tiene la misión de aportar o disipar calor hasta que se obtiene la temperatura adecuada en la pared del mismo. Además del calor aportado por la masa de donde se obtiene la pieza, el fluido moderador tiene que disipar también la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior del molde y el ambiente, provocando un intercambio de energía en forma de calor. Con temperaturas elevadas del molde, la cantidad de energía disipada hacia el ambiente puede ser superior a la aportada por la masa inyectada. En este caso, el fluido que sirve de agente moderador tiene que aportar calor, a fin de garantizar, en la pared el molde, la temperatura elevada que se requiere; entonces no hay refrigeración de moldeo, sino calefacción. Por ello, en sentido estricto, no son correctas las denominaciones de canales de

enfriamiento y agente refrigerante, sino más apropiadas las de canales y agentes de acondicionamiento de temperatura.

La temperatura del agente de acondicionamiento es muchas veces distinta a la de la pared del molde. El gradiente de temperatura depende de la resistencia a la transmisión y a la conducción térmica en el molde y de la energía a disipar.

La diferencia de temperatura entre el fluido de acondicionamiento y la pared del canal está causada por la resistencia a la transmisión térmica, que depende de las condiciones de flujo y de las propiedades del agente moderador.

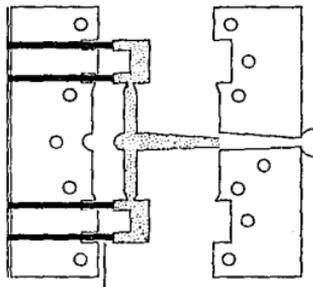
Algunos de los fluidos de acondicionamiento usados son el agua, mezcla de alcohol-agua, salmuera y aceite.

El dimensionamiento correcto de la superficie de los canales de enfriamiento no constituye aún una garantía de distribución homogénea de la temperatura en la pared del molde, para lograr esto, también es necesario que la diferencia entre las temperaturas de entrada y de salida del fluido acondicionador sea menor de 6°C. Si no es posible alcanzar la temperatura de flujo exigida, se puede trabajar eventualmente con varios circuitos.

En la práctica se producen frecuentemente, en los rincones y esquinas, un enfriamiento irregular, ya que, en la parte convexa de dichas aristas, se densifican las isotermas, presentándose una mayor disipación térmica, mientras que en la parte cóncava se separan las isotermas y disminuye el rendimiento del enfriamiento. Como consecuencia de estas condiciones desiguales de acondicionamiento de la temperatura se producen sobre todo tensiones internas en la pieza, que pueden evitarse con una correcta disposición de los canales de enfriamiento.

### 3.1.4 . - EL SISTEMA DE EXPULSION.

El sistema de expulsión más común de las piezas inyectadas alojadas en la cavidad del molde es el de varillas expulsoras, dicho sistema consiste en montar varillas en las placas expulsoras, las cuales, al abrir el molde, son impulsadas por el tope, en contra de las piezas inyectadas (fig.3.10).



Pernos de botado sacando a las piezas de los corazones.

Fig. 3.10. sistema de botado por medio de varillas expulsoras [2].

Otro de los más comunes sistemas de botado es el de placa o arandelas, consiste en hacer que una placa corra sobre los corazones de la cavidad del molde, botando a la pieza de éstos, de forma que el área de contacto entre la placa botadora y la pieza botada sea todo el perímetro de la pieza plástica y así evitar algún daño posible a la pieza (fig. 3.11).

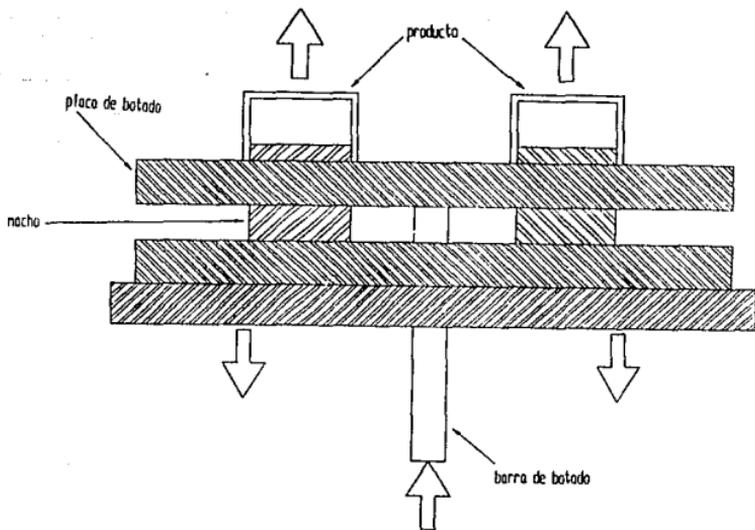


Fig.3.11. Sistema de botado por placa o arandelas.

### 3.2 .- CLASIFICACION DE LOS MOLDE DE INYECCION.

Existen varias clasificaciones de moldes, dentro de cada una de ellas existen subdivisiones y en algunos casos un mismo molde podrá ser clasificado en varias de éstas.

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

## Clasificación de moldes de inyección de plástico.

- |                                                       |                                                                                 |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1.- Por el tipo de inyección.                         | Colada fría.<br>Colada caliente.                                                |
| 2.-Por el tipo de construcción.                       | Tercera placa.<br>De dos placas.<br>Con limitadores.<br>Carros deslizantes.     |
| 3.-Por el tipo de extracción de las piezas moldeadas. | Doble botado escalonado.<br>Pernos botadores.<br>Arandelas.<br>Botado por aire. |
| 4.-Por el sistema de transmisión en caso necesario.   | Husillo.<br>Motor hidráulico.<br>Cremallera.                                    |

### 3.2.1.- CLASIFICACION 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 dos sistemas de inyección que son:

- a) Sistema de colada fría.
  - b) Sistema de colada caliente.
- a) En el sistema de colada fría la masa plástica llega a la cavidad

del molde pasando por un canal en los moldes simples o por un sistema de canales en los moldes múltiples. Estas vías de flujo se llaman canales de distribución y la masa plástica que se solidifica en ellos es llamada mazarota o más comunmente 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 éste sistema de alimentación se tiene el bebedero (tronco de colada) y los canales de estrangulamiento (nervios de colada).

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

b) En el sistema de colada en caliente 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 una pieza grande con varios puntos de inyección.

Existen tres tipos principales de colada caliente, los cuales se describen a continuación:

1.- Utilizando distribuidor de plástico e inyectores.

En este caso se requiere, al igual que en los otros, un módulo eléctrico y/o electrónico de temperaturas tanto para el distribuidor de plástico llamado también cabeza caliente, como para los inyectores.

La placa de la cabeza caliente lleva resistencias, las cuales, mantienen a cierta temperatura a la placa y el número de ellas depende del tamaño de la placa y del número de piezas y del tamaño de éstas.

2.- Utilizando únicamente inyectores.

Se utiliza principalmente cuando es una sola cavidad, ya sea chica

con un sólo inyector o grande con varios distribuidos uniformemente. También requiere de un módulo controlador de temperatura aunque sólo para los inyectores.

### 3.- Utilizando un sólo 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 éste sistema existe la colada como material de desperdicio aunque sin tronco cónico de inyección. Finalmente, este tipo de molde también utiliza un inyector.

### 3.2.2.- CLASIFICACION POR EL TIPO DE CONSTRUCCION.

#### a) Moldes de tercera placa.

Estos moldes se utilizan principalmente cuando se necesita detener la colada y se rompa el punto de inyección para posteriormente botarla del molde (fig.3.12).

#### b) Moldes de dos placas.

Estos moldes tienen en la parte de inyección únicamente dos placas. En caso de tener mesa botadora puede usar pernos o manguitos expulsores; en caso contrario, puede expulsar las piezas mediante arandelas o placas.

#### c) Moldes con pernos limitadores.

Estos moldes tienen pernos limitadores, puede también tener dispositivos como levas o arrastradores de placas que permiten dar la carrera de apertura al molde.

#### c) Moldes de carros deslizantes.

Estos moldes tienen un dispositivo llamado carro deslizante, que

tiene un movimiento perpendicular al de apertura, con el objeto de liberar piezas que no pueden botarse normalmente.

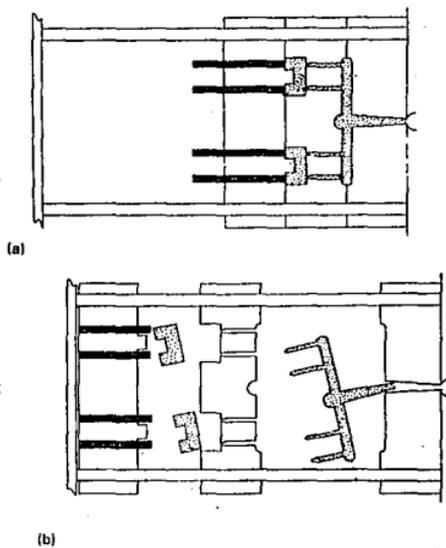


Fig.3.12. Molde de tres placas [2].

### 3.2.3 .- CLASIFICACION POR EL TIPO DE EXTRACCION.

#### a) Moldes de botado escalonado.-

Este tipo de botado se utiliza cuando la geometría de la pieza es complicada o cuando presenta negativos internos, y el botado no puede efectuarse de forma normal, por lo que primero se libera la pieza del molde y luego se bota.

#### b) Botado por pernos expulsores.-

Este sistema requiere una mesa botadora donde se montan los pernos botadores, dicha mesa está compuesta por dos placas una de respaldo y otra de guía para los pernos. La mesa es accionada al abrir el molde por medio de un tope.

#### c) Botado por arandelas y/o placa.-

Consiste en ajustar una arandela con el corazón. A cierta carrera de apertura se acciona la placa botadora y expulsa a las piezas sacándolas de la cavidad.

#### d) Botado por aire.-

Hay ocasiones que en que la pieza no puede ser extraída del molde por ninguna de las tres formas anteriores, por lo que se tiene que recurrir al aire comprimido como medio de botado.

### 3.2.4 .- CLASIFICACION POR EL TIPO DE TRANSMISION.

Cuando la pieza presenta algún tipo de cuerda de estructura frágil o de sección cuadrada que impida el botado de la pieza debido a que ésta pueda dañarse, el molde requerirá de un sistema de transmisión por engranajes que puede ser de varios tipos:

#### a) Botado por husillo.

El botado por medio de husillo consiste en hacer girar un tornillo de rosca pronunciada capaz de girar dentro del molde, y una tuerca de arrastre fija en la máquina, o bien, están ambos elementos montados conjuntamente en el molde.

b) Motor hidráulico.

Consiste en hacer girar los machos por medio de un motor hidráulico que se acciona con la apertura del molde.

c) Cremallera.

Este sistema consiste en transformar el movimiento lineal del molde, en movimiento circular mediante un sistema de piñón-cremallera (fig. 3.13).

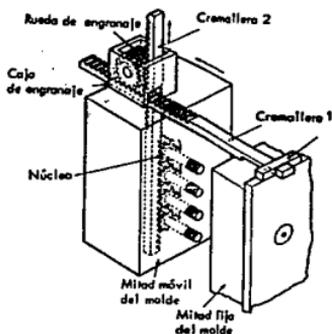


Fig. 3.13. Accionamiento por cremallera para un molde de piezas roscadas [5].

## CAPITULO 4

### DISEÑO TRADICIONAL DEL MOLDE

#### INTRODUCCION.

El diseño en los moldes para inyección de plástico ocupa un lugar de suma importancia en el proceso de fabricación de una pieza plástica inyectada, pero esta tarea no es un trabajo fácil pues el diseñador debe considerar todas las peculiaridades de la pieza a obtener y del proceso que se desarrolla. Si se toma en cuenta todo esto, se pueden garantizar en gran medida buenas características de la pieza inyectada que se desea obtener.

Este capítulo se centra en el proceso de diseño que tradicionalmente ha auxiliado a los diseñadores de moldes para inyección de plástico y del cual se hace uso para el diseño del molde de esta tesis.

#### 4.0 .- CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MOLDES.

Si se cuenta con un buen diseño de molde, las piezas inyectadas tendrán buenas características que cumplirán cabalmente con los requisitos necesarios para su buen desempeño, por el contrario, un mal funcionamiento de un molde puede causar un alto costo en su producción y requerir de una alta inversión de tiempo por parte del personal y puede también disminuir la calidad del producto. Los moldes son herramientas costosas y un pequeño error en el diseño puede ser la diferencia entre un buen molde y uno que requiera de mantenimiento constante, por otro lado, un intento por salvar la herramienta incrementa el costo de manufactura y puede finalizar con la vida del producto por la variación de la calidad.

Al tener un concepto general de la operación de moldeo por inyección, se debe reconocer la importancia del diseño del molde pues éste será sometido a las fuerzas de cierre, botado e inyección, igualmente, se deben considerar las condiciones de inyección en las que intervienen tanto los sistemas de llenado de molde como los parámetros de inyección de la máquina inyectora para obtener ciclo tras ciclo una calidad uniforme del producto; finalmente, es necesario un enfriamiento efectivo del molde.

Es importante señalar que las piezas obtenidas por el proceso de inyección presentan una contracción en sus dimensiones una vez que solidifican, por lo que en el diseño de la cavidad del molde se debe de considerar un factor de contracción para cada tipo de plástico, para nuestro caso, el polipropileno cuenta con un factor del 2%, es decir, a las dimensiones nominales de la pieza se les debe agregar un 2% de su tamaño en todas sus dimensiones y así maquinarse una cavidad de la que se pueden obtener piezas con el tamaño adecuado.

#### 4.1 .- PASOS DEL PROCESO DE DISEÑO.

El punto de partida para el diseño del molde son los datos que obtenemos de la pieza que se requiere inyectar: el material de ésta, sus dimensiones, la productividad y el número de cavidades del molde, esta información generalmente es aportada por el cliente que desea el molde, pero si no es así, se debe calcular cuál es el número de cavidades óptimas para cada molde, esto depende tanto de la capacidad de la máquina inyectora que se usará como también del análisis económico.

Con la información anterior, se debe de seleccionar un sistema de enfriamiento (también conocido como sistema de refrigeración o de acondicionamiento), botado e inyección que cumplan correctamente con

su función, se deben generar varias posibles configuraciones del molde jugando con la distribuciones hasta encontrar la solución adecuada, si el diseño inicial se ve alterado por esta decisión es necesario corregirlo de tal forma que se tenga un funcionamiento correcto, es importante hacer notar que en el diseño que se pretende realizar se debe de tomar en consideración la manera en que el molde será maquinado, por lo que en todo momento se debe definir la forma en que cada pieza será fabricada, tratando de que este proceso sea factible. El siguiente paso es calcular las dimensiones de los canales de la colada, los cuales, de ser muy estrechos no podrán llenar la cavidad y, por el contrario, de ser muy amplios, elevarán el costo de la pieza por desperdicio de material, la longitud de los canales debe ser lo menor posible, procurando que todos los canales de distribución tengan la misma longitud; enseguida se calcula la presión de inyección necesaria para llenar la cavidad, después de esto, se procede a calcular los espesores de pared del molde para soportar las presiones de inyección, también es necesario conocer la fuerza de cierre necesaria para poder mantener cerrado el molde durante el período de inyección y verificar si el molde es capaz de resistir esta fuerza, de no ser así se debe de modificar la distribución del molde o en caso extremo diseñar un nuevo prototipo; el siguiente paso es una selección final de las piezas que formarán parte del molde, como son: sistemas de botado y sistemas guía, contando con todo lo anterior, se optimiza distribución de las cavidades y se seleccionan las dimensiones de placas ajustándose a estándares dados por las marcas distribuidoras tales como HASCO, DME, etc. [12].

Es importante señalar que el proceso mostrado es flexible dado que en cada caso pueden ocurrir situaciones particulares para los cuales el diseñador debe de encontrar una solución acorde a sus necesidades, sin embargo, el procedimiento mostrado puede ser una valiosa ayuda

PASOS PARA EL DISEÑO DEL MOLDE POR EL METODO TRADICIONAL.

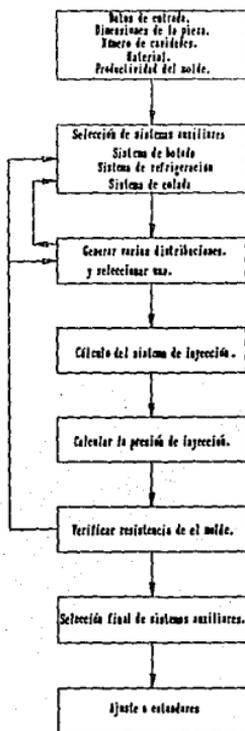


Fig. 4.1. Diagrama que representa el proceso tradicional de diseño de moldes de inyección de plásticos.

para diseñadores inexpertos. En la figura 4.1 se representa gráficamente el proceso tradicional de diseño.

A continuación se presentan de forma más detallada los pasos que se siguieron en el diseño del molde de tapas de Pepsilindro.

#### 4.2 .- DISEÑO DEL MOLDE.

El molde debe de contar con dos cavidades, como ya se mencionó, se deben lograr por lo menos tres ciclos por minuto, el material a inyectar es polipropileno, el botado de las piezas y su separación de las venas de inyección debe ser de forma automática.

Estos son los requerimientos que debe cumplir el molde, los cuales varían según el caso.

##### 4.2.1 .-PARAMETROS DE PARTIDA.

Como ya se mencionó, el proceso de diseño empieza a partir de las dimensiones de la pieza, el material de que está compuesta y el número

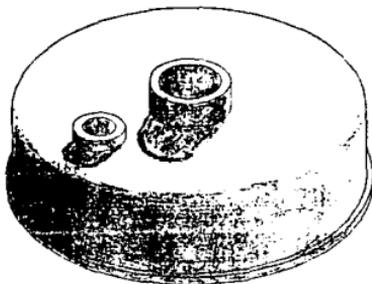


Fig. 4.2. Tapa de Pepsilindro.

de cavidades del molde a inyectar, para el presente caso, las de la tapa de Pepsilindro que se muestran en la figura 4.2.

Para tener una mejor visión en el diseño del molde se empezó por hacer bosquejos de los diseños probables, distribución de las cavidades, sistemas de enfriamiento y de botado, composición de la cavidad, sistema guía, número de placas que forman el molde, tipo de canales de inyección y sistemas de sujeción para cada pieza del molde, todo esto con el fin de tener una distribución aproximada de lo que será el molde.

#### 4.2.2. - SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

Debido a la forma de la pieza, el sistema de refrigeración requiere ser circular para que enfríe las paredes de la pieza de manera que se formen isoterma alrededor de la pared de la pieza [5].

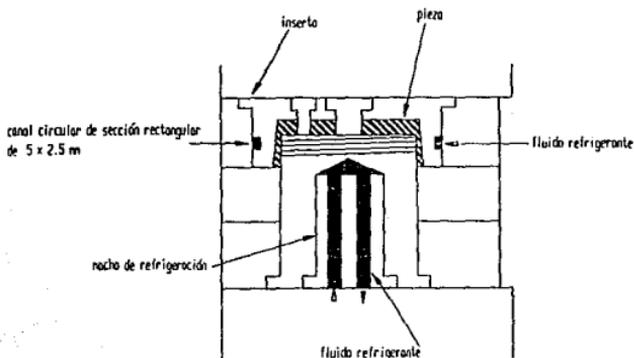


Fig.4.3.Sistema de enfriamiento del molde.

por lo que se pensó en hacer un canal de enfriamiento de forma circular alrededor de la pieza a inyectar. Una buena solución para lograr maquinarse este canal, es usar un inserto circular en la placa de cavidades, dentro de este inserto se maquina la cavidad para así poder hacer un canal circular en la parte exterior de éste (fig. 4.3.). Otra de las ventajas de colocar un inserto en lo que es la cavidad del molde es que después de mucho uso o algún accidente, la cavidad puede dañarse y por consiguiente la calidad del producto, así, para solucionar el problema no es necesario cambiar el molde sino sólo sustituir el inserto. El sistema de refrigeración cuenta con dos circuitos, uno que se encarga de enfriar las paredes laterales de la tapa y otro de la parte superior de la misma, en esta parte del sistema el fluido refrigerante entra al macho de moldeo por medio de otro macho insertado concéntricamente en éste.

#### 4.2.3.- SISTEMA DE BOTADO.

Para el sistema de botado se pensó originalmente en usar un sistema típico de espigas botadoras, pero este sistema tenía un inconveniente: las espigas de botado podrían dañar a la pieza debido a que el área de botado que tiene la tapa es muy pequeña lo que provoca que la pieza pueda dañarse, por esto se decidió usar para el sistema de botado una placa que expulsa a las piezas de los machos (fig. 4.4), es importante mencionar que a pesar de que la pieza cuenta con una cuerda, ésta no será desenroscada debido a que la cuerda de la tapa es de sección semicircular, la cual permite el botado.

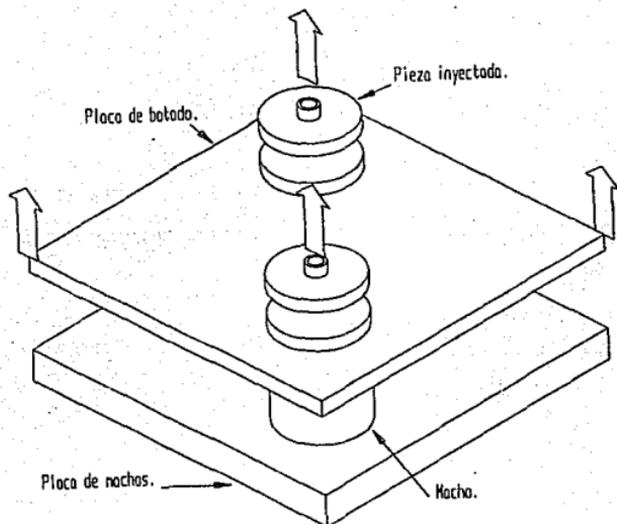


Fig.4.4.Sistema de botado por medio de placa.

#### 4.2.4 .- SISTEMA DE LLENADO.

Para el sistema de llenado se seleccionó el puntiforme de colada submarina, este sistema (como ya se mencionó) efectúa automáticamente la separación de la pieza y los canales de colada [5].

Después de varios diseños finalmente se escogió uno en el que se tienen a las 2 cavidades dispuestas de forma transversal en la placa de cavidades; el molde consta de cinco placas, la placa de cavidades y su placa de respaldo, placa de botado, placa de machos y su placa de respaldo (fig. 4.5).

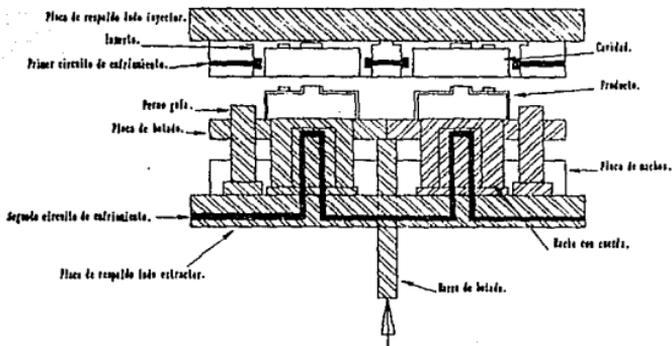


Fig. 4.8. Pre-diseño del molde.

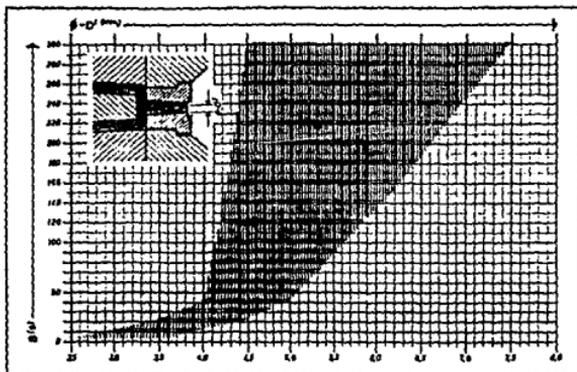
#### 4.2.5. - CALCULOS.

Una vez que se terminó el pre-diseño, el paso siguiente fué hacer los cálculos para optimizar las dimensiones de cada parte del molde.

Primeramente se seleccionó un material que cumpliera con nuestras necesidades tanto económicas como técnicas, así, el material seleccionado fué un acero AISI 1035 sin tratamiento térmico, tomando ésto como base, se recurrió primeramente a los cálculos hechos de forma tradicional en los cuales se usan tanto tablas como fórmulas empíricas y teoría de mecánica de materiales.

#### 4.2.5.1.- SISTEMA DE LLENADO.

La pieza a inyectar pesa 10.3 grs., con este peso y usando las gráficas 4.1 Y 4.2 calcularemos el diámetro del bebedero, de los



Gráfica 4.1. Diagrama para determinar la amplitud del diámetro de acceso en bebederos cónicos, en relación con el peso de la pieza.

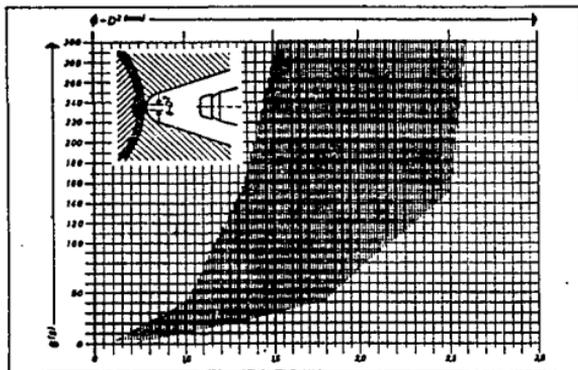
$G$  = peso de la pieza en g.  $D$  -  $D_1$  = diámetro de entrada del bebedero cónico en mm [6].

canales de llenado y la amplitud de la colada puntiforme que llenara las cavidades del molde.

Para el sistema de colada se seleccionó el puntiforme de colada submarina para que la pieza se separe automáticamente de los canales de colada sin necesidad de hacer un trabajo manual de separación y así no incrementar el costo del producto.

Como el molde constará de dos cavidades el peso total a inyectar será de 20.6 grs., y usando la gráfica 4.1 obtenemos el valor de 3.5 mm para la entrada del bebedero.

Para los canales de llenado usando un peso de 10.3 grs., obtenemos un diámetro de 3.3 mm.



Gráfica 4.2. Diagrama para determinar la amplitud del diámetro de acceso del bebedero puntiforme, en relación con el peso de la pieza.  $G$  = peso de la pieza en g.  $\emptyset - D_2$  = diámetro de entrada del canal puntiforme en mm [6].

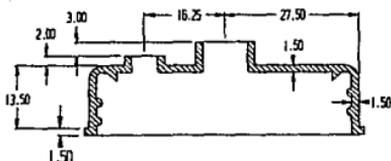
Para calcular el diámetro de la colada puntiforme usamos la gráfica 4.2 y tomando como peso de la pieza 10 grs., calculamos un valor de 0.8 mm.

#### 4.2.5.2.- PRESION DE INYECCION.

El siguiente paso fué calcular la presión necesaria para llenar la cavidad mediante el uso de gráficas [10]. Esta presión es muy importante debido a que si el resultado del cálculo es menor a lo que

se requiere, la cavidad no llenará y si es mayor, el plástico puede quemarse o presentar deformaciones, también puede haber dificultades en cuanto a la fuerza de cierre pues si ésta es menor que la generada por la presión de inyección, el molde se abrirá durante la inyección.

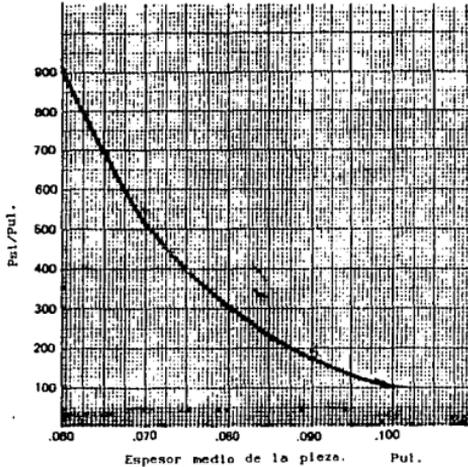
En la figura 4.6 se muestra un corte transversal de la pieza a inyectar para obtener el valor de dicha presión. Es necesario tener conocimiento de la longitud máxima de la pieza así como de su espesor medio pues de estos parámetros depende los cálculos tradicionales. A continuación se presenta el procedimiento de cálculo.



Corte de la tapa.  
(cot. mm)

Fig.4.6. El espesor medio de la tapa, como se ve en la figura, es de 1.5 mm.

De la gráfica 4.3 se obtiene la presión necesaria para llenar la cavidad teniendo como dato de entrada el espesor medio de la pieza y este valor se multiplica por la longitud máxima de recorrido del plástico.



Gráfica 4.3. Curva para calcular la presión necesaria para llenar una cavidad desde el punto de inyección hasta el punto más lejano a éste. [10].

De la figura 4.6 se obtienen los siguientes datos:

Longitud de recorrido del plástico = 93.7 mm (3.7")

Espesor medio = 1.5 mm (0.06")

Con el espesor de 0.06" entramos a tablas y encontramos el valor de 910 Psi/Pul.

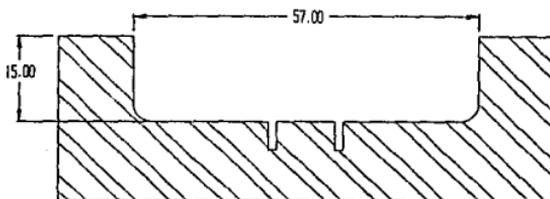
La presión total la obtendremos de la siguiente manera:

$$P = 910 \cdot 3.7 = 3366 \text{ Psi (23.22 MPa.)}$$

Este es el valor de la presión necesaria para llenar la cavidad obtenido mediante tablas y será el valor de la presión que tendrá que soportar el molde.

#### 4.2.5.3. - ESPESOR DE PARED PARA LAS CAVIDADES.

Una vez que se calculó la presión de inyección necesaria para llenar la cavidad del molde, necesitamos saber cuál es el espesor mínimo de pared de el inserto circular para que éste pueda resistir los esfuerzos a que es sometido (fig 4.7).



Sección del inserto.

Acot. mm

Fig.4.7.Inserto circular.

Partiremos del hecho de que el material a utilizar será un acero 1035 rolado en frío. La deformación máxima permitida es de 0.001".

Mediante la fórmula para deflexión de un inserto circular con restricción en el fondo según D. V. Rosato [4] es la siguiente:

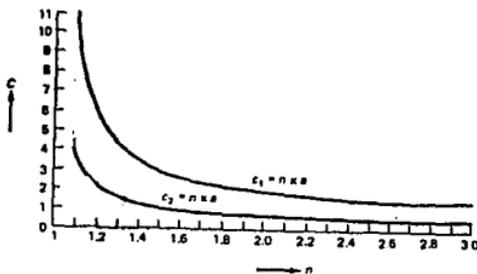
$$d = P \cdot a \cdot C_1 / E \quad \text{Ec. 4.1 [4]}$$

Donde  $d$  es la deflexión,  $P$  es la presión a la que es sometido el incerto,  $a$  es el radio de la cavidad,  $C_1$  es un factor a obtener, finalmente,  $E$  es el módulo de elasticidad de el material del que está hecho el incerto, en nuestro caso, el del acero.

Despejando de la ec. 4.1 a  $C_1$  tenemos:

$$C_1 = d \cdot E / P \cdot a \quad \text{Ec. 4.2}$$

En la gráfica 4.4 se muestran las curvas para la obtención de un factor denominado  $n$ , el cual se obtiene una vez calculado  $C_1$ . La gráfica muestra dos curvas, la  $C_1$  y la  $C_2$ , la  $C_2$  se usa sólo en el caso en el que la profundidad de la cavidad sea igual que el radio de ésta.



Gráfica 4.4. Esta gráfica nos sirve para poder obtener el factor  $n$  necesario para calcular el espesor de la pared de los inertos circulares. La curva  $C_2$  sirve sólo en el caso que el radio de la cavidad sea igual que la profundidad de ésta [4].

Sustituyendo valores en la ec. 4.2 obtenemos :

$$a = 57\text{mm}/2 = 28.5 \text{ mm} = 1.122''$$

$$E = 3066 \text{ Psi/pul}^2$$

$$P = 3368 \text{ Psi.}$$

$$d = 0.0006 \text{ pul.}$$

$$C_1 = 0.0006 * 3066 / 3368 * 1.122$$

$$C_1 = 4.766$$

De la gráfica 4.4 obtenemos para este valor de  $C_1$  una  $n$  de aproximadamente 1.34. Este será el coeficiente que multiplicará al radio de nuestra cavidad. Así, tenemos :

$$R = n * a \quad \text{Ec. 4.3 [4]}$$

donde  $R$  será el radio exterior del inserto.

$$R = 1.34 * 1.122 = 1.5''$$

el espesor de la pared del inserto será :

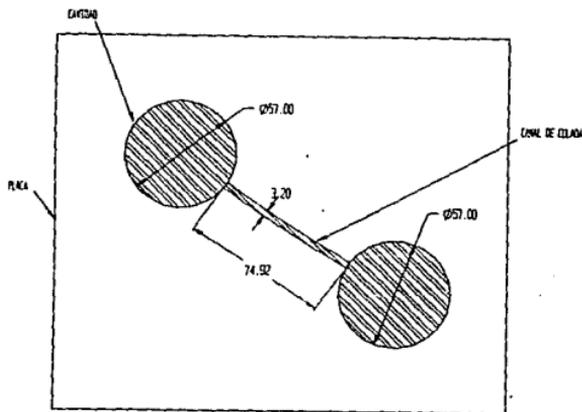
$$\text{Esp} = R - a$$

$$\text{Esp} = 1.5 - 1.122 = 0.38'' \text{ (9.68 mm)}$$

Este es el espesor mínimo de pared que se obtiene mediante cálculos tradicionales. Esto quiere decir que el espesor podría ser aumentado pero nunca disminuido.

#### 4.2.5.4 .- FUERZA DE CIERRE.

Con la presión de inyección obtendremos la fuerza de cierre ( $F_c$ ), necesaria para que el molde no se abra al momento de inyectar. Dicha fuerza se obtiene multiplicando la presión de inyección por el área proyectada en la dirección de apertura del molde de las cavidades y de los canales de distribución. En la figura 4.8 se muestra una ilustración aproximada de la distribución que tendrán las cavidades en las placas del molde.



Acot. mm

Figura 4.8. Distribución aproximada de las cavidades en el molde de inyección y de sus canales de distribución.

De la figura 4.6 obtenemos una área aproximada de  $0.005354 \text{ m}^2$ .

$$F_c = \text{Presión de inyección} \cdot \text{Área proyectada} \quad \text{Ec. 4.4} \quad [10]$$

$$F_c = 23.22 \text{ MPa} \cdot 0.005354 \text{ m}^2$$

$$F_c = 124324.5 \text{ N}$$

Esta es la fuerza necesaria para mantener cerrado al molde durante la inyección pero para asegurar que esta fuerza mantendrá cerrado al molde habrá de multiplicarse por un factor de seguridad de 1.5 por lo que la fuerza será finalmente de:

$$F_c = 186486.75 \text{ N}$$

#### 4.2.5.5 .-RESISTENCIA DEL MOLDE A LA FUERZA DE CIERRE.

La resistencia a la compresión del material de que están hechas las placas (1035 rolado en frío) es de 196 MPa, por lo que el área mínima de contacto de las placas que soportan dicha fuerza de cierre se obtiene de la ec 4.5.

$$A = F/\sigma \quad \text{Ec. 4.5} \quad [10]$$

donde:

-A es el área mínima necesaria para resistir la fuerza de cierre [ $\text{m}^2$ ].

-F es la fuerza de cierre [N].

- $\sigma$  es la resistencia a la compresión del material del que está hecho el molde [MPa]

$$A = 186486.75 / 196 = 0.000951$$

El resultado anterior nos muestra que para soportar la fuerza de cierre se necesitan 9.51 centímetros cuadrados de área de contacto, es decir, que con la sola área de superficie de contacto que presentan los insertos, es suficiente para soportar la fuerza de cierre pero, además de ésta área de contacto, también se contará con el área de la placa de cavidades en la que se alojarán los insertos por lo que está garantizada la resistencia del molde a la fuerza de cierre.

#### 4.2.5.6 .- PERNOS GUIA.

El diseño de los pernos guía parte de el peso que tienen que soportar de las placas que corren sobre éstos, para nuestro caso es solo la placa que conforma el sistema de botado. La deflexión máxima permitida es de 0.001 pulgadas.

$$\text{Deflexión} = W L^3 / 3E (1/4) \pi r^4 \quad \text{Ec.4.6.}[10]$$

Donde W es el peso de las placas que corren libres por el perno, L es la longitud del perno, E es el módulo de elasticidad del acero y r es el radio del perno.

Peso de la placa soportada (placa botadora): 8Kg

Longitud de los pernos: 3 Pul.

Módulo de elasticidad del acero: 30 ES lb/pul<sup>2</sup>

Despejando r de la ec. 4.6 tenemos:

$$r = \{ 4 W L^3 / D E \pi \}^{1/4} \quad \text{Ec. 4.7}$$

Repartiremos el peso de la placa en 4 partes por ser 4 pernos:

$$W=17.8/4 = 4.45 \text{ lb}$$

Sustituyendo valores y haciendo coherentes las unidades tenemos:

$$r = [4 (4.45)(27)/3 (30E6)(0.001) \pi]^{1/4}$$

$$r = 0.20 \text{ pul.}$$

El perno comercial más delgado es de 3/4 de pulgada por lo que si ponemos 4 pernos estarían muy sobrados, una opción para que los pernos estén más justos es reducir el número de ellos, también se reducirá el costo del molde y el tiempo de maquinado.

Si el número de pernos es de 2 el radio mínimo es de:

$$r = 0.25 \text{ pul.} = 0.5 \text{ pul. } \phi$$

Por lo anterior usaremos sólo dos pernos de 3/4 de pulgada de diámetro.

Todo lo anterior representa los cálculos tradicionales para obtener las dimensiones óptimas de los elementos de nuestro molde. Gran parte de las dimensiones de las piezas (como el tamaño de las placas) fueron seleccionadas de forma que cumplieran con las características geométricas del molde, pero estas se ajustan a finalmente a las especificaciones comerciales [11, 12].

## CAPITULO 5

### DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA

#### INTRODUCCION.

Anteriormente, muchos de los problemas ingenieriles no contaban con una solución adecuada debido a la gran complejidad de éstos y a las pocas herramientas disponibles, a esto se debe que muchos de los diseños, incluso de hoy, sean producto de técnicas de prueba y error practicadas por especialistas en la materia. En la actualidad existe un gran crecimiento sostenido de la industria del plástico que ha sido acompañado de un crecimiento en la comprensión de los polímeros y cómo reaccionan a los cambios de los parámetros de los procesos. Los resultados han contribuido a un desarrollo de la tecnología que pueda explicar los fenómenos. Las reglas actuales que gobiernan los diseños están basadas en sofisticadas herramientas de análisis usadas en poderosas computadoras que permiten mayor velocidad, productividad, exactitud y calidad en el diseño.

En el presente capítulo se hará uso de paquetes especializados para tratar de mejorar o complementar al diseño tradicional realizado en el capítulo anterior, para así, poder evaluar el desempeño de las nuevas herramientas que ha generado el actual desarrollo computacional.

#### 5.0 .- DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA.

La computación ha crecido hasta convertirse en una parte fundamental en todas las ramas de la vida cotidiana, esto se ha ido acentuando en los últimos años, hasta ser una poderosa herramienta en el diseño.

El diseño asistido por computadora (CAD) envuelve a todo tipo de actividades las cuales hacen uso de computadoras para el desarrollo, análisis o modificación de algún diseño ingenieril. Los sistemas modernos de CAD están basados en graficación interactiva por computadora (IGC). Las gráficas interactivas por computadora denotan a un sistema dirigido al usuario en el cual la computadora es empleada para crear, transformar y desplegar información en forma de imágenes o símbolos. El usuario de los sistemas de diseño por computadora es el diseñador, el cual comunica, por medio de comandos, la información a la computadora usando algún dispositivo de entrada de información (teclado, ratón, etc.). La computadora se comunica con el usuario mediante el despliegue gráfico en la pantalla. El diseñador crea una imagen en la pantalla por medio de comandos que llaman a la subrutina deseada del software almacenada en la memoria de la computadora. En la mayoría de sistemas la imagen es construida por medio de elementos geométricos básicos: puntos, líneas, círculos y otros. Todo esto puede ser modificado según la necesidad del diseñador: escalar, mover a otro lugar en la pantalla, rotar y otras transformaciones, así a través de todas estas formas de manipulación se pueden lograr todos los detalles requeridos en la imagen. Ejemplos de este tipo de sistemas son: CADKEY y AUTOCAD.

#### 5.1 .- INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE) EN EL DISEÑO DE MOLDES DE INYECCION DE PLASTICO.

La óptima productividad y los cortos tiempos de producción son requeridos para ser competitivos en el moldeo por inyección. La competitividad en una economía global provee de nuevos incentivos para hacer cualquier proceso de manufactura tan productivo como sea posible. Numerosas operaciones, en lo que respecta a crear productos

de plástico, se llevan al cabo consumiendo mucho tiempo de ingeniería al resolver problemas, ocasionando un retraso en la entrega del producto al consumidor.

La complejidad del proceso de moldeo por inyección hace difícil que la producción sea satisfactoria en el primer intento. La combinación de un material de moldeo viscoelástico, una geometría irregular, gradientes de temperaturas y el dimensionamiento de tolerancias hacen del diseño de moldes una prueba difícil aún para reconocidos expertos. El proceso de auxilio de la computadora en los moldes de inyección ha sido desarrollado y aceptado por la industria para mejorar la productividad, mejorando la calidad y acortando los tiempos de producción.

Los procedimientos matemáticos sobre las operaciones con polímeros no son nuevos pero la reciente proliferación de poderosas computadoras han originado cambios importantes en el desarrollo y uso de técnicas. Esto ha tenido un significativo incremento en el tamaño y la sofisticación de las soluciones para hacerlo económicamente rentable, y se han creado algoritmos para ayudar a los ingenieros especialistas en polímeros y diseñadores. En pocos años, el uso de las computadoras se hizo tan común en las industrias de procesos como las calculadoras de bolsillo.

A la par con el auge computacional se desarrollaron paquetes sofisticados para el auxilio de la ingeniería comúnmente conocidos como sistemas CAE que facilitan las tediosas tareas de cálculo, incrementando las herramientas disponibles originando con esto un aumento en la rapidez de solución de problemas y en la confiabilidad de resultados.

Los moldes de inyección son una excelente aplicación para los paquetes CAE pues es un campo donde existen expertos y donde la dedicación excede de lo amateur, para ello existen varios tipos de

paquetes comerciales de CAE especiales para el moldeo por inyección. Los programas más populares son MOLDFLOW y C-FLOW para llenado de moldes debido a la complejidad del proceso, incluso para un experto diseñador. El flujo de un polímero viscoelástico dentro de una cavidad de geometría complicada, manteniendo una temperatura relativamente baja en las paredes del molde, es un proceso complicado de analizar por métodos comunes, es aquí donde los paquetes para CAE pueden ayudarnos en la solución de problemas de procesos; dentro de otros campos, la Ingeniería Asistida por Computadora nos permite analizar los esfuerzos a que es sometida una pieza de complicada geometría que resulta difícil por un método tradicional, pero, también existen paquetes capaces de realizar análisis estructurales, los hay también para análisis dinámico, de transferencia de calor, etc.

Todas estas herramientas pueden auxiliarnos para lograr un buen diseño pero, sin lugar a duda, la parte más importante para el diseño es el diseñador que debe de implementar correctamente los elementos que estén a su alcance.

## 5.2 .- DISEÑO.

Con la información obtenida en el capítulo anterior se procedió a dibujar al molde mediante el uso de un paquete llamado CADKEY con el que se pudo visualizar en 3D la forma aproximada que tendría el molde, en esta parte del diseño se generó una distribución adecuada de las piezas del molde: las cavidades se movieron para disminuir la longitud de los canales de inyección logrando así, un menor desperdicio de plástico y tamaño de molde, se seleccionó un manguito del bebedero de 19.05 mm de  $\phi$  que no interfiere con las otras piezas, ver fig. 5.1.

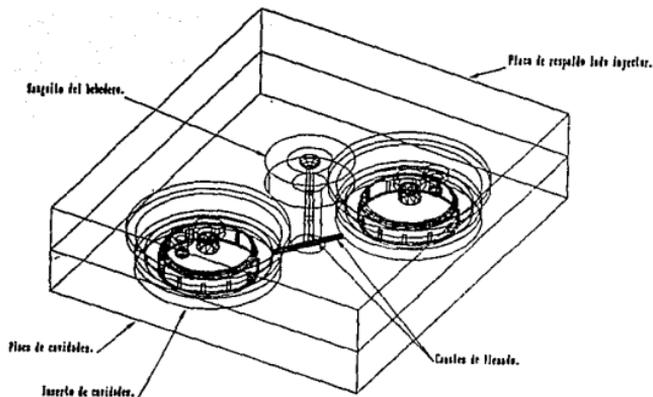


Fig.5.1. Dibujo que muestra parte del molde en donde se pueden visualizar las posibles interferencias entre piezas.

El siguiente paso es optimizar las dimensiones calculadas en el capítulo anterior, usando paquetes de análisis por elemento finito para analizar el sistema de llenado y poder calcular los diámetros óptimos para el buen llenado de las cavidades ya que si no se calculan correctamente puede haber desperdicio de material y un extenso tiempo de enfriamiento si las venas de colada son muy gruesas, y por el contrario, si las venas son estrechas, la cavidad no llenará a tiempo y producirá un enfriamiento disparado creando líneas de flujo, malas uniones y deformaciones en la pieza. También se usan para verificar el

correcto flujo del plástico dentro de las cavidades y determinar si la posición del punto de inyección es correcta, las presiones que se generan dentro del sistema de llenado son analizadas y utilizadas para cuestiones de análisis de esfuerzos, también se obtienen tiempos de enfriamiento de la pieza y de llenado de las cavidades tanto instantáneo como final.

Para el cálculo de los espesores óptimos de pared de las cavidades, que deben soportar la presión de inyección, se usó el paquete llamado NISA /DISPLAY III.

#### 5.2.1 .-ANÁLISIS POR ELEMENTO FINITO.

En esta sección se realizaron varios análisis por medio de paquetes de elemento finito con el fin de tratar de optimizar el diseño del molde y poder concluir acerca de su utilidad.

##### 5.2.1.1 .-ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LLENADO.

El primer paso fué verificar el sistema de llenado, para lo cual se hizo uso del paquete de análisis por elemento finito "MOLDFLOW", el cual nos proporciona información referente a gradientes de presiones, de tiempo de llenado, de temperatura al final del llenado.

Para comenzar el análisis a fin de encontrar las dimensiones óptimas, se partió de los cálculos del sistema de llenado hechos en el capítulo anterior.

Se modeló la cavidad con el sistema de llenado en tres dimensiones, el modelado de la tapa incluyó la entrada del popote y la válvula compensadora de aire.

Una vez que todos los parámetros fueron establecidos y fué modelado el sistema de inyección, se procedió a simular la inyección

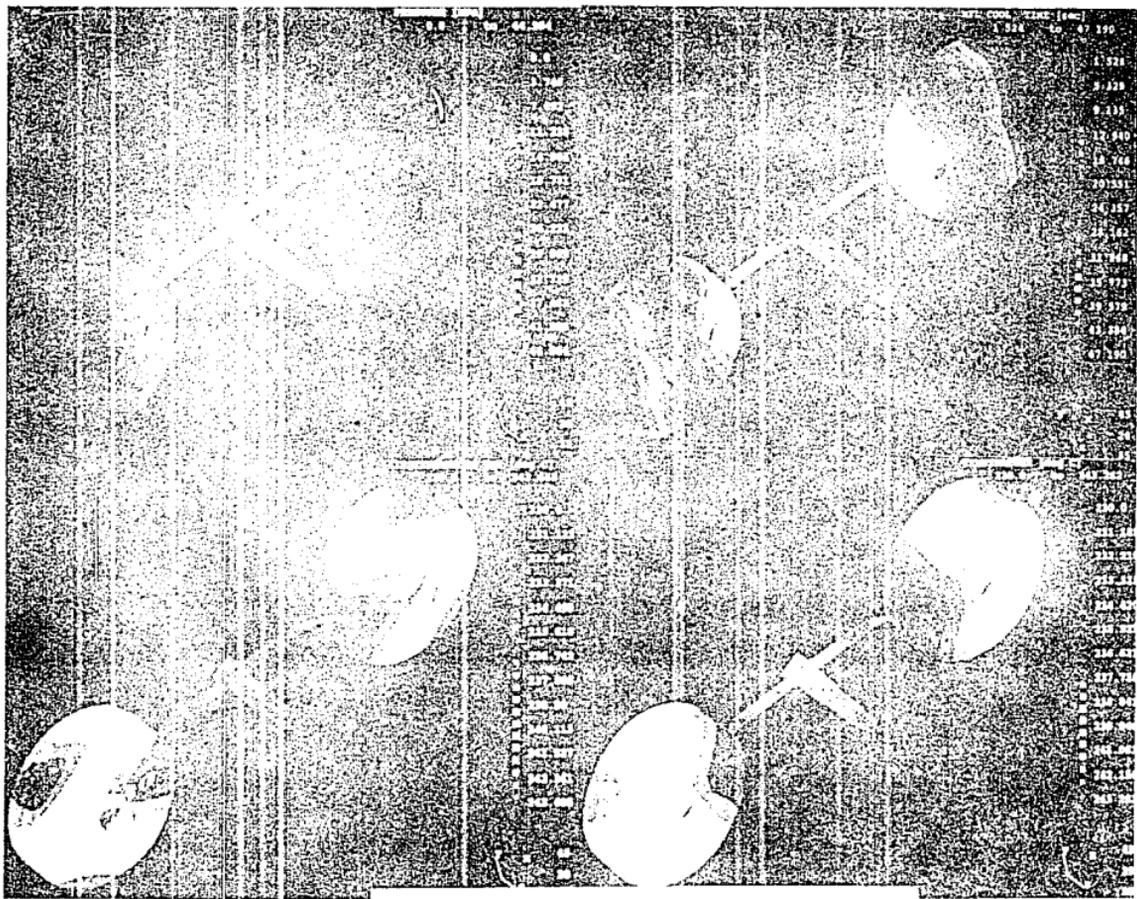
usando como material a inyectar al polipropileno con una temperatura del molde de 20°C usando una temperatura de inyección del plástico de 200°C y un tiempo de inyección de 0.8 segundos, a la mazarota de la colada se le dió un ángulo de salida de 2°.

En un primer análisis se obtuvieron resultados no satisfactorios debido a que la masa inyectada tenía un tiempo de solidificación de 47 segundos, este tiempo resulta demasiado largo debido a que una de las restricciones fijadas al diseño del molde era la de obtener, por lo menos, tres ciclos por minuto por lo que este largo tiempo de llenado no resultó adecuado, sin embargo, los canales de distribución y los puntos de colada se comportaron correctamente por lo que sólo se modificaron las dimensiones de la colada del bebedero.

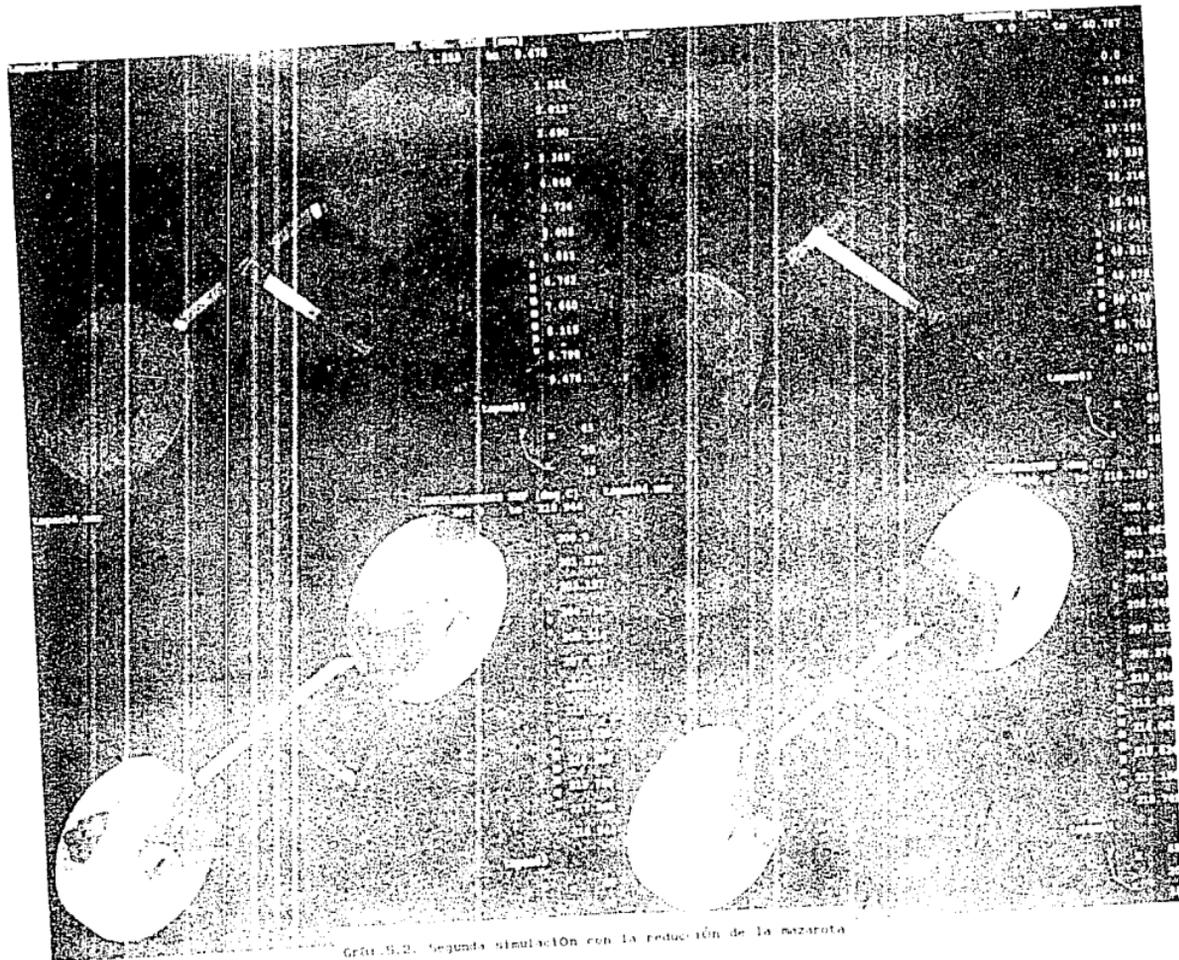
De las gráficas obtenidas con el uso del paquete MOLDFLOW (Gráf.5.1) se puede observar que la parte que más tarda en enfriarse es la base de la mazarota, esto se debe a que ésta es la parte de mayor espesor, por esto es que fué necesario hacer una modificación en el canal principal de llenado de forma que se pudiera reducir el tiempo de enfriamiento. Para dar solución a éste problema se redujo el espesor de la parte que más tardaba en enfriar, por lo que se redujo el diámetro de la mazarota, su ángulo de salida y su longitud.

La mazarota se recortó en su rebozadero en dos milímetros y el ángulo de salida se cambió de dos a un grado para que la parte baja de la mazarota fuera más delgada que en el modelado anterior.

En la siguiente simulación se adoptaron los cambios mencionados y los resultados obtenidos de este análisis resultaron ser satisfactorios pues el tiempo de enfriamiento se redujo hasta 9.47 segundos que en comparación con los 47 segundos de la primera simulación resultan ser casi la quinta parte del tiempo de enfriamiento, esto se puede ver en la gráfica 5.2.



Gráf. N. 1. Primera simulación del flujo de proyectil en el modelo.



Gráf. 5.2. Segunda simulación con la reducción de la mazarota

El tiempo calculado cumple con las exigencias de funcionamiento que se fijaron con anterioridad. Ciertamente, con el cambio de las dimensiones de la mazarota de llenado se modificaron otros parámetros como lo es la presión de inyección, pues ésta crece, pero considerando el aumento en la productividad del molde, se decidió adoptar esta modificación.

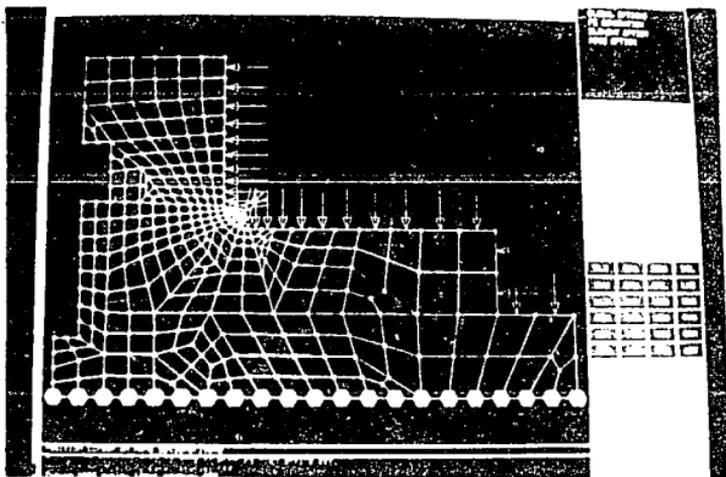
#### 5.2.1.2 .-ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS CAVIDADES DEL MOLDE.

La gráfica 5.2 muestra que la presión máxima que se presenta dentro de la cavidad es de alrededor de 22.7 MPa. que es una presión casi igual a la calculada mediante gráficas (23.22 MPa) en el capítulo anterior.

A partir de este dato podemos comenzar a realizar el análisis de esfuerzos en las cavidades para determinar el espesor de los insertos mediante el paquete de elemento finito llamado NISA/DISPLAY III.

Como ya se mencionó, la deformación máxima permitida es de 0.001 pulgadas, siendo la restricción en la que basó el análisis.

El siguiente paso fué modelar el inserto, usando elementos finitos axisimétricos, pues de esta manera se facilita el análisis ya que no se tiene que hacer una representación en tres dimensiones, puesto que el comportamiento estructural de la pieza es el mismo en forma radial, y así ahorrar tiempo de diseño y procesamiento. El modelo puede verse en la gráfica 5.3 donde se muestra la distribución de la presión de inyección que es perpendicular a cada elemento de la malla, las restricciones en el modelo se encuentran en el fondo del inserto que está fijo en todas direcciones indicado en la gráfica por los exágonos.



Graf. 5.3. Modelado del inserto de cavidades donde las flechas denotan la presión (22.7 MPa) con la que se realizó el análisis..

En el primer análisis se realizó con el espesor de pared de .393" (10 mm) calculado en el capítulo anterior y usando un acero AISI 1035.

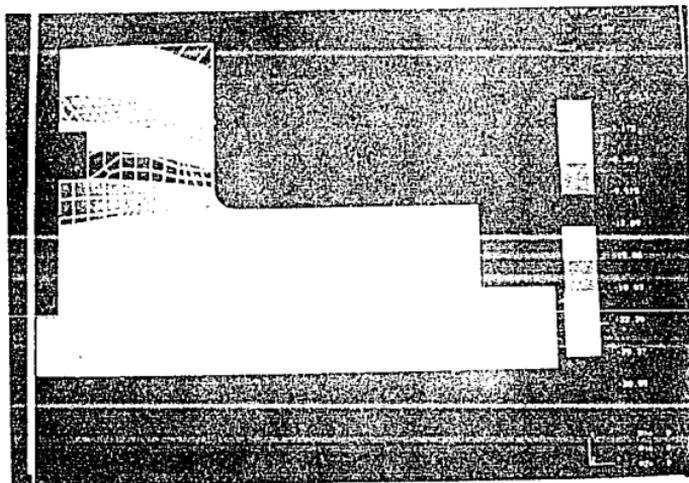
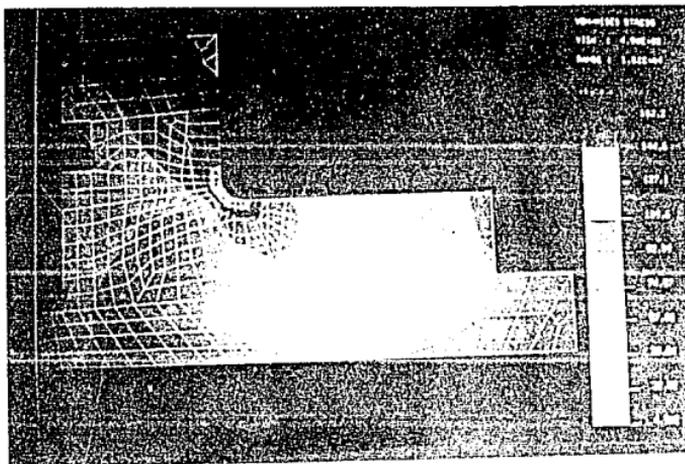
Como se puede ver, la deformación máxima que presentó el inserto fué de 0.00028 pulgadas, dicha deformación resulta pequeña

comparandola con la deformación máxima permitida que es de 0.001 pulgadas; por lo que respecta a los esfuerzos, el esfuerzo máximo fué de 16 200 lb/in<sup>2</sup> y el material utilizado para maquinarse las cavidades es capaz de soportar 30 000 lb/in<sup>2</sup> por lo que la pieza resiste satisfactoriamente teniendo un factor de seguridad de 1.85.

Por todo lo anterior podemos afirmar que el inserto puede ser disminuido en sus dimensiones trayendo como consecuencia la reducción de las dimensiones del molde con las ventajas mencionadas con anterioridad.

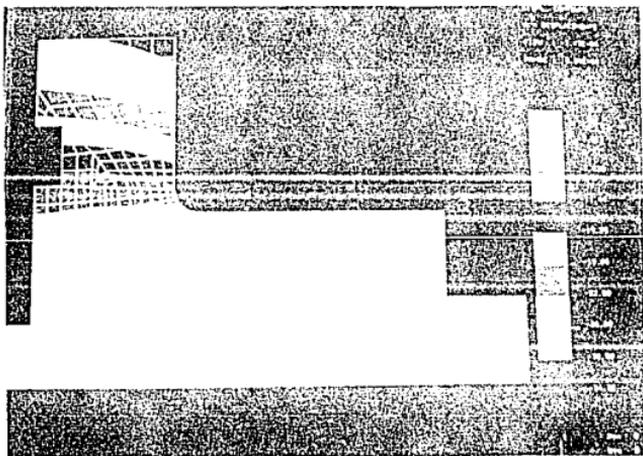
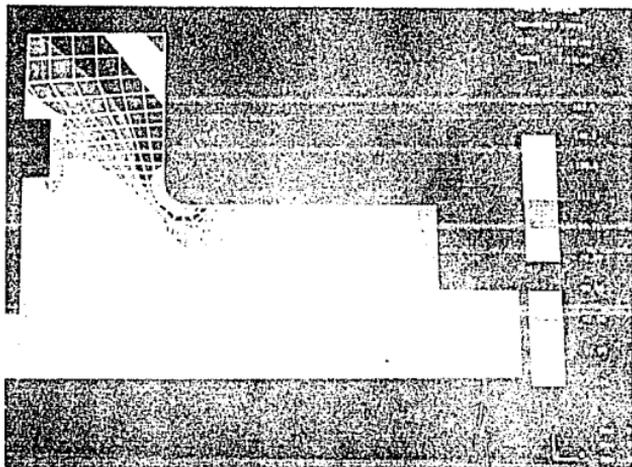
En el siguiente análisis se redujo el espesor de pared a 6.5 mm, los resultados del análisis se pueden observar en la gráfica y 5.4 donde la deformación máxima es de 0.00034 pulgadas y el esfuerzo máximo es de 16 350 lb/in<sup>2</sup> teniendo un factor de seguridad de 1.84.

Se puede observar que este nuevo inserto cumple con los requerimientos, por lo que esta modificación se adoptará en la fabricación del molde lográndose con esto una disminución en las dimensiones permitiendo disminuir costo de material y tiempo de maquinado.



Deformaciones.

Graf.5.3. Análisis de esfuerzos en el inserto (espesor 10 mm).



Deformaciones.

Gráf.5.4. Análisis de esfuerzos en el inserto (espesor 0.5 mm).

Finalmente, con todos los datos obtenidos se procedió a hacer un dibujo en 3D (fig. 5.2, 5.3 y 5.4).

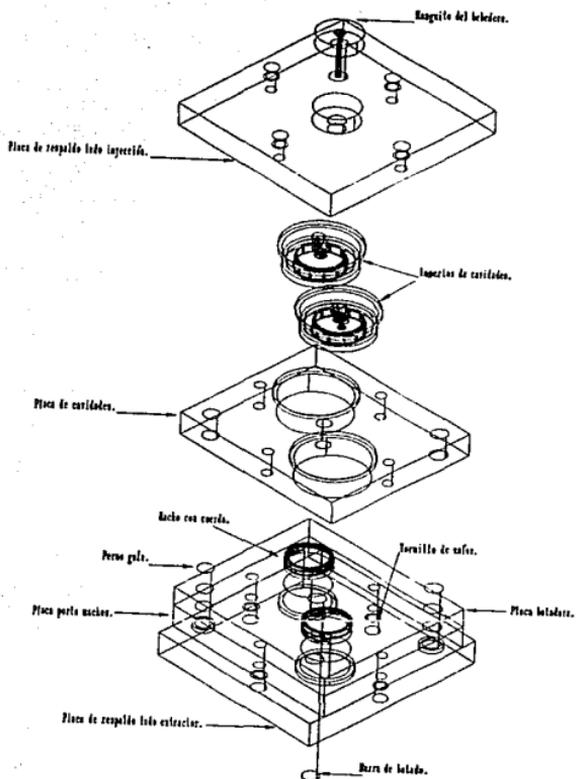


Fig. 5.2. Vista explosiva del molde.

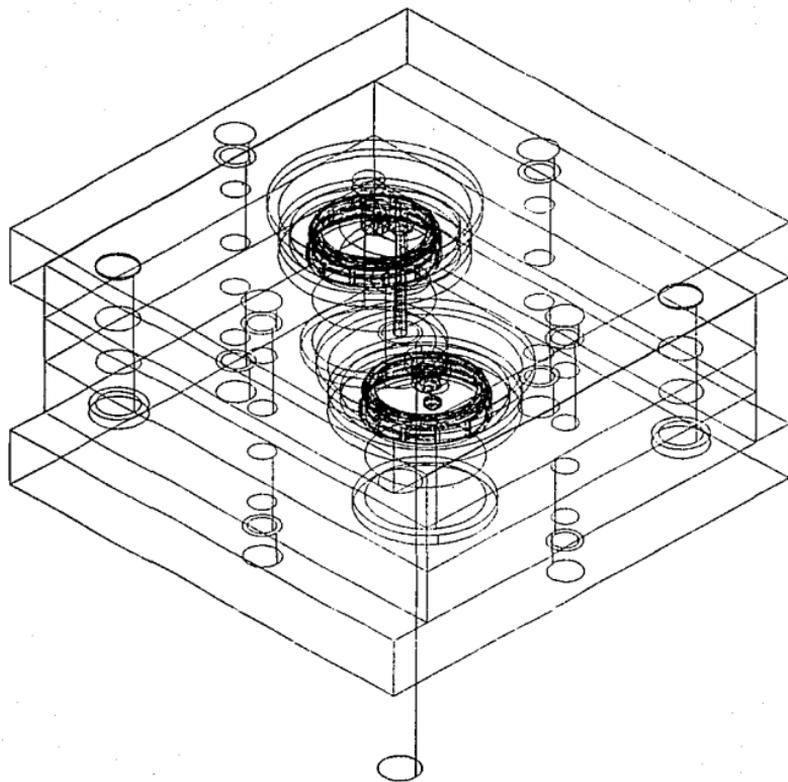


Fig. B.3. Molde cerrado.

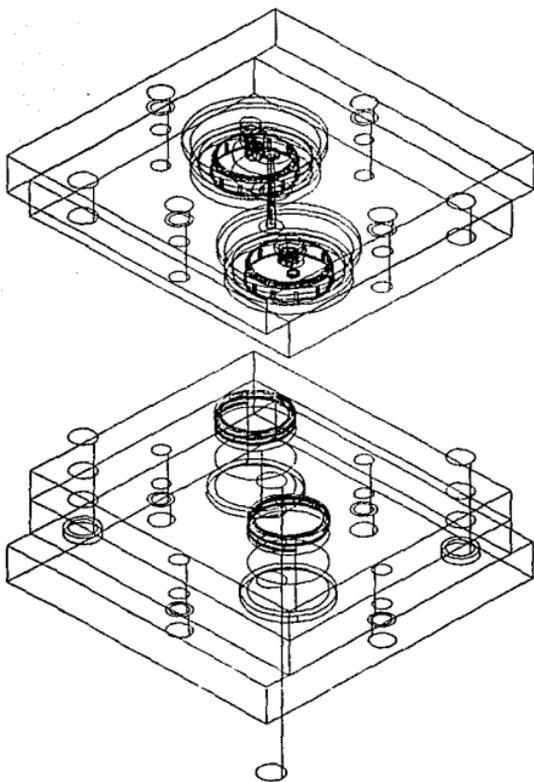


Fig. 8.4. Molde abierto.

## CAPITULO 6

### MANUFACTURA DEL MOLDE

#### INTRODUCCION.

Un punto sumamente importante dentro de este trabajo de tesis es la manufactura del molde ya que es la parte culminante de este trabajo, donde con la información generada anteriormente, se procederá al maquinado del molde, estableciendo así, un vínculo entre el diseño y la manufactura.

Dentro del proceso de fabricación se presentan situaciones inesperadas a las cuales se les tiene que dar solución de la forma más rápida y correcta posible. En lo que resta del capítulo se detallará el procedimiento que se siguió, los obstáculos que se presentaron y las soluciones a las que se llegó.

#### 6.0 .- MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA.

Un paso obligado en la manufactura de un molde en los últimos años ha sido la introducción de la manufactura asistida por computadora (CAM). Cuando este paso es considerado, el costo, la precisión y otros factores como la entrega del producto terminado y la calidad del molde, progresan considerablemente. Tomando en cuenta la aplicación de las computadoras en la manufactura se puede desarrollar el mismo trabajo de una persona pero en un tiempo mucho menor. Con el uso de los sistemas CAM muchas de las operaciones esenciales se muestran de una forma fácil y eficiente.

El CAM se refiere a cualquier proceso de fabricación automática que esté controlado por varias computadoras.

Los elementos más importantes del CAM son:

- Técnicas de programación fabricación CNC.
- Fabricación y embalaje mediante robots controlados por ordenador.
- Sistemas de manufactura flexible (FMS).
- Técnicas de inspección asistidas por computadora.
- Planeación de requerimiento de materiales (MRP I).
- Planeación de recursos de manufactura (MRP II).
- Programas de generación de CN.

El sistema CAM tiene la capacidad de guardar la información generada creando archivos, los cuales, pueden ser usados para operar una máquina de control numérico. Con esta información, las máquinas de control numérico pueden seguir la configuración y cubrir tridimensionalmente todos los contornos de la pieza que ha sido diseñada en la pantalla de una computadora comprobando el proceso de manufactura. La información obtenida puede usarse inmediatamente o ser almacenada para ser utilizada posteriormente.

La necesidad de fabricar productos difíciles de conseguir en cantidad y calidad suficientes, la obtención de productos de compleja manufactura y la necesidad de conseguir productos a bajo costo llevó a los fabricantes a automatizar los procesos, la optimización de éstos se basa en cuatro factores básicos: productividad precisión, rapidez y flexibilidad. Es entonces cuando aparecen las máquinas de control numérico.

El control numérico es un sistema que, aplicado a máquinas herramientas, automatiza y controla todas las acciones de la máquina.

La evolución del control numérico ha tenido varias fases. El

origen de esta evolución se encuentra en el avance de la electrónica.

En la historia del CN se pueden distinguir cuatro generaciones:

-En la primera la lógica del control estaba basada en tubos electrónicos y relés.

-Más tarde, y hasta 1965, la lógica del control fué elaborada mediante transistores y diodos.

-Disponiendo de semiconductores, ciertos elementos lógicos fueron englobados en un mismo soporte, lo que le valió el nombre de los circuitos integrados, con ésto se logró una notable reducción en el tamaño de los equipos.

-Finalmente en la cuarta generación, la lógica fué confiada a una computadora, que ahora ha pasado a ser una microcomputadora. Se ha llegado así a la lógica por software. La lógica del equipo de control no está no está realizada por montaje de elementos digitales, sino por programación de una computadora, a este proceso se le conoce como control numérico por computadora (CNC).

La entrada manual de datos en el teclado del CNC tiene el inconveniente de hacer que la máquina esté inoperativa mientras se introduce o edita el programa.

En un sistema DNC se puede crear el programa de la pieza en un ordenador central que alimenta directamente los datos a la máquina CNC, se pueden acoplar diversas máquinas al ordenador principal y trabajar mientras se desarrolla el programa de la pieza.

Particularmente El DNC es apropiado para técnicas de programación asistidas por computadora y para la simulación gráfica del proceso de producción. también el ordenador central puede recibir datos de otros sistemas como CAD y gestión de la producción a través de una base de datos común. DNC puede llegar así a ser un componente vital enlazado a un sistema CAD\CAM.

En la actualidad existe una gran variedad de software para manufactura, los paquetes de CAM para generar códigos de control numérico son de gran utilidad en el maquinado de superficies complicadas ya que el hacer dicho código manualmente puede resultar demasiado tardado, tedioso y se pueden cometer errores de programación, además, es importante señalar que el desplegado gráfico de simulación presentado por una computadora es muy útil ya que muestra el proceso de maquinado dando opción a modificarlo sin hacer uso de las máquinas herramientas. Algunos ejemplos de estos paquetes son: SmartCAM, Mastercam y ProCAD/CAM.

El procedimiento para la utilización de los paquetes para generación de códigos de control numérico inicia con la definición de la geometría del modelo; a continuación, se pasa al procesador de fabricación donde se genera la información relativa a la dirección del movimiento de la herramienta y la ruta de corte, también se dan datos típicos como la medida de la herramienta de corte, la velocidad del husillo y velocidades de desplazamiento.

Estos paquetes nos ofrecen ventajas como precisión dimensional, mayor productividad, se minimizan los errores de programación, se facilita la labor de programación en superficies complejas, finalmente, los procesos de maquinado pueden ser simulados evitando errores de maquinado; en contrapartida, existen desventajas tales como altos costos de equipo, largos tiempos de procesamiento, los programas generados de ésta manera generalmente requieren de una gran capacidad de memoria del controlador del CNC por lo que frecuentemente se satura, finalmente, se requiere de personal debidamente capacitado para el manejo del equipo.

Por último, se puede decir que con el CAM se puede lograr la reducción del trabajo humano al fabricar un molde por medio de los

sistemas CAM y tener importantes beneficios en cuanto a precisión y calidad en el ensamble.

#### 6.1 . -VIABILIDAD PARA EL USO DE PAQUETES DE GENERACION DE CODIGOS DE CN EN EL MOLDE.

Las piezas a maquinar son cinco placas, las cuales conforman el molde, todas ellas son diferentes entre sí pero tienen en común maquinados de cajas circulares y barrenos, dos de estas cinco placas se muestran en figura 6.1, de donde podemos observar los maquinados a realizar, como ya se mencionó son cajas circulares y barrenos de diferente diámetro y posición, los planos de todas las placas se muestran en el apéndice A.

El uso de los paquetes de CAM para generar el código de control numérico es sin duda una herramienta muy útil, pero definitivamente no es la solución a todos los problemas. La aplicación de estos paquetes no debe de ser indiscriminada sino que, más bien, se requiere tener un criterio para poder aplicarlos cuando realmente se necesite.

No existe una guía que pueda decirnos cuando usarlos, generalmente estos paquetes son presentados por los distribuidores como la llave que resuelve todos los problemas de maquinado, pero realmente existen ocasiones en que el uso de estos no es la mejor opción, así, la decisión de usar o no los paquetes es totalmente a criterio del diseñador basándose en su experiencia en el campo.

Para este caso el generar el código de control numérico con paquetes de CAM resulta más complicado, pues se tiene que generar un archivo para cada placa ya que todas son diferentes entre sí, por lo que se invierte mucho tiempo de computadora en generar las trayectorias de la herramienta además del tiempo que tarda transmitir

la información al VMC-300. En contrapartida, la simplicidad del procedimiento para hacer manualmente un programa que maquine círculos y sobre el proceso de maquinado cambiar los parámetros de cada uno de ellos (que son diferentes en cada placa), ver las placas del molde que se muestran en la figura 6.1.

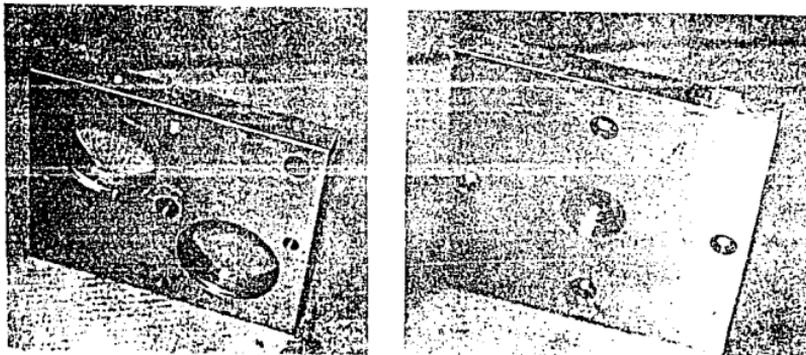


Fig. 8.1. Dos de las diferentes placas del molde.

El programa hace que la herramienta de corte se desplace siguiendo una trayectoria circular incrementando poco a poco la profundidad y el diámetro del barreno hasta que se ajusta a la medida final de cada uno.

## 6.2 . - PROCESO DE FABRICACION.

La manufactura del molde comenzó con la compra de las placas de acero AISI 1035, dichas placas tenían la superficie sucia y las paredes laterales descuadradas, debido a que fueron cortadas con soplete, por lo que se les quitó esta superficie que resultó tener una gran dureza, en primera instancia se utilizó un cepillo para remover la superficie pero este procedimiento resultó ser muy tardado, además, el cepillo estaba desajustado por lo que las placas no quedaban totalmente planas sino convexas, así que se trató de implementar otro proceso de maquinado, se decidió usar una fresadora para planear las superficies, para esta tarea se usó una fresadora semiautomática marca SOMUA a la cual se le adaptó una herramienta para planear, la cual se diseñó y fabricó (Fig.6.2), la ventaja de usar este tipo de herramienta es que los cortadores verticales que existen en los talleres de la Facultad tienen como diámetro mayor una pulgada y como las placas tienen una de más de 70 pulgadas cuadradas (24 x 23 cm), el planear las placas con el cortador de una pulgada resulta tardado, en cambio, con la herramienta fabricada, el maquinado se hace más rápidamente pues el diámetro del corte es de tres pulgadas. Como la fresadora no cuenta con algún mecanismo de sujeción apropiado se diseñó e implementó un sistema capaz de sostener a la placa en la mesa de la fresadora, que consta de dos barras de sección cuadrada que se fijan a la mesa de la fresadora mediante tornillos, una de estas barras cuenta con dos barrenos con cuerda donde enroscan tornillos que aprisionan a la placa que se desea maquinar. La ventaja que presenta este sistema es que la placa puede ser maquinada en toda su superficie ya que la sujeción no toca la parte superior de la placa, pero cuando se puso a prueba, la placa se sacó, fué entonces cuando se implementó un sistema de sujeción a base de "ciamps" que tiene la gran

desventaja de no poder maquinarse toda el área sin mover los "clamps", cuando el cortador va a planear la parte donde éstos están sujetando a la placa. Las placas fueron planeadas completamente con este sistema.

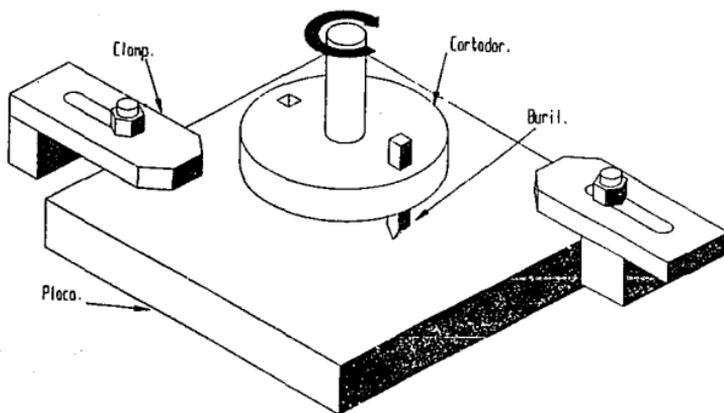


Fig. 6.2. Herramienta usada para planear las placas.

Una vez que las placas fueron planeadas hasta lograr el espesor requerido para cada una, el siguiente paso fué el esquadrarlas; dicho

procedimiento lo efectuamos mediante un cepillo con lo que resultó bastante sencillo debido a que la superficie lateral de las placas es pequeña (3 x 23 cm) en comparación con las superficies fresadas.

El paso final en las placas antes de maquinar los barrenos y cavidades, fué el rectificarias para garantizar una superficie paralela entre ellas, desgraciadamente, en la Facultad no se cuenta con una rectificadora en la que se puedan pulir piezas de tan grandes dimensiones por lo que se trató de implementar un sistema de pulido mediante una taza de piedra de esmeril pero la piedra no era perfectamente paralela a las placas por lo que se desechó. El rectificado se realizó finalmente en una máquina de un taller particular.

Teniendo listas las placas, el paso siguiente es el barrenado de las placas, en un principio se pensó en hacer uso de un paquete de CAM para generar el código de control numérico, sin embargo, aquí se tomó la decisión de no utilizar el paquete a pesar de que ésta era nuestra intención inicial por lo que el código se generó manualmente.

Con el código de control numérico generado el paso siguiente fué el montar las placas en el centro de maquinado VMC-300 donde se cargaron los programas de CN.

Para maquinar las placas se tomó como origen el centro de cada una de ellas, con este propósito, las placas se midieron en una máquina de coordenadas pero la medición resultó incorrecta pues la máquina se encontraba descalibrada, finalmente se midieron con un calibrador.

Una vez que las placas se midieron el paso siguiente fué montarlas una a una en el centro de maquinado y se seleccionaron las herramientas que podrían servir. Los barrenos para instalar a los machos con cuerda y los huecos para los incertos de cavidades ( que son mayores de 10 cm de  $\varnothing$  ) fueron comenzadas primeramente con un

barreno hecho con una broca de 18 mm con incertos de carburo de tungsteno y agrandarlo mediante una fresa para cortar ranuras, la herramienta siguió trayectorias circulares en las que se aumentó el radio y la profundidad poco a poco hasta llegar al diámetro deseado. Este procedimiento fué necesario debido a que no se cuenta con la herramienta de desbaste con salida para la viruta. Por lo que respecta a los barrenos de 3/4" necesarios para incertar el manguito del bebedero y los pernos guía fueron hechos en el mismo centro de maquinado localizándolos por coordenadas al igual que los barrenos anteriores, los barrenos que serían de 3/4" fueron hechos con la broca de 18 mm y posteriormente ajustados manualmente con una rima de expansión.

Para sujetar las placas entre sí se perforaron barrenos de 27/64" para machuelear la cuerda de tornillos allen de 1/2". La cuerda sólo se hizo a la placa de cavidades y a la placa portamachos (ver plano del molde apéndice A) para las placas de respaldo de cada una de ellas solo se requiere hacer los barrenos de 1/2" y la cajas para las cabezas de los tornillos, así las placas se mantienen unidas, de un lado por la cuerda y del otro por la cabeza del tornillo. Todas las coordenadas de los centros de barrenos fueron tomadas a partir del centro de cada placa para que los posibles errores de medición no se concentraran exclusivamente para un lado de la placa.

Los incertos de cavidades circulares y los machos con cuerda no se pudieron maquinar en el torno de CN debido a que éste se encontraba en mantenimiento por lo que fueron hechos en un torno manual al igual que los pernos guía, la barra de botado y el manguito del bebedero (fig. 6.3).

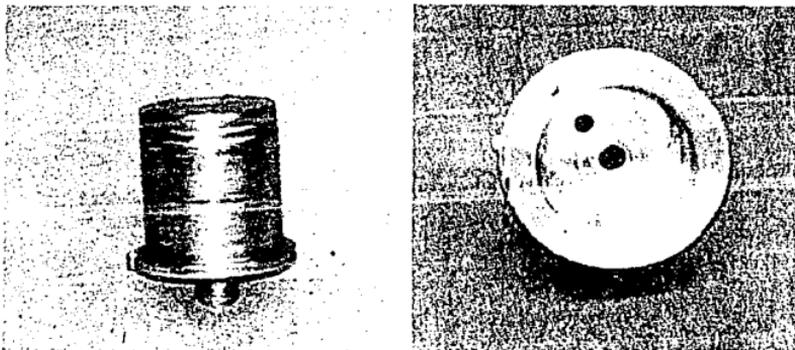


Fig. 6.3. Macho con cuerda y cavidad.

El manguito del bebedero (fig. 6.4) presenta dificultades para ser maquinado debido a la superficie cóncava que presenta para asentar con la boquilla inyectora y el canal cónico para el flujo del plástico para el que se hizo una herramienta especial cónica con ayuda de una barra Norton que es una barra de acero rápido a la que se le da forma deseada para maquinar con ella piezas de formas especiales, para el maquinado de los canales de llenado también se usó una de estas barras. La parte cóncava de la boquilla se maquinó con una broca a la cual se le afiló la punta de forma esférica.

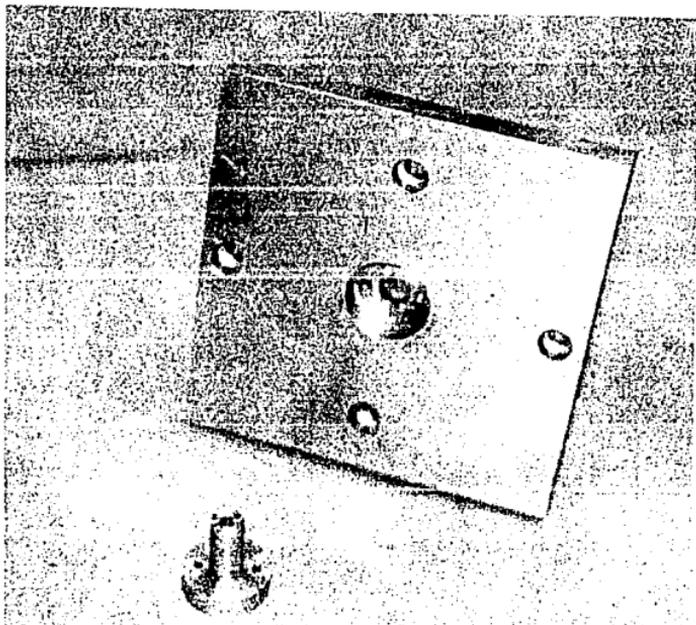


Fig. 6.4. Manguito del bebedero y placa donde se inserta.

El siguiente paso fué el ajustar los barrenos con los pernos guía, el manguito del bebedero con el barreno del centro de la placa y las cavidades y machos con sus respectivas cajas. Para lograr un buen ajuste se dejó un sobrante de 0.05 mm en los redondos (fig 6.5).



Fig. 8.5. Ensamble entre placas y redondos.

Una vez que los redondos se ajustaron a las placas, se maquinó el sistema de refrigeración, para lo cual, se perforaron las placas. Como las brocas existentes en el taller no tienen la longitud requerido ( 14 cm ) hubo que conseguir una broca adecuada. Con ésta se taladraron las placas, éstas se colocaron verticalmente para perforar los barrenos en el canto de las placas.

Al realizar las perforaciones se debe tener cuidado pues éstas son largas y un pequeño error en el posicionamiento de la placa o una flexión de la broca puede ocasionar que las perforaciones no se cruzaran y por tanto no se podría cerrar el circuito de refrigeración.

La placa se alineó perfectamente con ayuda de una escuadra universal . Una vez perforados los canales, se procedió a sellar las falsas salidas ocasionadas por perforaciones de lado a lado de las placas y evitar fugas. Se inyectó aceite y se confirmó que salía por el punto destinado para esto, en la figura 6.6 se muestra el macho de refrigeración que va incertado dentro del macho con cuerda.

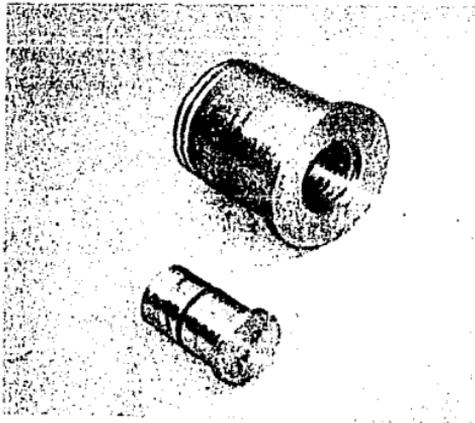


Fig. 6.6. Macho con cuerda y macho de refrigeración.

Con los barrenos ya hechos, era necesario sellar las posibles fugas de agua por lo se instalaron empaques. Los empaques usados son incertados en ranuras circulares que se maquinaron tanto en la refrigeración de los machos como en ambos lados del canal del incerto

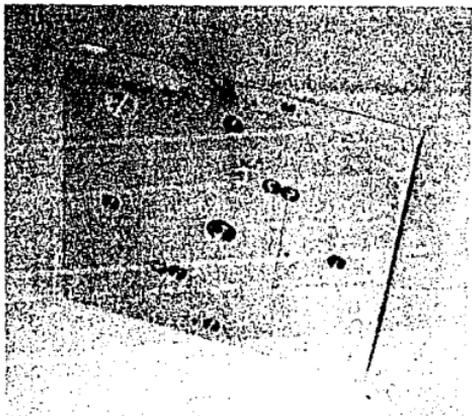


Fig. 6.7. Sistema de sellado de la placa de respaldo.

de cavidades y entre la placa de respaldo lado extractor y los machos de refrigeración, los empaques de los machos de refrigeración se muestran en la figura 6.6 y los de la placa de respaldo en la figura 6.7. Las piezas entraron forzosamente en sus cavidades debido al incremento del diámetro ocasionado por el empaque.

Tanto los incertos de cavidades, los machos con cuerda y los machos de refrigeración que se incertan dentro de éstos, fueron dotados de un perno de registro en sus orillas para evitar que giren ya que al cambiar de posición generan problemas como lo es el cerrar el circuito de enfriamiento o el que la cavidad se mueva y cierre el canal de inyección.

Como la cavidad está ahora fija a la placa de cavidades por medio del registro es hora de maquinarse el canal de inyección para lo cual se

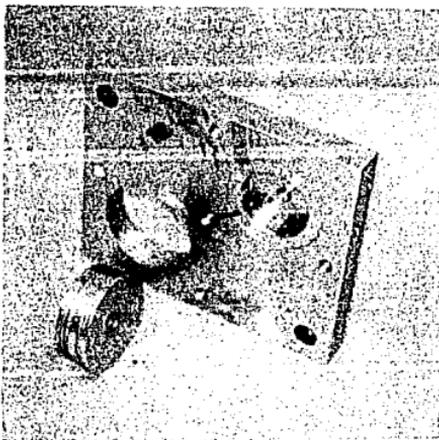


Fig. 6.8. Placa de cavidades con el canal de llenado.

monta el manguito del bebedero, y las cavidades en la placa de cavidades para maquinarse el canal desde el centro del manguito hasta llegar a 3 mm del borde interior de cada incerto de cavidades. Como no se tenía una herramienta para generar los canales, se maquinó una herramienta usando una barra Norton de la que ya se hizo mención, el canal se muestra en la figura 6.8.

El paso final fué el perforar el sistema de inyección submarina que va a 35 grados con respecto a la vertical. Para esto, la cavidad se montó en una fresadora y el cabezal se movió hasta el ángulo requerido. Primeramente se hizo una penetración con una broca de 3/16" hasta estar a 1 mm de la orilla de la cavidad, despues, se introdujo una broca de 0.8 mm para formar el punto de inyección.

Con todos los elementos del molde listos, se procedió a ensamblarlo (fig. 6.9).

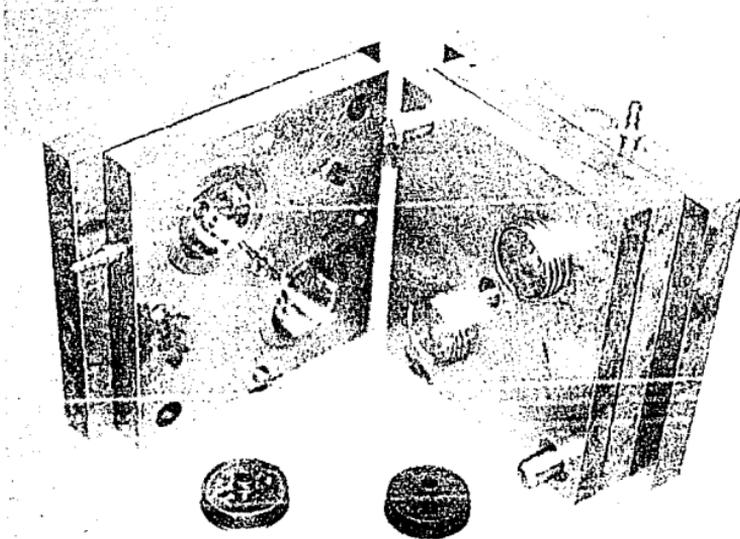


Fig. 6.9. Molde para inyección de tapas de "Pepsiíndro".

### 8.3. - COSTOS.

Finalmente, los costos de material, diseño y fabricación del molde se repartieron de la siguiente forma:

Diseño	N\$7000.00
Material	N\$600.00
Máquinas herramientas y mano de obra	N\$1200.00
Maquinado CNC	N\$6000.00
Operarios CNC	<u>N\$6000.00</u>
Total	N\$20800.00

Usando una máquina de inyección de 100 toneladas, considerando el costo del material inyectado, un desperdicio del mismo del 30% y suponiendo un 10% de piezas rechazadas, el costo por pieza resulta ser de N\$0.186, estableciendo una ganancia del 25% en cada pieza, el precio unitario resulta ser de N\$0.233.\*\*

Finalmente, considerando 4 ciclos de inyección por minuto, 8 horas diarias de trabajo y 20 días al mes, la inversión del molde se recuperará en 6 meses.

\* Precios al mes de noviembre del 83.

\*\* Precio por pieza cortesía de CELANESE MEXICANA S.A.

## CONCLUSIONES

Teniendo en consideración que en nuestro país se aplica incipientemente la tecnología de punta en la fabricación de moldes de inyección, esta tesis representa una importante herramienta con la que se crea un puente entre el proceso de diseño tradicional y los sistemas CAD\CAM.

Los sistemas CAD\CAM ofrecen importantes beneficios en la generación de información que nos facilita encontrar soluciones a los problemas de diseño y manufactura, sin embargo, el uso de estos sistemas no debe ser indiscriminado ya que esto puede ocasionar un retraso en la obtención de soluciones y un encarecimiento del producto, por esto, se debe tener un criterio de aplicación, en el cual, la experiencia juega un papel muy importante. Por lo anterior no se deben descartar a los procesos de diseño tradicionales ya que existen puntos en donde puede auxiliarnos eficientemente, para esto se propone un procedimiento con el que se trata de optimizar el diseño de moldes para inyección de plástico cuya aplicación en este trabajo resultó exitosa.

Algunas de las herramientas que se ocupan en la fabricación de moldes, son costosas y difíciles de encontrar o fabricar, esto ocasionó un importante retraso de tiempo, para evitar esto, se debe conseguir todo un herramental especializado que permita la fabricación de moldes en los talleres de ingeniería mecánica ya que, finalmente, la manufactura está limitada por el herramental disponible, el estado del equipo con que se cuenta y la experiencia en la solución de problemas de manufactura.

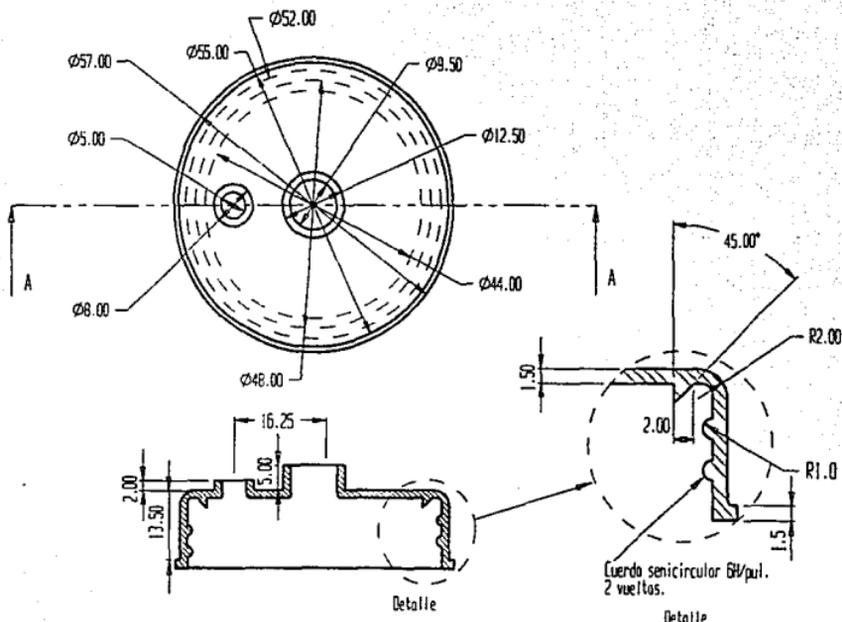
El trabajar en este tema logró aportarnos importantes conocimientos de teoría de moldes de inyección de plástico, diseño de herramental, técnicas CAD y máquinas herramientas lo que ayudó a integrar y reforzar los conocimientos adquiridos en la carrera al ser aplicados de forma práctica, todo esto representa una valiosa experiencia por la cual tenemos tanto que agradecer a nuestra Universidad.

POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU

*febrero de 1994*

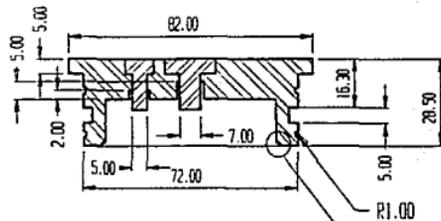
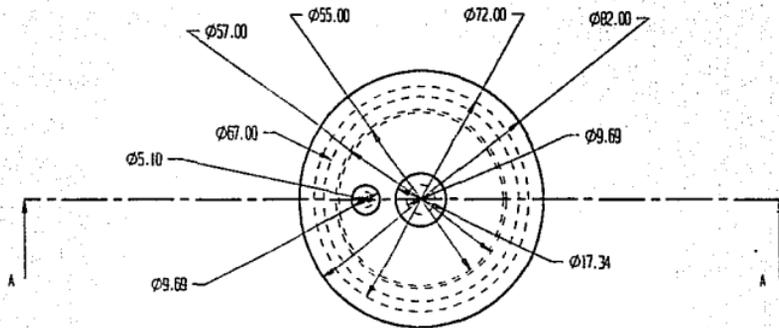
## **Apendice A**

### **Planos**



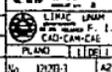
Corte A A

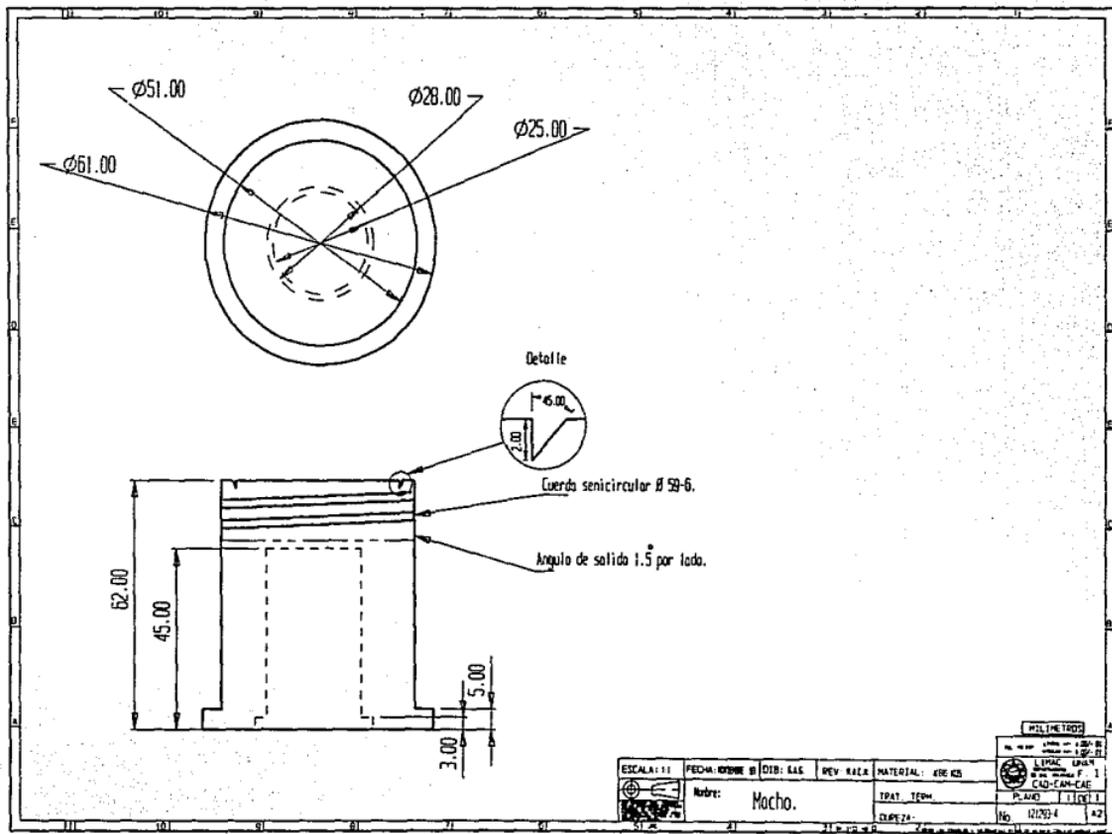
ESCALA: 1:1		FECHA: 20/10/03		DISEÑO: EDO		REVISIÓN: MEN		MATERIAL: Polipropileno		MILIMETROS Nº. 48 00 LÍNEA UNICA PUNTO F. 1 CAD-CARACAS PLANO 11/011 Nº. 17139-11 42	
Tipo de Pepsilinde.				TRAT. TERM.				CLASIFICA.			



CORTE A-A

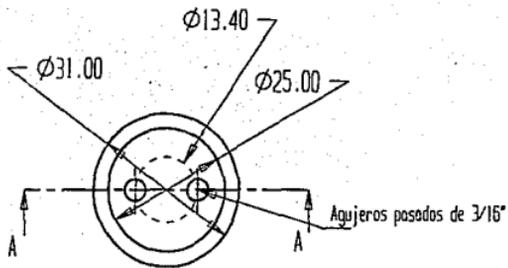
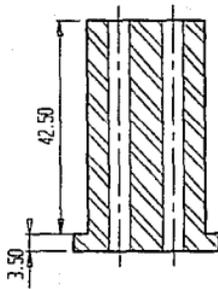
Detalle

ESCALA: 1:1	FECHA: 10/04/04	DIB: RJA	REV: 001	MATERIAL: Acero 1025	
					
Nombre: Cavid.				TRAT. TERM.	No. 12129-3
DISEÑO:				No. 12129-3	No. 12129-3

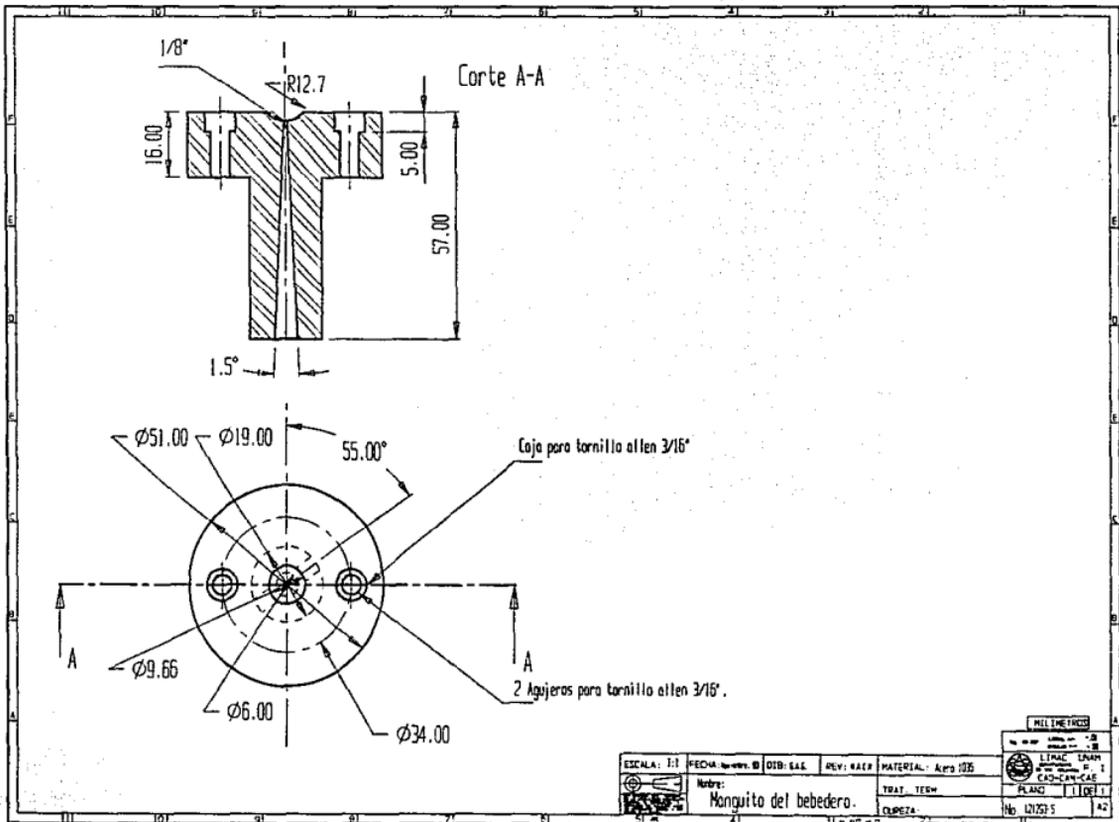


ESCALA: 1:1	FECH: 09/08/80	DIB: S.A.S	REV: N.A.L.R	MATERIAL: ABR 625	
	Nombre: Macho.	TRAT TERM:	PLANO: 11/01/1	No: 121293-4	A27
				EXPREZA:	

Corte A-A

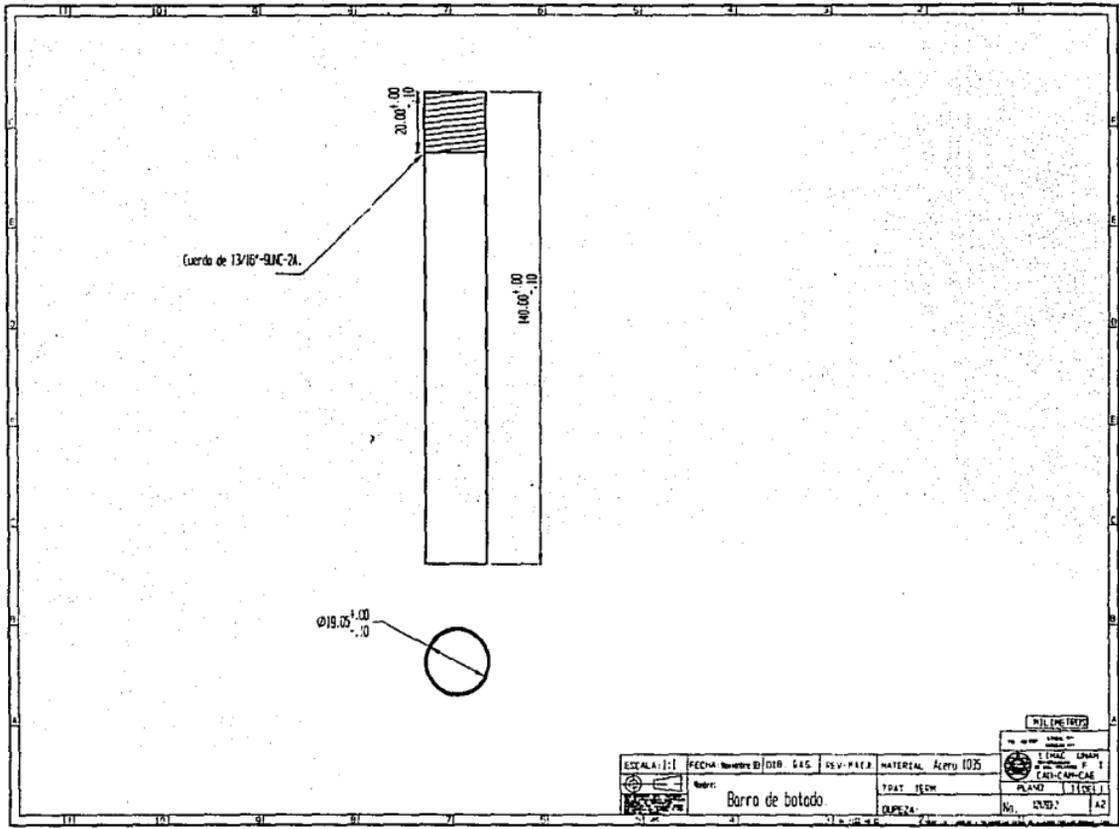


ESCALA: 1:1	FECHA: Noviembre 01	DISEÑO: G.S.G.	REV. NÚMERO	MATERIAL: Acero 1025	APROBADO
Nombre: Macho de refrigeración.				FECHA: YEPUN	PLANO: 111001.1
				ENTRADA	Nº 121203-6 A2



ESCALA: 1:1	FECHA: 10/01/00	DISEÑO: S.A.L.	REV: N/A	MATERIAL: Acero 305
Nombre: Manguito del bebedero.				TRAT. TERM:
				CLASE:

MILLIMETROS	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26
27	28
29	30
31	32
33	34
35	36
37	38
39	40
41	42
43	44
45	46
47	48
49	50
51	52
53	54
55	56
57	58
59	60
61	62
63	64
65	66
67	68
69	70
71	72
73	74
75	76
77	78
79	80
81	82
83	84
85	86
87	88
89	90
91	92
93	94
95	96
97	98
99	100



Cuerda de 13/16"-SAC-2A

20.00' .10

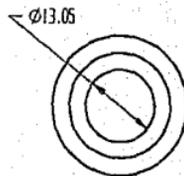
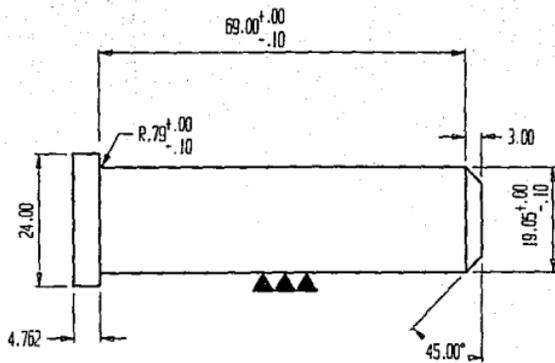
140.00' .10

Ø19.25' .10

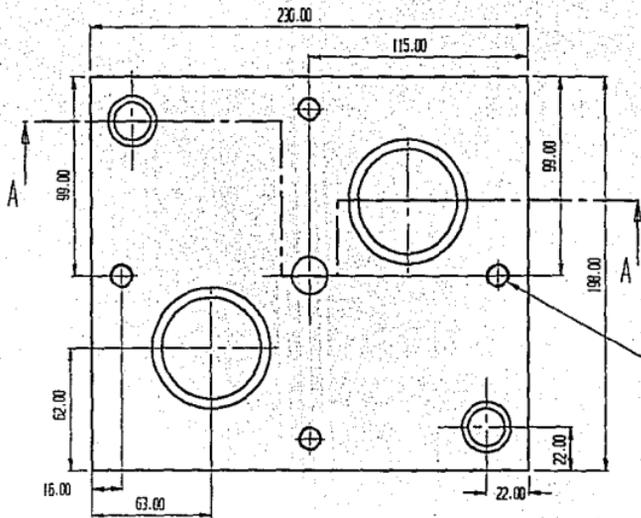
	ESCALA: 1:1	FECHA: Nueve de DIB. GAS	REV. PAER	MATERIAL: Acero 1025	TITULO: <b>Barro de botado</b> DAT: 1904 DISEÑA:	No. 1025 1A2
	PLANO: <b>11/11</b>	ESTADO: <b>1</b>		PLAN: <b>11/11</b>		

WILLIHERTZ

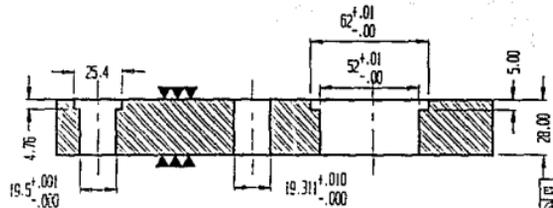
ESTADO: **1**  
 PLAN: **11/11**



MILÍMETROS				
ESCALA: 1:1	FECHA: nov 53	DIB: R.A.D.	REV: R.A.C.N.	MATERIAL: acero 1045
	Nombre: Perno guía.			TRAT. TERM. templado
	No. 12129-7			PLANO 11 DE 11
DISEÑO				12

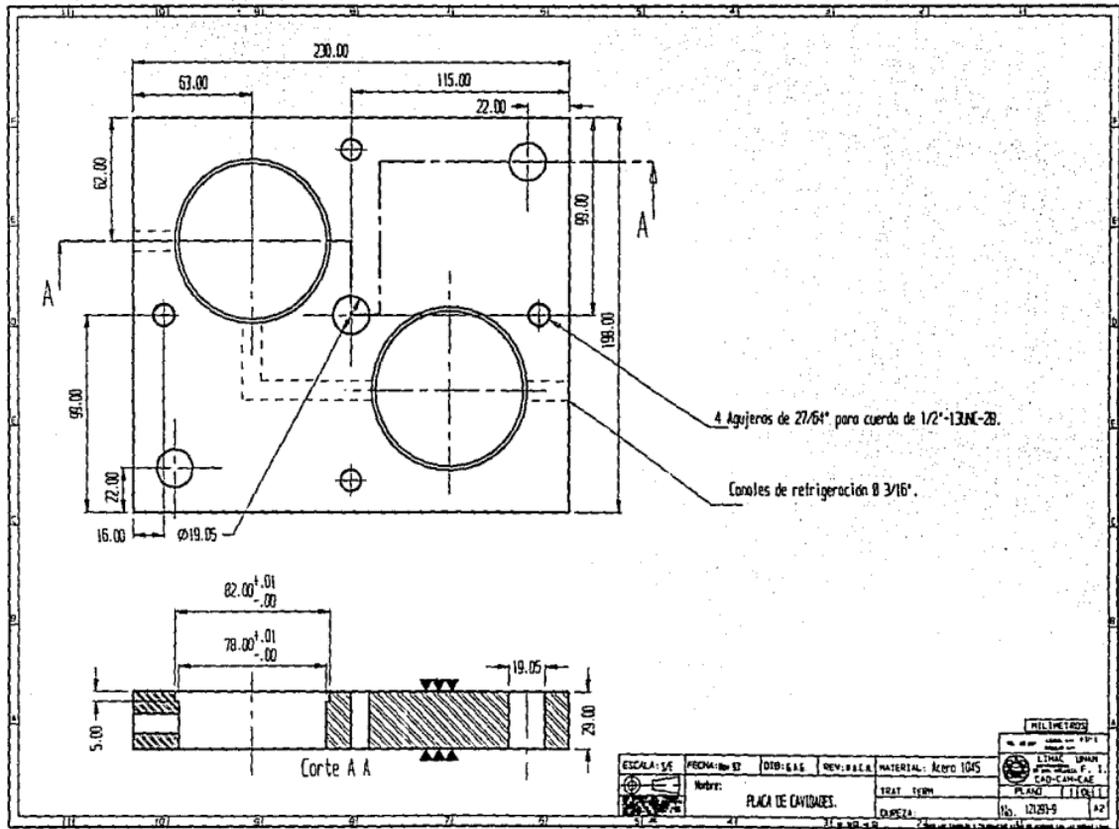


Agujero de 27/64" para cuerda de 1/2"-13NC-28.



Corte A A

Escala: 1:1		Fecha: No. 07		Dib: G.L.G.		Rev: N.A.C.P.		Material: Acero 1045	
Nombre: PLACA DE MACHES		Trat. Term.		Dib. No.		No. 12170 10		A2	



4 Agujeros de 27/64" para cuerda de 1/2"-13NC-28.

Canales de refrigeración 8 3/16".

Corte A A

ESCALA: 1:1	PROYECTO: 010-668	REV. 001	MATERIAL: Acero 1045
Nombre: PLACA DE CANTIDAZ.		TRAT. TERM.	
DISEÑO:			

MILIMETROS

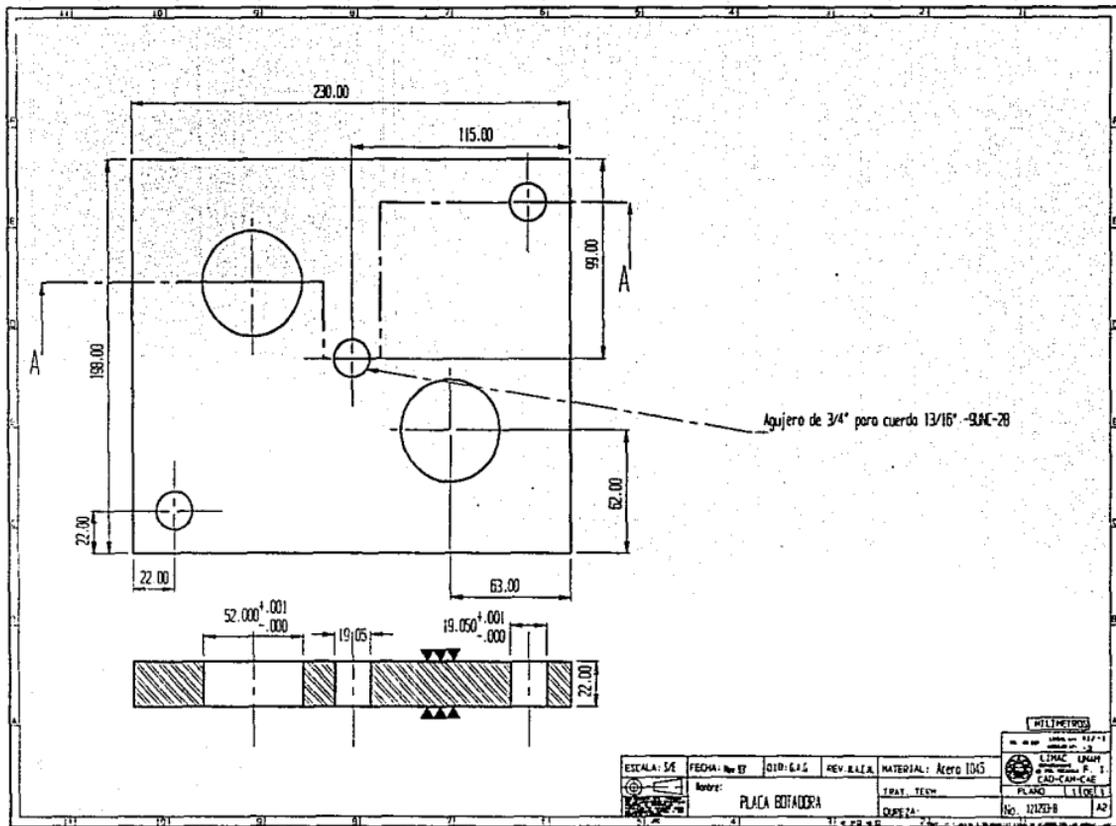
1/16" 1/8" 3/16" 1/4" 5/16" 3/8" 7/16" 1/2" 5/8" 3/4" 7/8" 1"

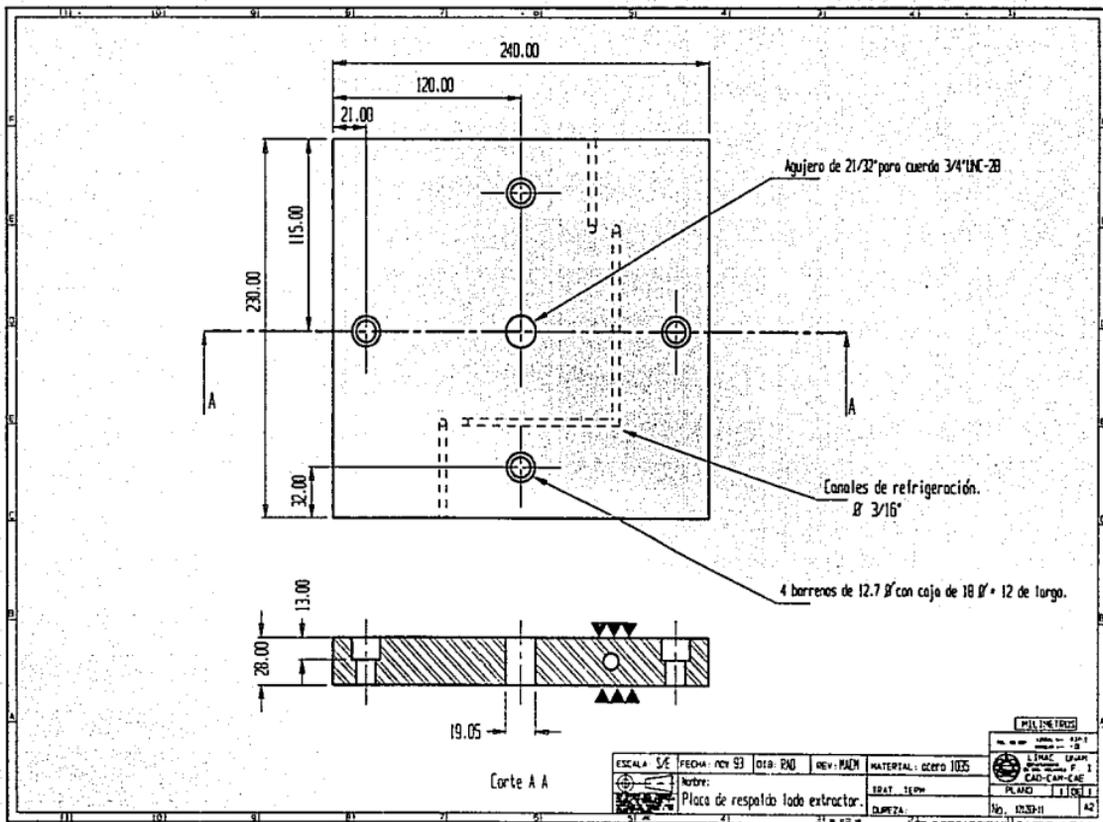
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZAR DE LA VIEJA, CALABAZAR DE LA VIEJA, VERACRUZ

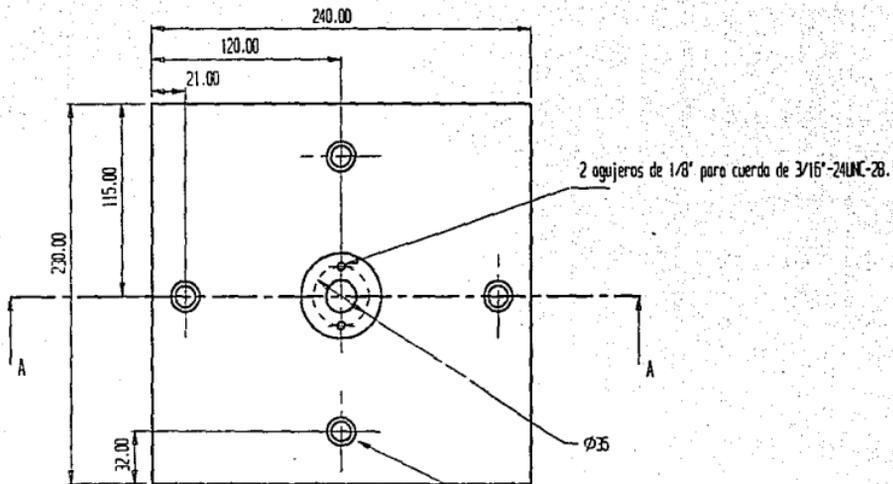
PLANO: 110011

No. 12129-9

42







2 agujeros de 1/8" para cuerda de 3/16"-24UNC-2B.

Ø35

4 borros de 12.7 Ø con caja de 19.8 x 12 largo.

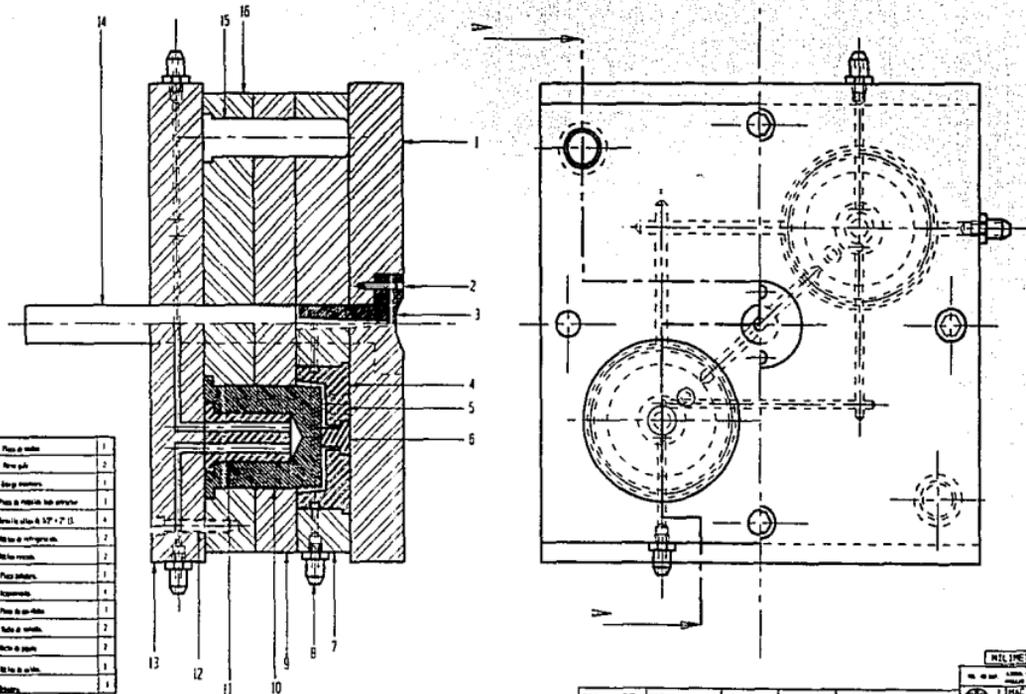


Corte A

ESCALA: VE	FECHA: NOV 93	DIB: BAO	REV: A (C.R)	MATERIAL: S305 1035
 Placa de respaldo todo inyección				30x1 TEMP
				PLACAS

 CAD-CAN-CAN	
PLANO: 1	TITULO: 1
No: 100312	A2

CORTE A-A



14	Placa de suporte	1
15	Parafuso	2
16	Almofada	1
17	Placa de suporte	1
18	Placa de suporte	1
19	Placa de suporte	1
20	Placa de suporte	1
21	Placa de suporte	1
22	Placa de suporte	1
23	Placa de suporte	1
24	Placa de suporte	1
25	Placa de suporte	1
26	Placa de suporte	1
27	Placa de suporte	1
28	Placa de suporte	1
29	Placa de suporte	1
30	Placa de suporte	1
31	Placa de suporte	1
32	Placa de suporte	1
33	Placa de suporte	1
34	Placa de suporte	1
35	Placa de suporte	1
36	Placa de suporte	1
37	Placa de suporte	1
38	Placa de suporte	1
39	Placa de suporte	1
40	Placa de suporte	1
41	Placa de suporte	1
42	Placa de suporte	1
43	Placa de suporte	1
44	Placa de suporte	1
45	Placa de suporte	1
46	Placa de suporte	1
47	Placa de suporte	1
48	Placa de suporte	1
49	Placa de suporte	1
50	Placa de suporte	1
51	Placa de suporte	1
52	Placa de suporte	1
53	Placa de suporte	1
54	Placa de suporte	1
55	Placa de suporte	1
56	Placa de suporte	1
57	Placa de suporte	1
58	Placa de suporte	1
59	Placa de suporte	1
60	Placa de suporte	1
61	Placa de suporte	1
62	Placa de suporte	1
63	Placa de suporte	1
64	Placa de suporte	1
65	Placa de suporte	1
66	Placa de suporte	1
67	Placa de suporte	1
68	Placa de suporte	1
69	Placa de suporte	1
70	Placa de suporte	1
71	Placa de suporte	1
72	Placa de suporte	1
73	Placa de suporte	1
74	Placa de suporte	1
75	Placa de suporte	1
76	Placa de suporte	1
77	Placa de suporte	1
78	Placa de suporte	1
79	Placa de suporte	1
80	Placa de suporte	1
81	Placa de suporte	1
82	Placa de suporte	1
83	Placa de suporte	1
84	Placa de suporte	1
85	Placa de suporte	1
86	Placa de suporte	1
87	Placa de suporte	1
88	Placa de suporte	1
89	Placa de suporte	1
90	Placa de suporte	1
91	Placa de suporte	1
92	Placa de suporte	1
93	Placa de suporte	1
94	Placa de suporte	1
95	Placa de suporte	1
96	Placa de suporte	1
97	Placa de suporte	1
98	Placa de suporte	1
99	Placa de suporte	1
100	Placa de suporte	1

ESCALA: SE FECHA: Nov. 57 DIB. P.A.D. REV. A.L.R. MATERIAL: Aço 1018

NOME: Plano de raide.

TRAT. TERM. CLASSE 7A

MILIMETROS

100% LINHA

F. 1.1

CAO-CAN-CAE

PLANO 1 DE 1

No. 171251-1 42

## TABLA DE REFERENCIAS

- [1] José Mopin Poblet, Sistemas CAD/CAM/CAE, Publicaciones Marcombo.
- [2] Joel Frados, Plastics Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold.
- [3] The World of Plastics, British Plastics Federation.
- [4] Dominick V. Rosato, Injection Molding Handbook, Van Nostrand Reinhold.
- [5] G. Menges, Moldes para inyección de plásticos, Gustavo Gili S.A.
- [6] Walter Mink, Inyección de plásticos, Gustavo Gili S.A.
- [7] Mikell P. Groover, CAD/CAM, Prentice Hall.
- [8] David L. Goetsch, CIM Technology, Delmas Publishers Inc.
- [9] Louis T. Manzione, CAE in Injection Molding, Hanser Publishers.
- [10] Joseph B. Dym, Injection Molds and Molding, Van Nostrand Reinhold.
- [11] Catálogo DME.
- [12] Gianni Bodini, Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos, McGraw Hill.
- [13] Fuente IMPI.
- [14] B. Hawkes, CAD CAM, Paraninfo.
- [15] Jean Vergnas, Máquinas herramientas con control numérico, URMO.