



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTTLÁN**

**DISEÑO DE CAVIDADES INTERCAMBIABLES PARA UN  
MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A:**

**FERMÍN PÉREZ MONTIEL**

**ASESOR: M.I. ÁLVARO AYALA RUÍZ  
LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA ASISTIDA POR COMPUTADORA (LIMAC)  
CENTRO DE DISEÑO MECÁNICO (CDM), UNAM**

**CUAUTTLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**2002**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVIENMA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES - CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes.  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Diseño de cavidades intercambiables para  
un molde de inyección de plástico"

que presenta el pasante: Fernán Pérez Montiel  
con número de cuenta: 08103748-3 para obtener el título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Enero del 2002

PRESIDENTE Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez

VOCAL Ing. Miguel Ángel Bárcenas Sarabia

SECRETARIO M. I. Alvaro Ayala Ruiz

PRIMER SUPLENTE M. I. Víctor Hugo Hernández Gómez

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Lucía García Luna

## **DEDICATORIAS**

**A mi Mamá y Hermanos:**

**Leonor Esther Montiel Montufar, Alfredo, Adán y Daniel, por su apoyo que tengo de ustedes como mi familia siempre optimistas con la visión de salir adelante y con la ayuda de Dios, con mucho respeto y cariño.**

**Sería una omisión de mi parte, no decir que he logrado hacer este trabajo una realidad al tener presente, la memoria de mi padre el Sr. Adán Pérez Salinas, para esforzarnos, día con día, por hacer bien las cosas cada uno de nosotros.**

**A mi esposa e hijas:**

**María Catalina, Nancy Yareli, América Verence, por su apoyo, paciencia y por valorar la importancia de terminar este trabajo en el que he puesto mucho esfuerzo.**

**FERMÍN PÉREZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Expreso mi profundo agradecimiento al M. I. Álvaro Ayala Ruiz por la dirección y apoyo, para la realización de esta tesis, y por compartir sus muy valiosos conocimientos y experiencia.**

**Doy las gracias a todos los profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica Electricista que se imparte en la FES - Cuautitlán, ya que fueron ellos quienes me dieron la formación profesional.**

# ÍNDICE.

Capítulo 1 Introducción. ....	1
Capítulo 2 Plásticos. ....	3
2.1 Introducción .....	3
2.2 Definición .....	3
2.3 Materias primas .....	3
2.4 Métodos de obtención .....	3
2.5 Reacción de polimerización .....	4
2.5.1 Adición .....	4
2.5.2 Condensación .....	4
2.5.3 Copolimerización .....	4
2.6 Clasificación .....	4
2.6.1 Termoplásticos .....	5
2.6.2 Termofijos .....	5
2.7 Acrónimos .....	5
2.8 Características de los Plásticos de Ingeniería y los termoplásticos Polietileno, Polipropileno, Poliestireno.....	6
2.8.1 Plásticos de Ingeniería .....	7
2.8.2 Plásticos de uso común .....	11
Capítulo 3 El molde de inyección. ....	19
3.1 Introducción .....	19
3.2 Clasificación de las máquinas de inyección .....	19
3.3 La máquina de inyección .....	20
3.3.1 Sistema de cierre .....	20
3.3.2 Sistema de inyección y plastificación .....	21
3.3.3 Sistema hidráulico general .....	21
3.4 Sistema de control de temperatura .....	22
3.5 El proceso de inyección .....	22
3.6 El molde de inyección .....	22
3.6.1 Elementos del molde de inyección .....	24
3.7 Tipos de moldes de inyección .....	26
3.7.1 Por el tipo de inyección .....	27
3.7.2 Por el tipo de extracción .....	28
3.7.3 Por el tipo de construcción .....	28
3.7.4 Por el tipo de transmisión .....	29
3.8 Sistema de alimentación .....	29
3.8.1 Flujo plástico .....	36
3.9 Número de cavidades .....	37

3.10 Fuerza de cierre .....	39
3.11 Ventilación del molde .....	40
3.12 Sistema de enfriamiento .....	41
3.12.1 Canales en espiral .....	42
3.12.2 Canales rectilíneos .....	43
3.12.3 Enfriamiento en serie .....	43
3.12.4 Enfriamiento en paralelo .....	44
3.13 Botado de piezas .....	44
3.13.1 Varillas expulsoras .....	45
3.13.2 Eyector anular .....	45
3.13.3 Botado por aire .....	46
3.14 Contracción de la pieza .....	46
3.15 Materiales para el molde .....	47
3.16 Acabado superficial .....	48
3.17 Deformación del molde .....	50
3.18 Normalización de moldes .....	51
3.19 Molde de insertos intercambiables .....	53
Capítulo 4 Diseño del molde de inyección. ....	54
4.1 Introducción .....	54
4.2 Cálculo del volúmen de las piezas .....	55
4.2.1 Volúmen de la escuadra .....	55
4.2.2 Volúmen del desarmador .....	56
4.2.3 Volúmen del serrucho .....	57
4.3 Selección del material .....	58
4.4 Cálculo del peso de las piezas .....	59
4.5 Cálculo de los canales de alimentación y bebedero .....	59
4.5.1 Cálculo del volúmen para canales primarios y secundarios .....	59
4.5.2 Cálculo del volúmen del material inyectado .....	60
4.5.3 Cálculo del cono del bebedero .....	61
4.5.4 Peso total de la escuadra con canales principales, secundarios y cono del bebedero .....	62
4.6 Tiempo de inyección .....	62
4.7 Canales de estrangulamiento .....	62
4.8 Fuerza de cierre requerida .....	63
4.9 Barras espaciadoras .....	64
4.10 Deformación del molde .....	65
4.11 Enfriamiento del molde .....	65
4.11.1 Cálculo de la distancia entre el canal de enfriamiento y la superficie del molde .....	65
4.11.2 Canales de enfriamiento .....	66
4.11.3 Cálculo del calor a disipar .....	67
4.11.4 Cálculo del tiempo de enfriamiento .....	67

4.12 Sistema de botado .....	68
4.13 Selección de la placa porta molde .....	68
4.14 Ajustes .....	68
4.14.1 Ajustes para pernos guías .....	69
4.14.2 Ajustes para las camisas de pernos guías .....	70
4.14.3 Ajustes para las placas porta insertos .....	71
4.15 Planos del molde .....	72
4.16 Costos .....	95
4.16.1 Costo del molde .....	95
4.16.2 Costos de cada pieza y del set de tres piezas .....	95
4.16.3 Costos relacionados con el ciclo de inyección .....	95
4.16.4 Precio sugerido de venta .....	95
4.16.5 Tiempo para recuperar la inversión (solo molde y materia prima) .....	96
4.16.6 Tiempo para recuperar la inversión (Incluyendo Máquina, molde y materia prima .....	96
Capítulo 5 Conclusiones .....	97
Bibliografía .....	99
Anexos .....	101
Anexo A Datos de la máquina de inyección .....	102
Anexo B DME Poppets .....	105
Anexo C Nomograma para el cálculo del tiempo del tiempo de enfriamiento...	108

## Capítulo 1. Introducción.

El plástico se ha convertido en un material de primera necesidad, a pesar de que muchas personas pronosticaban que nunca reemplazaría al metal o a la madera. Su moldeo, ya sea por extrusión, inyección u otros procesos, permite producir prácticamente cualquier geometría, en cantidades ilimitadas y con costos de operación relativamente bajos.

Los dos métodos más utilizados de procesamiento de plásticos son el moldeo por inyección y la extrusión; en la inyección se tiene la ventaja de producir piezas moldeadas que pueden ser manufacturadas a un costo económico y prácticamente sin ninguna operación final de acabado.

El éxito del proceso de inyección de plásticos se asegura con un buen molde. El desarrollo continuo que se ha registrado en éste proceso exige cada vez más la calidad en diseño, selección de materiales y procesos de manufactura para los moldes utilizados.

Durante los últimos años se han introducido en el mercado sistemas para cambios rápidos de moldes, con los cuales se ahorra el tiempo invertido en dicha actividad; además, se ha hecho necesario tener una mayor flexibilidad en el moldeo de piezas diferentes. Por lo tanto, el objetivo es proponer el diseño de un molde que permita obtener piezas iguales en una colada pero diferentes con un sencillo cambio de herramienta.

En respuesta a estas necesidades, proponemos diseñar un molde de cavidades intercambiables.

El uso de las cavidades intercambiables busca minimizar el tiempo de montaje y desmontaje de los moldes a la máquina, debido a que sólo se tiene un molde para inyectar piezas diferentes con el cambio respectivo de los insertos, lo cual resulta práctico en la manipulación del molde y se optimiza el tiempo, reflejándose esto en la productividad.

De igual manera este concepto puede ser utilizado en la fabricación de los moldes prototipos que buscan la viabilidad y justificación de los que serán utilizados para producciones de gran volumen y con esto se evita la manufactura de un molde de una pieza que no tenga éxito en el mercado y que las pérdidas económicas sean menores.

Para cumplir con el objetivo, el presente trabajo se desarrolló de la siguiente manera:

El Capítulo 2 está dedicado a los plásticos. Se analiza de una manera muy breve la clasificación, propiedades, métodos de obtención y aplicación que deben tomarse en cuenta para cumplir con los requerimientos de funcionamiento y las características de moldeabilidad de las piezas producidas por inyección.

En el Capítulo 3 se da la parte teórica del molde de inyección. El análisis va desde la clasificación de las máquinas de inyección y la descripción del proceso de inyección, hasta la clasificación de los moldes y las partes que componen un molde de inyección, así como los parámetros requeridos para el diseño del mismo.

El diseño del molde se detalla en el Capítulo 4. Se describen y se analizan las fórmulas importantes para los cálculos del diseño del molde de inyección, que involucran las partes que integran el molde, el tipo de sistema de enfriamiento y los tipos de aceros que se utilizan para la manufactura del mismo; el cálculo de la contracción de la pieza, la determinación del acabado superficial que deba tener el molde y las cavidades. Al final del capítulo se integran los planos del diseño del molde y los costos del proyecto.

Finalmente en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones.

## **Capítulo 2. Plásticos.**

### **2.1 Introducción.**

En el presente capítulo se describirán los plásticos, se dará una definición de ellos, explicaremos brevemente las materias primas y los métodos de obtención, hablaremos que son los acrónimos y para que sirven, daremos una clasificación de acuerdo a su comportamiento térmico, y por último, hablaremos de las características, propiedades y aplicaciones de algunos de los plásticos de mayor consumo, así como de plásticos de ingeniería, que por sus características en cuanto a propiedades y aplicaciones merecen ser considerados.

### **2.2 Definición.**

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico, formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente, aunque pueden tener también oxígeno, cloro, flúor, azufre y silicio. Son obtenidos mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural, siendo posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicándoles calor y presión.[2]

Los monómeros son las unidades básicas con las que se forman las estructuras y de su nombre químico se basa la designación del polímero. Por lo tanto, los polímeros son uniones de monómeros repetidos que conforman una estructura íntegra.

### **2.3 Materias primas.**

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo, debido a que de él se derivan los productos que originan diferentes tipos de plásticos. Otras materias primas que se emplean para este mismo fin, pero en menor proporción, son el carbón y el gas natural, debido a que la proporción de materias primas que se pueden generar a partir de ellos es menor que las obtenidas a partir del petróleo. Es importante mencionar que también otras materias primas para la fabricación de plásticos son algunas sustancias naturales como la madera y el algodón de donde se obtiene la celulosa, así como algunos productos químicos.

Todas estas materias primas como son el petróleo, el carbón, el gas natural, la madera y el algodón, tienen en común de contener en su estructura carbono e hidrógeno, así como también en ocasiones oxígeno, nitrógeno, azufre o cloro. De estas materias primas se obtienen ciertos compuestos que son básicos para la fabricación de la mayoría de los plásticos como son: Etileno, propileno, butadieno y benceno.[10]

### **2.4 Métodos de obtención.**

Los polímeros son el resultado de la modificación de productos naturales o bien de reacciones de síntesis de materias primas más elementales. Las reacciones de síntesis son reacciones químicas que se llevan a cabo con un catalizador, presión y calor, en las que los

monómeros se combinan para formar un polímero, que puede ser diseñado por las reacciones iniciales del mismo y/o por reacciones posteriores con otros reactivos.

A esta reacción se le llama polimerización y para que se lleve a cabo, requiere de un medio para efectuarse, el encargado de proveer este medio es el catalizador.

En las reacciones de polimerización, las moléculas monoméricas forman enlaces entre ellas, de forma que se obtienen cadenas moleculares muy largas. Estos enlaces se inician gracias a la aplicación de ciertas condiciones de presión y temperatura, además de la adición de sustancias llamadas iniciadores, que fomentan el inicio de esta reacción colaborando en el control sobre esta.[7]

## 2.5 Reacciones de Polimerización.

Las reacciones de Polimerización más comunes se pueden clasificar en [2]:

- Por adición
- Por condensación
- Copolimerización

### 2.5.1 Adición.

Se caracteriza porque el esqueleto del polímero esta compuesto solamente de átomos de carbono y el número de átomos en la unidad repetitiva es igual al número de átomos en el monómero precursor con un doble enlace y es una reacción en cadena. La masa final de cada molécula es la suma de las masas de los monómeros originales.

### 2.5.2 Condensación.

Se caracteriza porque en el esqueleto principal del polímero se encuentran otros tipos de átomos diferentes al carbono, por ejemplo, oxígeno y nitrógeno; además el número de átomos en la unidad repetitiva es menor que el encontrado en los monómeros precursores debido a que, durante la reacción, algunas moléculas como agua, alcohol o amoniaco, se forman como subproductos. Varios átomos de hidrógeno en una cadena pueden ser reemplazados por otros elementos, como el cloro o el flúor que retardan la combustión.

### 2.5.3 Copolimerización.

Es la polimerización conjunta de dos o varios monómeros diferentes, donde la macromolécula del copolímero obtenido contiene como unidades estructurales los monómeros participantes.

## 2.6 Clasificación.[10]

De acuerdo a su comportamiento térmico los plásticos se pueden clasificar en (Figura 1):

- Termoplásticos:
  - Amorfos
  - Parcialmente cristalinos
- Termofijos.

- Elastómeros:
  - Termofijos
  - Termoplásticos

TERMOFIJOS	TERMOPLASTICOS • Funden		ELASTOMEROS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rígidos</li> <li>• No Funden</li> <li>• Carbonizan</li> </ul> 	<b>CRISTALINOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Translúcidos</li> <li>• Tenaces</li> </ul> 	<b>AMORFOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparentes</li> <li>• Rígidos</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No Funden</li> <li>• Entrecruzables</li> <li>• Elongables</li> </ul> 
UP, EP, PF, UF SI, PUR	PE, PP, POM PA, PBT, PET	PS, PVC, PC PET, PMMA	NR, SB, EPDM SI, PUR

Figura 1. Clasificación de los plásticos.

### 2.6.1 Termoplásticos.

Se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor y se disuelven o se hinchan al contacto con solventes.

- Termoplásticos amorfos:

Se caracterizan porque sus moléculas filamentosas y ramificadas están en completo desorden. Este arreglo molecular permite el paso de la luz, razón por la cual son transparentes o translúcidos.

- Termoplásticos parcialmente cristalinos:

Se caracterizan por que presentan ordenamiento molecular en el que se aprecia cierto paralelismo dentro de los filamentos moleculares y sus ramificaciones son mas cortas. Dicho ordenamiento equivale al ordenamiento de átomos o moléculas en forma de cristales, los cuales se oponen al paso de la luz provocando una apariencia lechosa o translúcida.

### 2.6.2 Termofijos.

Son materiales rígidos que presentan una estructura molecular compleja tipo red. Debido a su estructura no son moldeables plásticamente, no se funden, resisten elevadas temperaturas y al quemarse simplemente carbonizan o se degradan en otras sustancias.

### 2.7 Acrónimos.

La denominación de los plásticos se basa en el nombre de las materias primas, es decir los monómeros utilizados en su fabricación. Como se puede observar, los nombres químicos de los polímeros con frecuencia son muy largos y difíciles de utilizar; para aligerar este problema se introdujeron las siglas o acrónimos, los cuales han sido normalizados. (Tabla 1).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 1. Acrónimos de algunos plásticos.[10]**

<b>Acrónimo</b>	<b>Nombre</b>
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ASA	Estireno Acrilonitrilo Acrilato
CA	Acetato de Celulosa
EP	Resina Epoxica
EPS	Poliestireno Expansible
EVA	Etil Vinil Acetato
EVOH	Alcohol Polivinílico
HDPE o PEAD	Polietileno de Alta Densidad
LDPE o PEBD	Polietileno de Baja Densidad
MF	Melamina Formaldehído
PA	Poliamida
PB	Polibutíleno
PBT	Polibutílen Tereftalato
PC	Policarbonato
PEI	Poliéster Imida
PES	Poliéster Sulfona
PET	Poliétilen Tereftalato
PF	Fenol Formaldehído
PMMA	Polimetil Metacrilato
POM	Polioxido de Metileno
PP	Polipropileno
PPO	Polioxido de Fenileno
PS	Poliestireno
PSU	Polisulfona
PTFE	Politetrafluoroetileno
PUR	Poliuretano
PVC	Policloruro de Vinilo
PVDC	Policloruro de Vinilideno
SAN	Estireno Acrilonitrilo
SB	Copolimero Estireno-Butadieno
SI	Silicon
TPE	Elastomero Termoplástico
TPU	Poliuretano Termoplástico
UF	Urea de Formaldehído
UHMWPE	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
PU	Resina de Poliéster Insaturada

## **2.8 Características de los Plásticos de Ingeniería y los termoplásticos Polietileno, Polipropileno y Poliestereno.[2][7][10]**

Los plásticos de mayor consumo, de acuerdo a su importancia comercial y a sus aplicaciones en el mercado se denominan de uso común y es en donde se clasifican el Polipropileno, el Polietileno y el Poliestereno. Algunas de las propiedades de estos plásticos pueden ser modificadas mediante el uso de aditivos, cargas y refuerzos, logrando mejorarlas significativamente a costa de disminuir otras.

Sin embargo, hay aplicaciones que requieren de un alto desempeño funcional, así como de un excelente conjunto de propiedades, como resistencia mecánica y límites de temperatura elevados que difícilmente serían alcanzadas por los de uso común; es aquí, en donde entran los Plásticos de Ingeniería como el Policarbonato, el Poliéster, las Poliamidas y los Poliacetales.

Estos suelen ser más caros y los encontramos en aplicaciones como engranes, carcasas de electrodomésticos y equipos de uso rudo, en la industria automotriz desde calaveras hasta contenedores y mangueras, aplicaciones que requieren resistencia a altas temperaturas, etc. Es por esta razón que creemos importante mencionarlos y dar algunas de las características más sobresalientes de estos plásticos, así como algunas de las aplicaciones más frecuentes.

Posteriormente hablaremos del Polietileno, el Polipropileno y el Poliestireno, que por sus características, propiedades y precio son de los más utilizados y compiten directamente unos contra otros en aplicaciones de uso común, como pueden ser empaques, envases, juguetes, tapas y diversos artículos flexibles.

Debido a que la aplicación práctica de nuestro tema de tesis es un juguete, enfocaremos nuestra atención a estos tres plásticos por ser los más económicos, de fácil procesamiento, además de que el producto final no requiere altas propiedades mecánicas.

## 2.8.1 Plásticos de Ingeniería. [10][7]

### I. Estireno Acrilonitrilo (SAN)

Es la copolimerización de acrilonitrilo con poliestireno; tiene muchas de las propiedades útiles del poliestireno, como son la transparencia, brillo superficial y facilidad de procesamiento, favorecidos por las propiedades que imparte el acrilonitrilo que son: elevada resistencia térmica y química.

Es común en aplicaciones de enseres domésticos, como vasos de licuadora, vajillas y encendedores (Figura2), así como en cubiertas de refrigeradores y otros electrodomésticos, donde se requieran cubiertas transparentes y resistentes química y mecánicamente.



Figura 2. Aplicaciones en aspas de ventiladores y en cuerpos de encendedores.

## II. Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno ( ABS )

Es el resultado de la combinación de tres monómeros. Se puede considerar que cada monómero, participa en el polímero impartiendo las siguientes propiedades: Acrilonitrilo: resistencia química y térmica; Butadieno: resistencia al impacto; Estireno: brillo y procesabilidad. Es un plástico muy versátil en sus aplicaciones, principalmente de carcasas para diversos aparatos electrodomésticos (Figura 3), como teléfonos, computadoras, etc.

Una gran limitante es su exposición a la luz solar, que se manifiesta como pérdida de resistencia al impacto.



Figura 3. Aplicaciones en carcasas

## III. Acrilonitrilo-Estireno-Acrilato (ASA)

Las propiedades son muy semejantes al ABS, pero mantiene sus propiedades por más tiempo bajo la incidencia de rayos UV, por lo que sus aplicaciones están dirigidas a productos expuestos constantemente a la luz solar, presenta alta resistencia a impactos, resistencia química además de un excelente brillo y apariencia estética.

Algunas de sus aplicaciones son carcasas de espejos retrovisores, componentes de antenas, fantasmas de carretera, señalizaciones viales, portamaletas para automóvil (Figura 4), etc.



Figura 4. Aplicaciones en portamaletas y parrillas para automóvil.

## IV. Polimetil Metacrilato (PMMA)

Mejor conocido como acrílico, su propiedad más sobresaliente es su excelente transparencia, además de una buena rigidez, aceptable resistencia al impacto, gran resistencia a la intemperie y buena resistencia química, excepto para algunos solventes orgánicos. Presenta buena resistencia a la tensión y flexión.

Algunas de sus aplicaciones son: domos, piezas decorativas, luminarias, anuncios luminosos, reflectores de automóvil, calaveras (Figura 5), usos médicos, lentes , etc.



Figura 5. Calaveras de automóvil de PMMA.

## V. Poliamidas (PA)

El grupo de las Poliamidas también conocido como Nylon, es uno de los más variados y dependiendo del proceso utilizado para su obtención, así como del tipo de materias primas, se pueden lograr diversos grados de estos polímeros. Las Poliamidas más utilizadas comercialmente son la Poliamida 6 y la Poliamida 6/6.

Su éxito como plásticos de ingeniería está asociado con su buen balance de propiedades mecánicas y químicas. Sobresale su resistencia al desgaste y abrasión, así como a la fatiga, tensión e impacto. Por su elevada absorción de humedad, presentan una pobre estabilidad dimensional. Su resistencia térmica es buena mientras no sean sometidas a cargas fluctuantes. Presentan alta dureza, gran capacidad de soportar cargas dinámicas, así como amortiguación de ruido y vibraciones. Entre sus aplicaciones encontramos una gran variedad de componentes mecánicos como engranes, bujes, levas, carcasas de uso rudo.

Dentro de la industria automotriz (Figura 6) se aprovecha su resistencia química y térmica en tapones de gasolina, mangueras, cables, ventiladores, carcasas de radiador; como fibra de uso textil y monofilamentos usados para la confección de cuerdas para llantas, redes e hilo quirúrgicos, cerdas para cepillos dentales; aislante de alta tensión; como película presenta baja permeabilidad al oxígeno, grasa y aceites, por lo que se ha abierto el mercado de laminaciones para empaque de carnes , quesos, etc.



Figura 6. Aplicaciones en la industria automotriz.

## VI. Polibutilen Tereftalato (PBT)

Su estructura es cristalina, presenta elevada resistencia térmica y química, excelentes propiedades mecánicas y dieléctricas, así como brillo superficial. Sus principales aplicaciones se encuentran en la sustitución de plásticos termofijos en partes que deben soportar altas temperaturas como son carcasas de planchas, partes automotrices expuestas a elevadas temperaturas, (Figura 7).



Figura 7. Conectores eléctricos y ventiladores automotrices.

## VII. Policarbonato (PC)

Presenta una estructura amorfa, una gran transparencia y brillo, resistencia a la flama y a altas temperaturas, siendo su principal característica su elevada tenacidad y resistencia al impacto, las cuales son superiores a las de la mayoría de los plásticos rígidos. Presenta buenas propiedades ópticas así como excelente resistencia a la intemperie.

La estabilidad dimensional de las piezas moldeadas es muy buena y presenta baja absorción de agua. Sin embargo una gran limitante es su baja resistencia química, los hidrocarburos, ésteres, cetonas, aminas y bases fuertes afectan severamente sus características físicas.

Las aplicaciones del Policarbonato van desde domos, luminarias, faros automotrices; por su naturaleza atóxica ha penetrado en el sector de envase de alimentos como pueden ser garrafrones, botellas, así como aplicaciones de uso doméstico, como biberones, recipientes para microondas; en artículos de uso médico ya que puede ser esterilizado; cascos, micas, lentes y escudos protectores por su alta resistencia al impacto; discos compactos, señalizaciones, carcasas de aparatos y herramientas de uso rudo, etc.(Figura 8).



Figura 8. CD's y garrafrones de Policarbonato.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VIII. Polióxido de Metileno (POM)

Se les conoce como acetales, su estructura es cristalina, de color blanco. Presentan excelentes propiedades mecánicas que los distinguen entre los mejores plásticos de ingeniería. Tienen baja absorción a la humedad, lo que les permite ser utilizados con ventajas sobre otros plásticos de ingeniería en partes mecánicas, donde la exactitud y estabilidad dimensional son primordiales, así como en mecanismos de partes eléctricas donde la humedad es indeseable.

Los acetales se caracterizan por su alta resistencia al impacto, gran rigidez y tenacidad, pero la propiedad más relevante es su alta resistencia a la fatiga, muy bajo coeficiente de fricción y autolubricidad. Tienen una gran resistencia a la degradación térmica, así como a altas y bajas temperaturas. Tiene aplicaciones en juguetes, cremalleras, componentes electrodomésticos, engranes, rodamientos y bandas transportadoras, conexiones para tuberías, bombas, conectores eléctricos, componentes de plomería y válvulas hidráulicas, etc.( Figura 9 ).

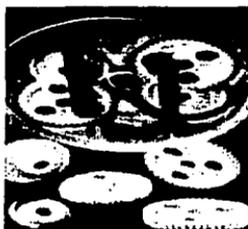


Figura 9. Gran exactitud dimensional en engranes.

### 2.8.2 Plásticos de uso común.[7][10]

#### I. Polietileno (PE)

El Polietileno es un termoplástico que pertenece a la familia de las Poliolefinas. Proviene de hidrocarburos simples cuya estructura está compuesta por átomos de carbono e hidrógeno y con dobles enlaces C=C. Estos materiales tienen una gran importancia dentro del sector del envase y empaque, principalmente como película. El criterio de clasificación más empleado para este plástico es la densidad (Tabla 1), la cual afecta en forma directa muchas propiedades, como tenacidad, permeabilidad a gases y resistencia a grasas (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación según la densidad. Unidades en  $\text{g/cm}^3$  [10]

TIPO I	Muy baja densidad Baja densidad	VLDPE LLDPE LDPE	0.900-0.925
TIPO II	Media densidad	MDPE	0.926- 0.940
TIPO III	Alta densidad	HDPE	0.941-0.960
TIPO IV	Con densidad mayor a 0.96	UHDPE	Mayor a 0.960

Tabla 3. Efecto de la densidad sobre propiedades.[10]

PROPIEDAD	EFEECTO
RIGIDEZ	AUMENTA
DUREZA	AUMENTA
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	AUMENTA
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	AUMENTA
RESISTENCIA QUÍMICA	AUMENTA
BARRERA A GASES	AUMENTA
BRILLO	DISMINUYE
IMPACTO A BAJAS TEMPERATURAS	AUMENTA
RESISTENCIA AL RASGADO (PELÍCULAS)	DISMINUYE
ELONGACIÓN	DISMINUYE

Algunos aditivos utilizados para modificar sus propiedades son:

- Agentes deslizantes y antibloqueantes en caso de películas, para evitar la adherencia.
- Antioxidantes que evitan la degradación.
- Retardantes a la flama para aplicaciones específicas.
- Negros de humo que proporciona resistencia a la luz UV.
- Pigmentos o colorantes.

#### a) Polietileno de baja densidad (PEBD)

Presenta una estructura ramificada, se comporta como un material altamente flexible y su apariencia natural es translúcida y de aspecto ceroso. Es inodoro, impermeable al agua, poco permeable al vapor de agua y gases, es buen aislante en alta y baja tensión, tiene resistencia química y es atóxico. Presenta buena elongación ante la aplicación de fuerzas de tensión y la resistencia al impacto es muy buena. Es de fácil procesamiento, su punto de fusión es de 110°C y mantiene sus propiedades hasta los 60°C.

La mayor aplicación se encuentra en el sector del envase y empaque, destacando su utilización en bolsas, botellas, tubos flexibles, película estirable (stretch) y termoencogible, tapas y diversos artículos flexibles, recubrimientos de cable y alambre, etc.(Figura10)



Figura 10. Bolsas, película estirable y termoencogible, tapas y artículos flexibles.

### b) Polietileno de alta densidad (PEAD)

Tiene una estructura ramificada y es semicristalino, presenta una menor flexibilidad que el de baja densidad, debido a su mayor peso molecular, por lo que se clasifica como un plástico semirígido. Tiene un color natural translúcido y de aspecto ceroso. Tiene buena resistencia al impacto, elevada resistencia a la tensión y a la abrasión, así como a la flexión. Es un excelente aislante eléctrico y mantiene alta resistencia al ataque de agentes químicos y es atóxico. Tiene una alta permeabilidad a gases, aromas y ciertos líquidos. Es de fácil procesamiento y presenta elevada contracción de moldeo. Su punto de fusión se encuentra entre 130 y 136 °C y su temperatura máxima de servicio oscila entre los 70 y 80 °C.

Algunas aplicaciones son: enseres domésticos, como cubetas, tinas, recipientes de cocina, botellas para jugos, shampoos, cajas para refrescos, tarimas, juguetes; como aislante de cable y alambre; tubos y mangueras, etc.(Figura 11)



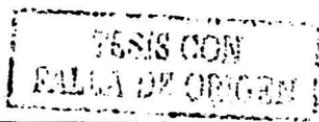
Figura 11. Envases y recipientes. Contenedores de gran tamaño.

## II. POLIPROPILENO (PP)

Es un termoplástico que pertenece a la familia de las Poliolefinas. Presenta una estructura semicristalina de apariencia translúcida. Su elevado punto de fusión de 175°C proporciona una mejor resistencia térmica, que permite su uso en productos que requieren esterilización o pasteurización por calor como son las jeringas desechables o envases para alimentos, presenta excelente resistencia química, es sensible a la degradación por calor o radiación UV y es frágil a bajas temperaturas. Presenta una moderada rigidez y tenacidad, por lo que se clasifica como un plástico semirígido. Su resistencia a la abrasión es buena. Es de fácil procesamiento y la contracción de moldeo es menor que la del Polietileno.

Tiene una excelente rango de elongación, lo que justifica el amplio uso de este material en la fabricación de películas, así como para rafia y cuerdas. Por su buena resistencia al impacto se emplea para fabricar carcasas de electrodomésticos, gabinetes, portafolios, aspas para lavadoras y botellas.

Al polipropileno, así como a la mayoría de los polímeros, necesitan de aditivos y cargas que facilitan el procesamiento además de mejorar sus propiedades. El polipropileno utiliza los siguientes aditivos y cargas:



- Agentes nucleantes. Fomenta que la cristalización del material sea más rápida y que los cristales sean de menor tamaño, reduciendo el tiempo de ciclo e incrementando la claridad del producto.
- Antiestáticos. Elimina las cargas estáticas generadas al retirar los productos moldeados.
- Antioxidantes. Inhiben o retardan el mecanismo de oxidación provocado por las altas temperaturas de proceso y que afecta las propiedades del material.
- Estabilizadores a la luz UV. Evitan la degradación causada por la radiación UV.
- Clarificantes. Le da al polipropileno transparencia.
- Lubrificantes. Minimizan la fricción de la masa fundida con la máquina.
- Modificadores de impacto. Aumentan la resistencia al impacto del polímero ya que proporciona características de elasticidad.
- Retardantes a la flama. Inhiben las características de inflamabilidad.
- Talco. Incrementa la rigidez, mejor resistencia a la deformación por calor, permite reducir espesores de pared, sin embargo reducen la resistencia al impacto a bajas temperaturas y le da una apariencia opaca al producto. Aumenta la densidad y disminuye la contracción de moldeo. Aplicaciones en ductos de aire para automóviles, tableros, salpicaderas, aspas de lavadora.
- Carbonato de Calcio. Proporciona resistencia al impacto y estabilidad dimensional. Proporciona un color blanco, resistencia a la degradación del plástico, estabilidad a la luz UV, resistencia a la fatiga y estabilidad térmica. Aplicaciones en sillas y muebles para jardín, tapas y rejillas de ventilación.
- Fibra de Vidrio. Proporciona una elevada resistencia a la tensión a elevadas temperaturas, así como buena rigidez, estabilidad dimensional, resistencia química y térmica. Sin embargo tiene poca resistencia al impacto, la superficie del producto se opaca y provoca desgaste en la maquinaria y el molde por ser un material abrasivo. Algunas de sus aplicaciones son salpicaderas y soportes para tableros automotrices.

Existen dos tipos de polipropileno: homopolímero y copolímero.

- Los homopolímeros tienden a ser frágiles a bajas temperaturas pero tienen elevada resistencia a altas temperaturas.
- Los copolímeros son más tenaces, presentan buena resistencia a bajas temperaturas, es más flexible y más resistente al impacto que el homopolímero, pero su resistencia química es menor que éste último, acentuándose a temperaturas elevadas.

Así, se puede decir que el homopolímero presenta mejor resistencia a la temperatura, mientras que el copolímero presenta mejor resistencia al impacto.

Las aplicaciones más importantes del polipropileno son las películas biorientadas utilizadas en el empaque de botanas, pastas, galletas, productos secos en general; fibras textiles para alfombras, rafia para costales, cuerdas, juguetes, enseres domésticos, botes y botellas, recipientes herméticos, envases, etc.(Figura 12)



Resistencia Térmica  
Resistencia al Impacto  
Estérilizable  
Atóxico



■ Resistencia al Impacto  
■ Atóxico  
■ Apariencia Brillante



Figura 12. Enseres domésticos, productos de uso médico y juguetes.

### III. Poliestireno (PS)

El Poliestireno es un termoplástico que pertenece a la familia de los Estirénicos. Presenta una estructura amorfa y de elevada transparencia, característica que distingue al poliestireno junto con el alto brillo superficial. Básicamente existen tres tipos de poliestireno: Poliestireno cristal, impacto y expansible.

#### a) Poliestireno cristal

De estructura amorfa, se considera uno de los plásticos de mayor transparencia y brillo superficial. Sin embargo presenta alta rigidez y fragilidad; es considerado como uno de los plásticos de más fácil procesamiento, sus aplicaciones se dirigen a campos donde no se requiere de estabilidad a la intemperie, debido a que la luz ultravioleta causa amarillamiento y pérdida de propiedades mecánicas. Presenta baja resistencia al impacto y gran rigidez así como estabilidad térmica. Es buen aislante eléctrico y su resistencia química es de regular a baja. Resiste ácidos orgánicos e inorgánicos concentrados y diluidos, excepto alcoholes, sales y álcalis. Su temperatura máxima de uso continuo oscila entre 70 y 90 °C.

Es posible utilizar aditivos y cargas como retardantes a la flama, fibra de vidrio, estabilizadores de luz UV, modificadores de impacto, esferas de vidrio, etc. Sus aplicaciones más comunes son estuches para cassettes y CD, envases y vajillas desechables, cancelería para interiores, joyería de fantasía, juguetes, cubiertos y vasos desechables, reglas, escuadras, frascos y botellas, imitación cristal cortado, etc.(Figura13).



CAJAS PETRI



DESECHABLES

Figura13. Vasos desechables, cajas petri.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### b) Poliestireno impacto

Es amorfo y su resistencia al impacto se basa en el contenido de Polibutadieno presente en el compuesto, el Polibutadieno es un elastómero opaco que al combinarse con el Poliestireno hace que este pierda su transparencia. Existen básicamente dos grados de poliestireno impacto: medio impacto y alto impacto.

Su color natural va de translúcido a opaco, y sus propiedades son similares a las de poliestireno de uso general. Se ven afectados con las exposición continua a las radiaciones de luz UV. Poseen alta rigidez y dureza, presentan bajas propiedades de barrera, poca resistencia a la grasa y a temperaturas elevadas. Poseen una resistencia al impacto entre dos o cuatro veces superior al Poliestireno cristal. Mantiene sus propiedades desde los 60 °C hasta los 80 °C dependiendo del contenido de modificador de impacto.

El Poliestireno medio impacto es translúcido, y se emplea prácticamente en las mismas aplicaciones del poliestireno cristal, donde la transparencia no es importante pero se requiere de una mayor resistencia al impacto, por ejemplo en los estuches de cassettes o CD.

El Poliestireno alto impacto presenta apariencia opaca por su alto contenido de butadieno y se emplea en la fabricación de algunas carcasas de uso ligero, así como en partes que están sujetas a uso severo, como asientos sanitarios, carretes industriales, carcasas de electrodomésticos, cuerpos de cassettes y juguetes, envases y empaques de pared delgada, etc.(Figura14).



Figura 14. Estuches de CD, envases y recipientes.

### c) Poliestireno expansible

Presenta excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico, tiene muy baja densidad, buena resistencia a la compresión, tiene una gran estabilidad dimensional, resistente al impacto con alto poder de amortiguamiento, no absorbe humedad, es atóxico y no es atacado por bacterias. Resistente a la mayoría de los ácidos, soluciones alcalinas y salinas, soporta el intemperismo y es inerte a los metales. Sin embargo no resiste solventes orgánicos ni aceites minerales. Tiene aplicaciones en el sector de la construcción como casetones, bovedillas, contenedores médicos, empaques de productos químicos, vasos desechables del tipo térmico, hieleras, etc.(Figura15)

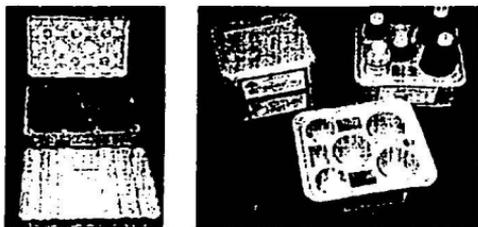


Figura 15. Contenedores térmicos, hieleras.

En las tablas 4 y 5 se comparan algunas propiedades, precios y aplicaciones de distintos tipos de plásticos.

Tabla 4. Comparación entre el PEAD, PEBD, PP y PS.

PLASTICO	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Precio (\$/kg)	Contracción de moldeo (%)	Resistencia a la tensión. (kg/cm <sup>2</sup> )	Elongación (%)	Temperatura de servicio (°C)	
						Periodos cortos	Periodos continuos
PEBD	0.915	10.40	3.25	100	450	80-90	60-75
PEAD	0.955	9.4	2.25	305	525	90-120	70-85
PP	0.9	7.40	1.75	350	800	140-160	110-120
PS	1.05	9.85	0.45	450	3	85-90	70-90

Tabla5. Comparación entre plásticos.

CLASE	ALGUNAS MARCAS	RESISTENCIA A LA TENSIÓN [ Mpa (Ksi) ]	MÁXIMO SERVICIO [°C (°F) ]	COSTO RELATIVO PROMEDIO [ \$/Kg (\$/lb) ]	PROPIEDADES IMPORTANTES	PROCESOS DE FABRICACIÓN ( MATERIAS PRIMAS )	USOS TÍPICOS
Policarbonatos	Lexan, Merlon	62-72 (9-10.5)	120 (250)	2.75 (1.25)	Alta resistencia mecánica, eléctrica, abajo hasta - 170°C (-145°F), ductilidad, rigidez y transparencia.	Extrusión, moldeo, espumas, maquinado ( resinas y hojas).	Hojas de seguridad, señales, lentes, cubiertas, minilas de calibradores, globos y accesorios de alumbrado, cubiertas protectoras, bolas de cojinetes.
Poliésteres, Poliretinalatos	Celanex, Terita, Valox	55-121 (8-17.5)	110 (230)	2.20 (1.00)	Buena resistencia química, al agua, abrasión y resistencia eléctrica, tenacidad.	Extrusión y moldeo (resinas, algunas reforzadas)	bombas, medidores, engranes, camras rodillos, componentes electromecánicos.
Polielilenos	Alathone, Etilux, Polithene	4-48 (0.5-7)	90 (200)	0.90 (0.40)	Tenaz a - 96°C (- 145°F); buena resistencia química, a la humedad y eléctrica, baja fricción, plástico de más uso; muchos grados, flexible y rígido.	Trabajando en todos los procesos ( resinas con aditivos )	Alojamientos, tuberías, ductos, botellas, cubetas, tanques, aislamiento, objetos caseros, juguetes, revestimientos, películas, empaques
Polimidas	Gemon, Kapton, Vespel	69-172 (10-25)	315 (600)	26.50 (12.00)	Fuerte, rígido y estable con excelente resistencia al calor, abrasión, fluencia y radiación; flexible a -270°C (-450°F)	Moldeo y sintetizado (polvo, revestimiento, películas, formas sólidas)	Válvulas, aislamiento eléctrico, dientes de partes en cada molar de chorro
Polipropilenos	Escon, Propilux, Tenita	34-59 (5-8.5)	120 (250)	0.85 (0.39)	Resistencia química, humedad y electricidad; grados especiales para resistencia al impacto y servicio a temperaturas altas y bajas.	Extrusión, moldeo, laminado, revestimiento sintetizado ( resinas con aditivos).	Equipo eléctrico, bisagras, tubería, empaque, equipaje, molduras de automóvil.
Poliestirenos	Cerz, Loralin, Lustrón, Estrón.	14-55 (2-8)	60-60 (140-175)	0.80 (0.36)	Buena resistencia eléctrica y al manchado	Extrusión, moldeo, termoformado, espumado ( resina con aditivos).	Tubería, caratulas, juguetes, aislamiento a alta frecuencia, cajas de baterías, placas dentales, vajillas, partes de automóvil y aparatos domésticos, lentes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Capítulo 3. El Molde de Inyección.

### 3.1 Introducción.

En este capítulo se describirá el proceso de inyección de plásticos, así como los elementos que componen una máquina de inyección, y aquellos que componen un molde de inyección, además de los parámetros necesarios para poder diseñar un molde.

Para el éxito del proceso de inyección de plásticos es necesario contar con un buen molde. El desarrollo constante de este proceso exige cada vez más la calidad en el diseño, la selección de materiales a inyectar y el proceso de manufactura para los moldes utilizados. La calidad de las piezas inyectadas, su complejidad y sofisticación, la precisión en los diseños y el acabado final, dependen en gran parte del molde de inyección.

### 3.2 Clasificación de las máquinas de inyección.

El proceso de inyección es un método que permite obtener una pieza de plástico, con forma definida a través de un molde. Esta secuencia de transformación debe su nombre al hecho de que el material es plastificado e "inyectado" posteriormente en las cavidades del molde.

El proceso de inyección presenta una gran versatilidad en cuanto a equipos disponibles y aplicaciones. Para piezas de precisión dirigidas a mercados como el eléctrico y electrónico, pueden emplearse máquinas muy pequeñas. La figura 1 muestra una máquina pequeña con capacidad máxima de fuerza de cierre de 7 Ton. y capacidad de disparo máxima a 10 g. Hay aplicaciones que requieren de equipos de mayor tamaño, como fuerzas de cierre de 3,000 a 4,000 toneladas y tamaños de disparo de varios kilogramos (Figura. 2). Aplicaciones en el sector automotriz, industrial y de consumo frecuentemente requieren máquinas de hasta 8,000 toneladas. Las máquinas de inyección se identifican con dos parámetros principales, fuerza de cierre y capacidad de disparo, en toneladas y gramos respectivamente.[10]

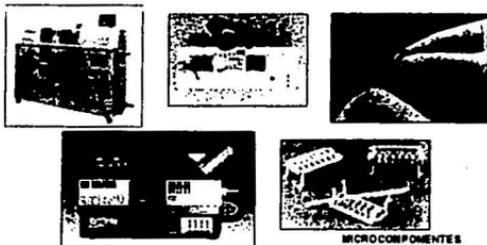


Figura. 1. Máquinas pequeñas de inyección.

Para hacer esto se dispone de una gran variedad de máquinas que se diferencian no tanto por su concepción constructiva básica, condicionada por el proceso, sino por variantes en el diseño de sus elementos de montaje, así como por sus sistemas de accionamiento.



INYECTORA DE TARIMAS

INYECTORA DE PARACHOQUES



Figura.2. Máquinas de inyección de gran tonelaje.

Las máquinas de inyección se pueden clasificar de diferentes maneras:[1][2][3][10][11]

- a) Por su sistema de cierre.
  - Mecánico.
  - Hidráulico.
  - Hidromecánico
- b) Por el sistema de inyección
  - Embolo
  - Embolo en dos etapas
  - Husillo plastificante y embolo
  - Husillo reciprocante
- c) Por el tipo constructivo
  - Inyección Horizontal
  - Inyección Vertical
  - Construcciones especiales de Inyección

De todas estas clasificaciones, la más común es la de Husillo Reciprocante, desplazando a todas las anteriores, por lo que sólo nos enfocaremos a este sistema de Inyección.

### 3.3 La máquina de inyección.

#### 3.3.1 Sistema de cierre.

Es básicamente una prensa que se cierra con un sistema de presión, ya sea hidráulico o mecánico. La fuerza de cierre disponible debe ser suficiente para contrarrestar la presión que genera el material al ser inyectado. Tiene como función principal el cierre y apertura

del molde, sirve como estructura de soporte para el mismo, durante la inyección evita la apertura del molde y al finalizar el ciclo, contribuye a la expulsión de la pieza.

Esta unidad se clasifica en:[11]

- Mecánica. La cual actúa mediante un sistema acodado o de rodillera.
- Hidráulica. La presión de aceite mueve un pistón hidráulico para abrir y cerrar el molde
- Hidromecánico. Es una combinación de las anteriores pero, por lo general, consiste en dos pistones hidráulicos diferentes para abrir y cerrar el molde.

### 3.3.2 Sistema de inyección y plastificación.

La unidad de inyección es la parte del equipo que acondiciona el material plástico de manera que pueda introducirse al molde. En la unidad de inyección se encuentra instalado el sistema motriz del grupo de plastificación y, en muchas ocasiones, las partes principales del sistema hidráulico de la máquina. Funciona como soporte del grupo de plastificación y proporciona movimiento al mismo.

El sistema de plastificación tiene la función de recibir la carga de materia prima, calentarla y fundirla, mezclarla y homogeneizarla, de manera que se pueda dosificar a presión hacia el molde. Sus componentes principales son:[11][5][9]

- Tolva. Contiene la materia prima y la dirige al barril de inyección.
- Husillo. Es la parte más importante de la máquina de inyección. Presenta filetes o alabes que sirven para transportar y plastificar el material hacia la cámara de inyección.
- Barril o cañon. Es un cilindro metálico que aloja al husillo, el trabajo mecánico entre estos dos elementos hace posible la fusión del plástico para su moldeo posterior.
- Boquilla. Es el canal de dosificación del material fundido, desde el cañon hacia el bebedero del molde.
- Resistencias. El sistema de resistencias de calefacción es colocado en el cañon o barril, para proporcionar el calor suficiente que mantenga fundido al plástico.

### 3.3.3 Sistema hidráulico general.

Se encarga de efectuar el accionamiento de diversos mecanismos aún cuando el sistema de cierre de la máquina sea mecánico.

Entre las funciones del sistema están el movimiento de la unidad de inyección, avance del husillo y sostenimiento de la presión en la unidad de cierre.

Para garantizar su buen funcionamiento, es necesario el sistema de purificación de aceite, que elimina la posibilidad de materiales extraños que puedan causar fricciones y

sobrecalentamiento en los pistones y conductos, provocando variaciones de viscosidad en el aceite y una deficiente transmisión de fuerza y conducción del fluido.[11]

### **3.4 Sistema de control de temperatura.**

Una parte importante del proceso de fusión del plástico es el calor que se adiciona al material desde las resistencias calefactoras colocadas alrededor del barril de inyección. Agrupadas en zonas a lo largo del husillo, estas resistencias son controladas por pirómetros, los cuales reciben la información de los termopares localizados en el barril, realizando el encendido y apagado de las resistencias, dependiendo del valor de temperatura de referencia del pirómetro.

Resulta de vital importancia el mantener el control de la temperatura en el husillo pues de lo contrario resultaría en daños a las propiedades del material (degradación, líneas de flujo, etc.), así como problemas de fluidez de este a través de la boquilla.[11]

### **3.5 El proceso de inyección.**

El material en forma de gránulos, es almacenado en una tolva que alimenta un dispositivo que plastifica e inyecta el plástico. El material es plastificado por medio de calor o por la acción combinada de calor y presión. La presión es realizada por medio de un pistón o un tornillo.

La inyección del plástico se lleva a cabo conforme el siguiente ciclo de moldeo (Figura. 3).  
[2][5][10]

1. Cierre del molde.
2. Inyección del material plástico: El tornillo se mueve hacia el frente forzando el plástico fundido a las cavidades del molde.
3. Enfriamiento del material conservando eventualmente la presión (según el material y espesor de la pieza): El molde enfría las partes moldeadas.
4. Mientras las partes se están enfriando, el tornillo gira fundiendo y transportando el plástico fundido hacia la parte frontal del tornillo para el ciclo siguiente.
5. Abertura del molde: Cuando el plástico dentro del molde está lo suficientemente duro para no deformarse, el molde abre y la parte es expulsada.
6. El molde cierra y el tornillo inyecta el fundido en el molde para el ciclo siguiente.

### **3.6 El molde de inyección.[5][8][9][11]**

Un molde de inyección de plástico es una herramienta la cual tiene la función de conformar piezas introduciendo el material plástico fundido a presión dentro de la cavidad del mismo. El material se moldea con la geometría del molde y después de algún tiempo se produce el enfriamiento de la masa hasta que esta alcanza un estado suficientemente estable e indeformable para poder desmoldearla.

Así pues, las funciones del molde consisten en:

- Recibir la masa plástica.
- Distribuirla.
- Moldear.
- Enfriar la pieza hasta el estado sólido.
- Extraer la pieza.

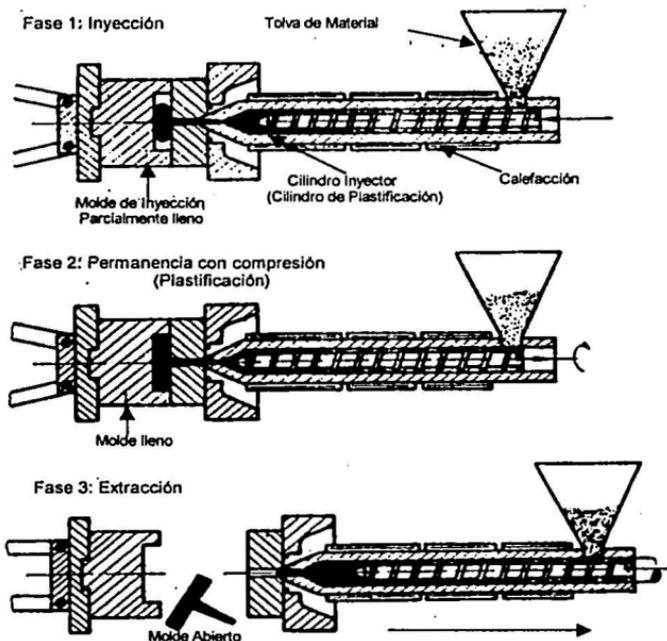


Figura 3. Fases de un ciclo de inyección.

En el caso más sencillo, el molde consta de dos mitades, las cuales se fijan directamente en los platos portamoldes de la máquina de inyección. Estos dos elementos básicos son: la mitad del lado extractor o parte móvil; y la mitad del lado inyector, que es la parte fija. La separación entre estas dos mitades se conoce como línea de partición.

En la parte de inyección, se tiene la boquilla a través de la cual se introduce el material al molde, hacia los canales de distribución y a las cavidades. En la parte de extracción, se

tienen los corazones, que dan la forma interna a la pieza; además del sistema de extracción de la misma. En algunos casos las cavidades se encuentran parcialmente en la parte de inyección y, parcialmente en la parte de extracción.

Para el concepto general de la operación de moldeado es importante diseñar un molde que cuente con un factor de seguridad para absorber las fuerzas de cerrado, inyección y eyección. Además, las condiciones de flujo en el recorrido del plástico deben ser adecuadamente proporcionadas para poder obtener una uniformidad en la calidad del producto ciclo tras ciclo. Finalmente, se debe incorporar un sistema efectivo de transferencia de calor para controlar la solidificación antes de remover las piezas moldeadas del molde.

### 3.6.1 Elementos del molde de inyección.

Las funciones de algunos de los componentes del molde se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Componentes del molde y sus funciones.[11]

TIPO DE ELEMENTO	COMPONENTE DEL MOLDE	FUNCION
MECANICO	Base del molde	Mantiene a las cavidades fijas y en posición correcta respecto a la boquilla de inyección.
MECANICO	Pernos guía	Mantiene la alineación correcta entre las dos mitades del molde.
MECANICO	Mecanismos eyectores	Expulsan la pieza inyectada fuera del molde.
MECANICO	Cavidad	Controla la forma, la medida o dimensiones y textura del artículo moldeado.
REOLOGICO	Colada	Conducto por el cual el material plástico entra a la cavidad del molde.
REOLOGICO	Canales	Conducen el material plástico fundido desde el bebedero hasta la cavidad.
REOLOGICO	Estrangulamientos	Regulan el flujo del material plástico fundido dentro de la cavidad.
TERMICO	Canales de enfriamiento	Controlan la temperatura de la superficie del molde hasta que la pieza inyectada solidifique.
TERMICO	Ranuras de ventilación	Permiten la salida del aire atrapado dentro de las cavidades.

En la figura 4 se muestra una vista explosiva en la cual aparecen los diferentes elementos del molde y la configuración del mismo.

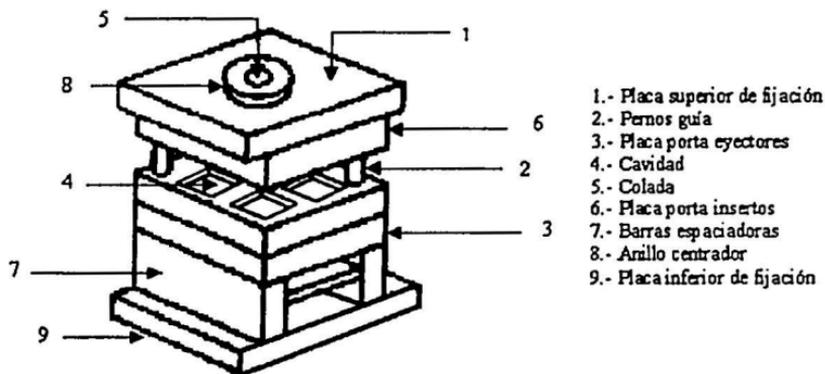


Figura. 4. El molde de inyección.

Como ya se mencionó, el molde determina el tamaño, forma y dimensiones finales, y a menudo, las proporciones físicas del producto final. Este es el llenado por un canal alimentador central llamado colada. En los moldes de una sola cavidad, el bebedero alimenta al polímero directamente dentro de la cavidad del molde, mientras que en los moldes de cavidades múltiples, alimenta al polímero líquido por medio de las venas de llenado, las cuales dirigen al material de cada una de las cavidades.

El molde está alineado con el cilindro de inyección por medio de un anillo, el cual está situado en la parte fija del molde dentro de los asientos de la boquilla del cilindro. Este rodea a la colada y se utiliza para colocar el molde en la placa de prensado, concéntricamente con la boquilla de la máquina.

El orificio donde entra el anillo tiene una tolerancia de  $-0.000$  y  $+0.0508$  mm. ( $-0.000$  y  $+0.002$ ) pulgadas. El anillo es  $0.254$  mm, ( $0.010$ ) pulgadas menor que el orificio, dejando un espacio libre de  $0.127$  mm, ( $0.005$ ) pulgadas de holgura. Un espacio mayor puede causar desalineamiento con la boquilla, que a su vez atrapa parte del bebedero, lo cual causaría que el bebedero golpeará del lado incorrecto.

El bebedero tiene un radio esférico de  $12.7$  ó  $19.05$  mm, ( $0.500$  ó  $0.750$ ) pulgadas. La perforación a lo largo de la colada tiene un ángulo de  $1$  grado por lado como mínimo. Esta perforación debe tener un acabado espejo para evitar que la colada 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

( Figura. 4). La placa A retiene los insertos de la cavidad y soporta los pernos guía, los cuales mantienen alineadas las dos mitades de la cavidad durante la operación de cierre y apertura del molde. Estos pernos guía se montan, regularmente, en la parte fija del molde para asegurar que las piezas moldeadas salgan del molde durante el proceso de eyección sin atorarse.

Los pernos guía son 0.0254 mm, (0.001) pulgadas menores que el diámetro nominal y tienen una tolerancia +0.0000 y 0.0127 mm, (+0.0000 y -0.0005 ) de pulgada. Los bujes son 0.0127 mm (0.0005) pulgadas mayores que la medida nominal y tienen una tolerancia +0.000 y -0.127 mm (+0.000 y -0.005) pulgadas. Esto proporciona una holgura entre el perno guía y el buje de 0.0635 mm, (0.0025) pulgadas y un mínimo de 0.0381 mm, (0.0015) pulgadas.

En acoplamiento con la placa A esta la placa B, que contiene la otra mitad de las cavidades o los machos; además de los bujes de los pernos guía. Los machos establecen la configuración interna, la placa B tiene su propia placa de soporte, sostenida frecuentemente por pilares junto a la placa portabotadores. La placa portabotadores, junto con la placa de respaldo y las barras espaciadoras, forman una estructura en forma de U, la cual se encuentra fija a la placa B, en partes separadas o como una sola unidad. Esta estructura en forma de U proporciona el espacio para la placa portabotadores móvil.

La altura total del molde corresponde al espacio abierto que existe entre las placas de la máquina. En la mitad móvil del molde, las barras espaciadoras se usan para crear un espacio para el sistema de eyección. El espacio abierto debe ser suficiente para permitir que los pernos botadores completen el golpe de eyección.

### 3.7 Tipos de moldes de Inyección.[5][9][10][11]

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

Por el tipo de inyección	{ Colada fría Colada caliente
Por el tipo de extracción de las piezas	{ Doble botado escalonado Pernos botadores Arandelas Botado por aire
Por el tipo de construcción	{ Tercera placa De dos placas Con limitadores Carros deslizantes

Por el tipo de transmisión (si la hay)

{ Husillo  
Motor hidráulico  
Cremallera

### 3.7.1 Por el tipo de inyección.

#### a) Sistema de colada fría.

En este sistema la masa plástica procedente del cilindro de plastificación de la máquina llega a través de la boquilla de inyección, a la cavidad del molde mediante enfriado, pasando por un canal en los moldes simples, o por un sistema de canales en los moldes múltiples o también en los moldes de gran superficie. Estas vías de flujo son llamadas canales de distribución o ventanas de llenado, y la masa que se solidifica en ellos recibe el nombre de colada. Los canales reciben la masa, la dirigen a la cavidad del molde y, especialmente en moldes múltiples, la distribuyen. En consecuencia, este sistema de alimentación, consta de bebedero (tronco de colada) y los canales de estrangulamiento (nervios de colada). El principal inconveniente que se tiene en este tipo de moldes es el desperdicio, que aunque se vuelve a utilizar este material pasa a ser material de segunda.

#### b) Sistema de colada caliente.

En este sistema no existen desperdicios, ya que se mantienen calientes los canales de distribución y sirven como material disponible para el siguiente ciclo de inyección. Esto se utiliza para moldes múltiples o de gran superficie. Existen tres tipos de sistemas de colada caliente:

##### - Utilizando distribuidor de plástico e inyectores.

En este caso, al igual que los otros, se requiere un módulo eléctrico o electrónico de temperaturas para el distribuidor de plástico, llamado cabeza caliente, y para los inyectores. La placa de la cabeza caliente consta de una serie de resistencias, las cuales mantienen la placa a cierta temperatura y el número de ellas depende tanto del tamaño de la placa, como del número y tamaño de las piezas.

##### - Utilizando únicamente inyectores.

Este sistema se utiliza cuando se tiene una sola cavidad con un solo inyector, o cuando se tiene una superficie grande con varios inyectores distribuidos uniformemente. También requiere de un módulo controlador de temperatura, aunque sea únicamente para los inyectores.

##### - Utilizando un solo inyector central.

Este sistema es un híbrido de los sistemas de colada caliente y colada fría, y se utiliza cuando hay limitantes en la apertura del molde. En este sistema existe la colada como material de desperdicio, aunque sin tronco cónico de inyección.

### **3.7.2 Por el tipo de extracción.**

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

Se utiliza este tipo de eyección cuando la geometría de la pieza es complicada o presenta negativos internos y la eyección no puede efectuarse de forma normal.

#### *b) Pernos botadores.*

En este sistema se utiliza una placa donde se montan los pernos botadores, y otra placa de guía para los mismos. Las placas se accionan al abrir el molde por medio de un tope.

#### *c) Arandelas.*

Este tipo de eyección consiste en ajustar una arandela con el corazón. A cierta carrera de la apertura se acciona la placa botadora y expulsa a las piezas fuera de las cavidades del molde.

#### *d) Botado por el aire.*

En las ocasiones en que las piezas no pueden extraerse por ninguno de los medios anteriores se recurre al aire comprimido como medio de eyección.

### **3.7.3 Por el tipo de construcción.**

#### *a) Moldes de tres placas.*

Estos moldes se utilizan cuando se necesita detener la colada y que se rompa el punto de inyección para después botarla del molde.

#### *b) Moldes de dos placas.*

Estos moldes tienen, en la parte de inyección, únicamente dos placas. Cuando se tienen las placas botadoras, puede utilizar pernos o manguitos expulsores, en caso contrario, se puede expulsar la pieza por medio de arandelas.

#### *c) Moldes con pernos limitadores.*

Estos moldes, como su nombre lo dice, tienen pernos limitadores y pueden tener, además, dispositivos como levas o arrastradores de placas que permiten dar la carrera de apertura del molde.

#### *d) Moldes de carros deslizantes.*

Estos moldes constan de un dispositivo llamado carro deslizante, el cual tiene un movimiento perpendicular al de apertura con el objeto de liberar las piezas que no pueden botarse se forma normal.

### **3.7.4 Por el tipo de transmisión.**

Cuando en la pieza se tiene algún tipo de cuerda de estructura frágil, o es de sección cuadrada, lo que impide el botado de la pieza debido a que esta puede lastimarse; el molde requiere de un sistema de transmisión por engranajes que puede ser de varios tipos:

#### *a) Botado por husillo.*

Este consiste en hacer girar un tornillo de rosca pronunciada capaz de girar dentro del molde y una tuerca de arrastre fija en la máquina, ambos elementos montados 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.*

Consiste en transformar el movimiento lineal del molde en movimiento circular mediante un sistema pino cremallera (Figura.6).

### **3.8 Sistema de alimentación.[5][11]**

Esta compuesto por el bebedero, los canales de distribución y los puntos de inyección.

La función del bebedero es permitir el flujo del material fundido hacia el interior del molde. El anillo centrador rodea al bebedero y se emplea para ajustar el molde en la placa fija de la unidad de cierre, concéntricamente con la boquilla de la máquina. El desalineamiento entre estos elementos provocará problemas de desmoldeo de la pieza inyectada. Las superficies de contacto entre estos elementos pueden ser planas y cóncavas. El dimensionamiento de las superficies en contacto tiene una relevante importancia, ya que deben cumplirse dos condiciones básicas:

- El radio de curvatura de la punta de la boquilla debe ser menor que el radio de concavidad del bebedero.
- El diámetro del orificio de la boquilla debe ser menor que el diámetro del orificio del bebedero.

De no ser satisfechas ambas consideraciones, se presentara un deterioro de los elementos y problemas de desmoldeo que afectan la continuidad del ciclo y las consistencias de las piezas producidas.

El diámetro del canal del bebedero debe incrementarse basado en una conicidad aproximada de una a cuatro veces el diámetro inicial, desde la boquilla hacia el interior del molde. Debe presentar un acabado interno que evite que la colada se atore.

El bebedero cónico es el medio mas simple de entrada del material plástico hacia el molde. Se recomienda que el punto de contacto bebedero-pieza se ubique en la zona de mayor espesor de esta última.

Los canales de distribución transportan el plástico fundido desde la boquilla de la máquina hasta la(s) cavidad (es) de manera uniforme y cuidando que el flujo sea uniformemente distribuido en las diferentes cavidades, cuidando que se realice a igual presión y temperatura.

La sección transversal de los canales de distribución influye en la manera en que puede llevarse a cabo la presión de sostenimiento, ya que cuando el material plástico es inyectado, se crea una capa de material frío en las paredes del canal que reduce el área de acceso para el resto de la masa fundida.

La relación superficie / volumen de los canales de colada debe ser lo menor posible para ahorrar material y minimizar las perdidas de calor, así como las caídas de presión. La sección de los canales tiene relación directa con el espesor y tamaño de la pieza y el material plástico empleado. Si la sección es muy grande, la refrigeración se dificulta y el tiempo de ciclo se incrementa.

La sección transversal ideal de los canales de distribución es circular, maquinándose por lo general, en ambas placas del molde. Los canales con sección tipo parabólico y trapezoidal son buenas alternativas pues el flujo plástico se desempeña casi como en la sección circular, pero maquinado solamente en una placa del molde, aunque con la desventaja del aumento en generación de desperdicio y mayores perdidas de calor (Figura. 7).

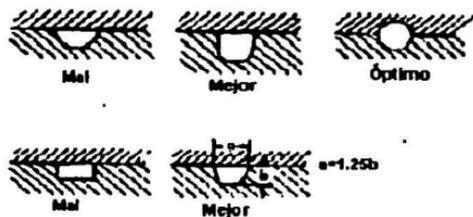


Figura. 7. Secciones buenas y malas para los canales.

Los puntos de inyección conectan los canales de distribución con cada cavidad y controla el flujo de material en ese sentido. Tiene gran influencia sobre el peso, calidad dimensional y presentación de la pieza, así como la orientación molecular de la resina y cualquier carga o refuerzo que esta contenga, por lo que la localización del punto de inyección es fundamental para lograr el desempeño requerido en el producto.

Es recomendable ubicar el punto de inyección en la sección de mayor espesor de la pieza para asegurar que existe espacio suficiente para el ingreso del material y para mantener la

presión sobre el plástico que se encuentra dentro de la cavidad, hasta que el punto de inyección se enfríe. El punto de inyección puede ser responsable de problemas de apariencia en la pieza como color irregular y marcas de flujo.

A mayor tamaño del punto de inyección, se facilita el llenado de la cavidad y se reducen los esfuerzos residuales en el producto, el tiempo de enfriamiento se incrementa, así como la elevación del ciclo.

Puntos pequeños de inyección permiten la solidificación mas rápida del producto, facilitan separación de la colada del producto, la marca en la pieza es menos visible, la pieza esta sujeta a mayores esfuerzos, difícil control dimensional de la pieza, se pueden producir imperfecciones superficiales y líneas débiles de unión. La figura 8 muestra la nomenclatura del punto de inyección.

- PROFUNDIDAD
  - APROX. 60 % DEL ESPESOR DE LA PIEZA
- ANCHO
  - 2 VECES LA PROFUNDIDAD DEL PUNTO DE INYECCION
- LARGO
  - LO MENOR POSIBLE, APROX. 60 % DE LA PROFUNDIDAD DEL PUNTO DE INYECCION

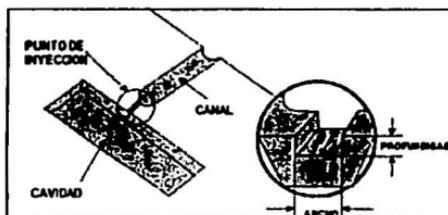


Figura. 8. Nomenclatura del punto de inyección.

Generalmente es suficiente un punto de inyección para cada cavidad, sin embargo, es conveniente el empleo de entradas múltiples, lo cual esta determinado por la geometría y el espesor de la pieza, la longitud del flujo y el material plástico empleado.

Se debe evitar ubicar un punto de inyección frente a otro, ya que el encuentro descontrolado puede originar huecos, porosidad o líneas débiles de unión.

Los puntos de inyección más comunes son:[5][10]

- Bebedero directo
- Estandar o lateral
- Laminar
- Abanico
- Túnel o submarino

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Diafragma o disco
- Anular
- Aguja

- *Bebedero directo* (Figura. 9): Se utiliza en moldes de una sola cavidad para piezas con paredes gruesas. Resulta apropiado para la inyección de materiales con alta viscosidad o sensibles a la temperatura y piezas con moderadas tolerancias dimensionales. Es inevitable la presencia de una marca en el producto debido a la separación de la colada.

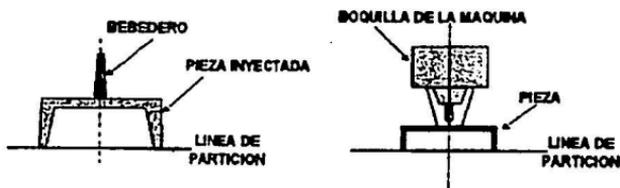


Figura. 9. Bebedero directo.

- *Estandar o lateral*: Para piezas producidas en máquinas atendidas por un operador o algún sistema automático que en cada ciclo extrae la colada y las piezas unidas para separarlas posteriormente. Se usa cuando el punto de inyección puede o debe ser localizado en la línea de partición del molde.

- *Laminar*: Este punto de inyección se utiliza para corregir defectos finales en el producto, debidos a la utilización de puntos múltiples de inyección al fabricar piezas de gran superficie, en este punto de inyección, llamado también Flash o Aleta, el material fundido se introduce de manera uniforme sobre uno de los lados de la pieza. El canal de distribución desemboca a un espacio acumulador de sección circular que coloca el material frente a un estrechamiento que abarca un lado de la superficie plana, el cual constituye la entrada laminar que actúa como reguladora del flujo, siendo la dirección del flujo la misma en todas las secciones de la pieza, disminuyendo así la posibilidad de deformación y cambios dimensionales en el producto. Este sistema es altamente recomendable para el moldeo de piezas con altos requerimientos ópticos (Figura. 10).

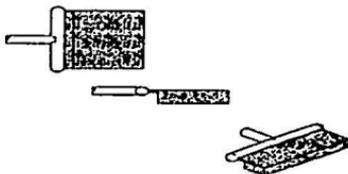


Figura. 10. Punto de inyección laminar.

- *Abanico*. Este punto de inyección se utiliza para minimizar puntos frágiles en el producto, debido a la inyección del plástico a una velocidad elevada hacia cavidades de superficie relativamente grande, presentando las mismas ventajas que la entrada laminar aplicándose en casos semejantes (Figura. 11).

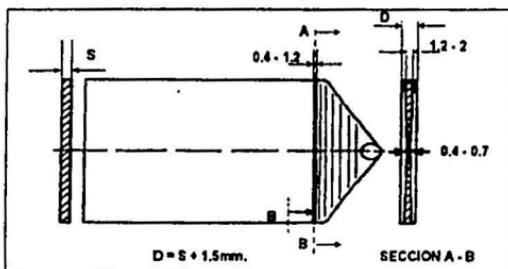


Figura. 11. Inyección en abanico.

- *Túnel o Submarino*. Este sistema es aplicado para introducir la masa plástica de forma lateral en las partes inyectadas, con un vestigio resultante poco apreciable (Figura.12). Con este método la pieza es separada automáticamente de la colada en el momento de la apertura del molde. Es adecuado cuando se requiere de una buena apariencia en las piezas, permite efectuar la inyección en partes no visibles o en el lugar mas conveniente de la pieza. Para la expulsión del producto, el conducto curvado requiere de una buena conicidad y que no se flexione en este punto, para hacer el rompimiento adecuado. En el caso de una inyección en el conducto curvo y largo se tiene la ventaja de eliminar el canal de alimentación. La posición y longitud del perno botador sostiene la colada durante la expulsión de la pieza.

Debe considerarse cuidadosamente su empleo al moldear materiales abrasivos como los reforzados con fibra de vidrio, que provocaran un desgaste en las paredes internas del sistema y la dificultad para expulsar el producto.

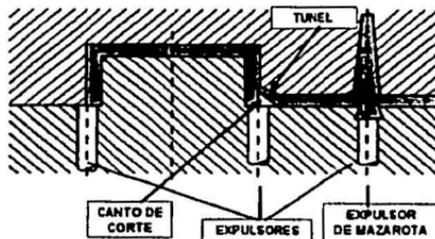


Figura.12. Punto de inyección submarina.

- *Diafragma o disco*. Logra espesores constantes y excelente concentricidad en el producto. El sistema consiste en una membrana alimentada por un disco que distribuye el plástico proveniente del bebedero, de manera concéntrica. La membrana o diafragma estrangula y controla el paso del material hacia la cavidad (Figura.13).

El punto de inyección tipo disco puede presentar una forma plana o cónica, en el diafragma tiene la posibilidad de dar soporte a los corazones del molde cuando estos son muy largos, con el fin de evitar desalineamiento durante la fase de inyección; eliminando así las líneas de unión de flujos que la pieza presentaría al ser inyectada por puntos múltiples.

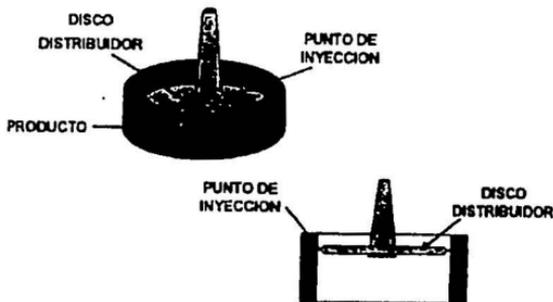


Figura. 13. Punto de inyección por diafragma.

- *Anular*. Este punto es una variante del diafragma y pueden encontrarse dos puntos distintos: Anular interno y Anular Externo (Figura. 14 y 15). Se emplea en piezas cilíndricas de mayor altura, donde los corazones deben estar soportados en sus dos extremos, logrando así un espesor uniforme a lo largo del producto.

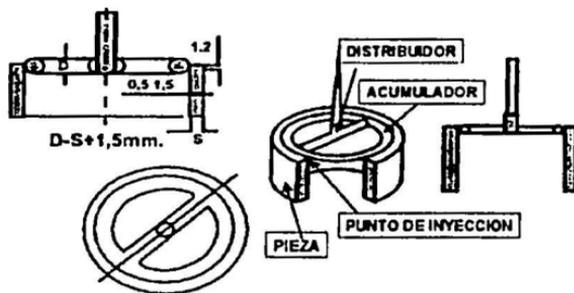


Figura. 14 . Punto de inyección anular interno.

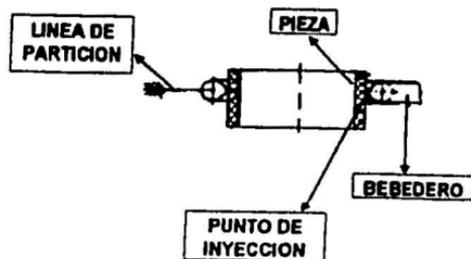


Figura. 15. Punto de inyección anular externo.

Las dimensiones del punto de inyección anular dependen del peso y de las dimensiones de la pieza, la longitud de flujo y el material plástico empleado, siendo la sección transversal del canal anular diseñada considerando el desperdicio generado, la facilidad de desmoldeo, el flujo del material y su influencia en las propiedades del producto final.

- *Aguja.* Se emplea para producir piezas que pueden ser inyectadas por el centro, evitando el empleo de cualquier punto lateral de inyección, siendo la marca de inyección muy pequeña (Figura. 16).

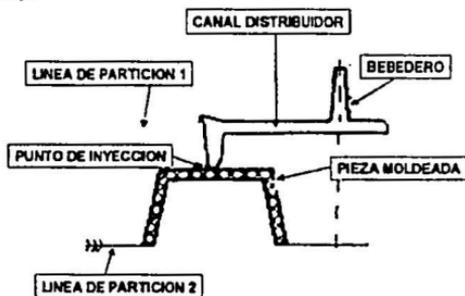


Figura. 16 Punto de inyección de aguja.

El diseño del punto puede incorporar una pequeña cavidad cónica en la superficie del producto para evitar el congelamiento prematuro del punto de inyección. El diámetro de este punto de inyección, debe encontrarse en un rango de 0.6 a 1.2 mm con un ángulo de apertura del cono de entrada entre 30 y 90 grados.

### 3.8.1 Flujo plástico.

Los resultados óptimos de un moldeado por inyección dependen en gran parte de las propiedades del flujo del plástico (Figura. 17). Consecuentemente, el diseñador se encuentra a menudo con ciertas limitaciones. Aún bajo las condiciones óptimas del moldeado, puede haber problemas en el llenado de cavidades si se dan ciertos factores, como trayectorias de flujo largas, superficies largas o secciones demasiado delgadas.

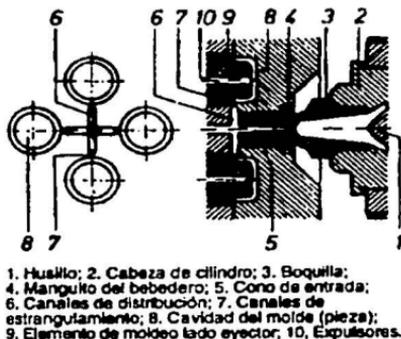


Figura.17. Representación esquemática de un molde y del flujo del material en el mismo.

El diseño de un molde debe satisfacer los requerimientos funcionales del producto final, pero se debe tomar muy en cuenta la naturaleza del proceso de inyección. Generalmente, se prefieren superficies acanaladas, curvas o corrugadas y no planas, debido a que estas últimas tienden a pandearse. Este pandeo puede ser evitado mediante la utilización de costillas. Las esquinas deben ser redondeadas para reducir la resistencia al flujo.

En el diseño de moldes de inyección el espesor de las paredes debe mantenerse tan delgado y uniforme como sea posible. Esto asegura: (1) un consumo mínimo de plástico, (2) tiempos de ciclo mínimos, (3) contracción uniforme a través de todo el moldeo, (4) llenado uniforme de las cavidades y, (5) riesgos mínimos de esfuerzos internos.

Cuando el diseño requiere de diferencias en el espesor de las paredes, estas deben ser graduales. El espesor de las paredes depende no solo de requerimientos funcionales, sino también del tamaño del moldeado y de la longitud del recorrido de flujo.

El flujo plástico depende de varios factores: el plástico utilizado, temperatura, longitud y diámetro de los canales de distribución y de estrangulamiento, etc. Estos factores determinan el mínimo espesor de las paredes. Es entendible que para materiales de baja viscosidad se requieren espesores de paredes mas pequeñas que para materiales con mas altas viscosidades.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estos factores difieren prácticamente en todos los diseños y para todos los plásticos, de tal manera que no es sencillo obtener la exacta relación entre el espesor de las paredes y la longitud del recorrido. Sin embargo, existe cierta relación entre estos dos factores que puede ser utilizada para la mayoría de los plásticos. La longitud de la trayectoria del flujo es proporcional al cuadrado de la relación entre los espesores de las paredes en un rango de 0.508 a 2.032 mm, (0.020 a 0.080) pulgadas de espesor. De esta forma, si un plástico tiene un recorrido de flujo de 101.6 mm, (4) pulgadas con un espesor de paredes de 1.016 mm, (0.040) pulgadas, un incremento del espesor a 1.525 mm, (0.060) pulgadas incrementará su recorrido de flujo a:

$$(0.06/0.04)^2 \times 4 = 9 \text{ pulgadas} = 228.6 \text{ mm} \text{ ----- (1)}$$

#### *Pozo para material frío.*

Cuando se consideran las condiciones de calor entre la boquilla de la máquina de inyección y la colada del molde, se tiene una boquilla a la misma temperatura que el frente del cilindro de inyección en contacto con una colada relativamente fría. Como resultado, la temperatura en la punta de la boquilla es menor que la requerida para mantener el plástico fundido si se encuentra bien contenido en ésta, por lo que el material no está a la temperatura necesaria para tener buenas propiedades de flujo y consecuentemente, si entra a la cavidad, producirá piezas defectuosas.

Para superar esta situación, se construye un pozo como una extensión del bebedero para recibir el material frío y prevenir de esta manera que entre a los canales de distribución. El pozo es de un diámetro igual al del bebedero en la línea de partición y aproximadamente de 1 a 1.5 veces en profundidad.

### **3.9 Número de cavidades.**

Una vez que sea seleccionado el plástico a utilizar y conociendo el diseño de la pieza a fabricar deberemos decidir si el molde será de una o de múltiples cavidades. Los puntos que deben tomarse en consideración son:[5][9][11]

1. Cantidad de piezas y velocidad de moldeo.
2. Requerimientos de control de calidad (tolerancias dimensionales, etc).
3. Costo del molde .
4. Polímero a utilizar.
5. Forma y dimensiones del molde (principalmente posición de la línea de partición del molde y la forma de liberación del producto).
6. Máquina de inyección (determinando velocidad de operación, capacidad de plastificado y forma de liberar la pieza ).

La decisión que se tome, ayudará a asegurar una producción económica aunque debemos garantizar la calidad del producto . Las ventajas de un molde de cavidad única son:

- Su construcción simple y compacta además de su bajo costo y fácil fabricación a comparación de un molde multicavidades .
- Las dimensiones y forma de la pieza moldeada siempre serán idénticas. Con múltiples cavidades resulta extremadamente difícil que cada una de ellas sea exactamente igual a la otra. Consecuentemente, si queremos producir artículos con tolerancias dimensionales muy estrechas será mejor emplear moldes de una sola cavidad.
- Los moldes de una cavidad permiten tener un mejor control del proceso productivo ya que las condiciones deben ser ajustadas para una sola pieza.
- Tenemos una flexibilidad mucho mayor en cuanto a requerimientos técnicos para sistemas de compuertas, sistemas de eyección, sistemas de enfriamiento y particiones de molde.

La complejidad de moldes multicavidad no solo los hace caros sino incrementa el riesgo de falla en operaciones automáticas. Mas aún, se complica preparar el sistema de enfriamiento que asegura una correcta transferencia térmica sin comprometer la confiabilidad de la operación. Esto generalmente requiere de tiempos de ciclo mas largos.

No obstante para grandes lotes de producción los moldes multicavidad son, por lo general, mas recomendables. Si se requiere producir piezas pequeñas y no hay una máquina con esa capacidad el molde multicavidad es la solución.

Generalmente es el usuario quien determina el número de cavidades ya que puede balancear la inversión hecha en la herramienta respecto al costo de las piezas. Desde el punto de vista del fabricante del molde, el número de cavidades se puede calcular de la siguiente manera:

- Por la capacidad de inyección de material en cada ciclo. De un modo convencional la cantidad de material inyectado por ciclo no debe exceder del 70% de la capacidad de la máquina con este criterio el número de cavidades puede calcularse con la siguiente fórmula:[11]

$$N_1 = \frac{0.7 \cdot I \cdot P_c}{P_p} \text{ ----- (2)}$$

donde:

- $N_1$  = Número de caviades  
 $I$  = Capacidad de Inyección de la Máquina en gr.  
 $P_c$  = Peso de la colada y canales en gr  
 $P_p$  = Peso de la pieza moldeada en gr.

- Adicionalmente, el número de cavidades es determinado por la capacidad de plastificado de la máquina. Se define como capacidad de plastificación de una máquina a la cantidad de kilogramos de inyección por hora de un material. Entendiendose por plastificar el elevar la temperatura del material hasta el punto en que sea posible la

inyección, basándose en esto, el número de cavidades se calcula con la fórmula siguiente:[11]

$$N_1 = \frac{\frac{P_r}{3600}}{P_p} P_c \text{ ----- (3)}$$

donde:

- N<sub>1</sub> = Número de Cavidades
- P = Capacidad de plastificación de la máquina (Kg/hora)
- t = Tiempo del ciclo de inyección (seg.)
- P<sub>c</sub> = Peso de colada y canales en (gr.)
- P<sub>p</sub> = Peso de la pieza en (gr.)

Existen otros factores que determinan el número de cavidades, así como su ubicación en el molde. Existe una limitante que es la distancia entre el extremo externo de la cavidad y los alimentadores primarios, que no debe ser demasiado larga pues el plástico líquido comenzaría a enfriarse y por lo tanto, a endurecerse, provocando que el molde no se llene por completo, generando con esto piezas de mala calidad.

La distribución de las piezas en el molde, determinada por su geometría, también podría restringir el número de cavidades provocando que no se utilice la máquina de inyección a toda su capacidad.

Los moldes multicavidades deberán usarse, preferentemente, para cavidades idénticas entre sí. En principio, las diferentes partes de un artículo no se deben producir en un molde multi cavidades aunque en la práctica esto sí se hace por razones de economía.

### 3.10 Fuerza de cierre.[5][11]

La fuerza requerida para mantener el molde cerrado durante la inyección debe exceder la fuerza que ejerza la mezcla plástica al pasar por todos los alimentadores y corredores del molde, así como el área proyectada. El área proyectada se define como la superficie no útil del molde.

Si el área total proyectada es de 851.64 cm<sup>2</sup>, (132 pulgadas<sup>2</sup>) y se requiere una presión de 351.5 Kg/cm<sup>2</sup> (5000 Lb/in<sup>2</sup>) (de acuerdo al plástico que se está inyectando) tenemos que:

Fuerza de cierre = (área proyectada)(presión del plástico) = (851.64)(351.5) = 299351.46 Kg, es decir, 299.35 toneladas.

Considere incluir un factor de seguridad entre 10 y 20% para asegurar suficiente fuerza de cierre disponible. Para máquinas de inyección estándar, la fuerza de cierre oscila entre 299.35 y 360 toneladas. Como una regla general, una buena práctica de moldear requiere de tres toneladas de fuerza de cierre por cada pulgada cuadrada del área proyectada.

También es importante evitar aplicar demasiada fuerza de cierre al molde. Si instalamos un molde pequeño en una máquina de gran capacidad y cerramos con gran fuerza, el molde literalmente se hunde en las platinas; además, si el área del molde en contacto con la otra mitad es insuficiente podremos quebrarlo. Los moldes de acero comienzan a cuartearse a partir de 10 toneladas por pulgada cuadrada de área proyectada.

Mientras que el área proyectada determina la fuerza de cierre, el peso o volúmen de la pieza determinan la capacidad de la máquina de inyección en la cual se empleará el molde.

### **3.11 Ventilación del molde.[11][10]**

La ventilación del molde es un aspecto muy importante a considerar en el diseño de cualquier molde de inyección para el óptimo desempeño del molde y pieza inyectada.

Durante el cierre del molde, las cavidades alojan aire atrapado, el cual debe ser expulsado rápidamente por unas pequeñas ranuras, denominadas ranuras de venteo. Las ranuras de venteo además de ser las rutas de escape del aire contenido en las cavidades, también tienen la función de desalojar los gases generados por el calentamiento del material.

La falta del sistema de ventilación, la ineficacia del mismo, o su mala ubicación, generará problemas como:

- Falta de capacidad para llenar la(s) cavidad(es), debido a que el aire enfría el frente plástico, actuando como una fuerza contraria al flujo, la cual provoca una caída de presión. Esto provoca piezas incompletas, líneas de soldadura débiles, esfuerzos residuales internos.
- Puntos quemados. Cuando el aire no es extraído, el plástico inyectado lo comprimirá de tal forma que se origina una pequeña explosión que dejará una marca o punto quemado. El fenómeno anterior se denomina "Efecto Diesel", el cual, además de dar una mala apariencia estética del producto, degrada poco a poco el material dentro de las cavidades del molde.

Por otro lado, una ventilación excesiva puede causar problemas, ya que si los venteos son grandes, el material intentará escapar por ellos, ocasionando rebabas y dificultad en el desmoldeo del producto. La figura 18 muestra la ventilación del molde.

Generalmente el sistema de ventilación se localiza sobre el plano de partición del molde, a lo largo del sistema de distribución, en las últimas zonas de llenado en piezas con un solo punto de inyección y donde se unen los flujos de partes alimentadas por varios puntos. Existen valores recomendados del dimensionamiento de las ranuras de ventilación según las propiedades de cada tipo de plástico.

### 3.12 Sistema de enfriamiento.

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 con la que se obtiene la pieza, el fluido moderador tiene que disipar también la diferencia de calor entre la superficie exterior del molde y el medio ambiente, lo que representa un intercambio de calor. Con temperaturas elevadas del molde, la cantidad de calor disipada hacia el ambiente puede ser superior a la aportada por la masa inyectada, razón por la cual el fluido moderador tiene que aportar calor, garantizando así que la temperatura en la pared del molde sea la que se requiere, de modo que en sentido estricto no son correctas las denominaciones de canales de enfriamiento.

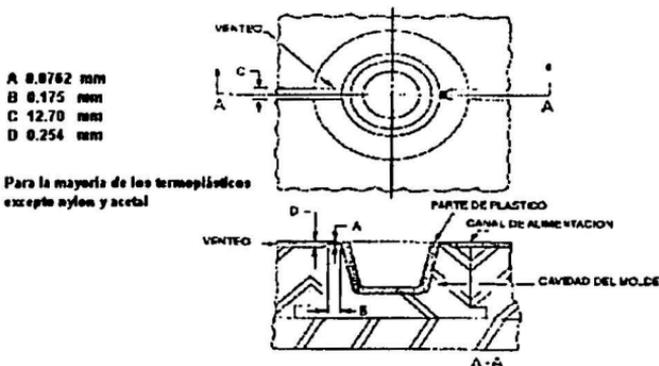


Figura. 18. Características recomendadas para el correcto venteo en el molde

La diferencia de temperatura entre el fluido de acondicionamiento y la pared del canal de enfriamiento es causada por la resistencia a la transmisión térmica, que depende de las condiciones de flujo y de las propiedades del agente moderador (Tabla 2).

Tabla 2. Medios de acondicionamiento de la temperatura y gama de uso.

AGENTE	GAMA DE TEMPERATURA ° C
AGUA	5-90
MEZCLA AGUA/ALCOHOL	MENOR A 5
SALMUERA	MENOR A 5
ACEITE	90- 300

Los canales de enfriamiento han de ser limpiados paulatinamente, ya que los sedimentos del fluido en circulación y la oxidación pueden causar estrechamiento. Un agente

apropiado es el ácido clorhídrico de 20 ° Be (grados Baumé) con dos partes de agua.[Nota 1]

El dimensionado correcto de los canales no constituye aún una garantía de distribución homogénea de la temperatura en la pared del molde. Para tener una distribución uniforme es condición previa que la diferencia entre la temperatura de entrada y de salida sea menor de 6 ° C.

Existen varios tipos de canales de enfriamiento según sea la geometría de la pieza:

- Canales en espiral
- Canales rectilíneos
- Enfriamiento en serie
- Enfriamiento en paralelo

### 3.12.1 Canales en espiral.

En casos en que la pieza sea plana con simetría de rotación, se recomienda el sistema de enfriamiento en espiral, donde el líquido refrigerante actúa primeramente sobre el punto situado frente a la entrada de la colada, consiguiéndose así que la diferencia de temperatura entre la pieza y el líquido sea máxima en el punto mas caliente, por lo que puede disiparse mayor cantidad de calor.

En su recorrido por el espiral, el líquido adquiere temperatura, de modo que, en los puntos donde la masa está ya más fría por ser largo el camino del flujo, el gradiente de temperatura es menor. Este sistema de enfriamiento es de un costo elevado, pero proporciona piezas de gran calidad y con pocas deformaciones.

La figura 19 muestra este tipo de canal de enfriamiento.

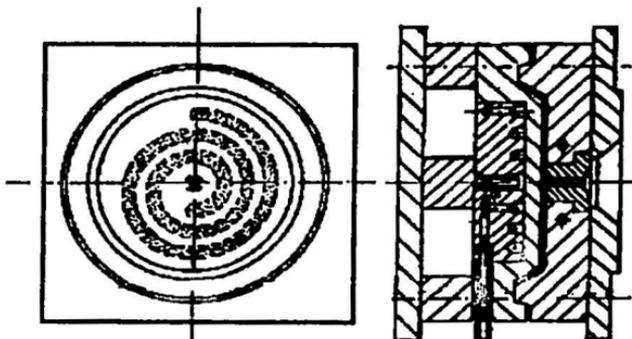


Figura 19. Canal en espiral.

[Nota 1]. El grado Baumé indica la densidad de un líquido, así como también el grado de concentración de una disolución o la fuerza de un alcohol. Se determina con un aerómetro de Baumé.

### 3.12.2 Canales rectilíneos.

Dado que los canales en espiral elevan considerablemente el costo del molde, se puede disponer también de canales rectilíneos, los cuales cruzan el molde al tratarse de piezas con simetría de rotación, aunque en consecuencia se encontrarán deformaciones en la pieza, por lo que este sistema es mas recomendado para piezas rectangulares. En las piezas inyectadas por el centro, el sistema de enfriamiento rectilíneo ha de dividirse, de modo que el líquido tenga que recorrer el mismo camino para el enfriamiento de las mitades izquierda y derecha del molde.

La figura 20 muestra el canal rectilíneo de enfriamiento.

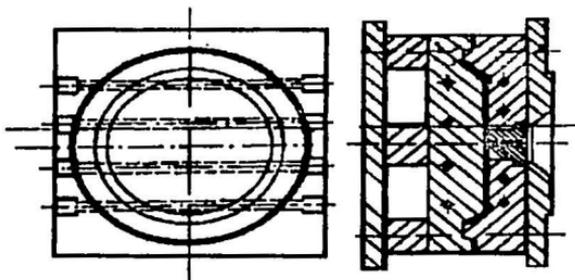


Figura. 20. Canal rectilíneo.

### 3.12.3 Enfriamiento en serie.

Este sistema ha dado buenos resultados en el enfriamiento de núcleos en moldes múltiples. En este sistema, los distintos núcleos son recorridos sucesivamente por el líquido refrigerante, pero como la diferencia de temperatura entre las piezas y el líquido disminuye con la longitud del recorrido, se obtiene un enfriamiento uniforme de los diversos núcleos y por tanto de las piezas. Aunque es bueno este sistema, la calidad de las piezas es variable (Figura. 21).

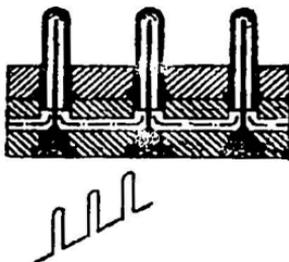


Figura. 21. Enfriamiento en serie.

### 3.12.4 Enfriamiento en paralelo.

A manera de asegurar mayormente la calidad de las piezas, se ha utilizado el sistema de enfriamiento en paralelo. En este caso, el líquido refrigerante se conduce a los diversos núcleos desde un canal colector. Un segundo colector se encarga del retorno del líquido, consiguiendo con ello disponer de líquido refrigerante a la misma temperatura para cada núcleo, garantizando así un enfriamiento uniforme (Figura. 22).

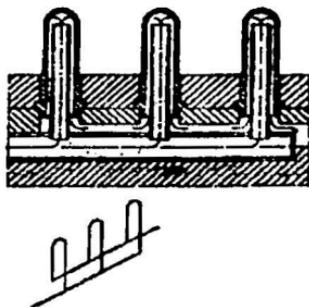


Figura. 22. Enfriamiento en paralelo.

### 3.13 Botado de piezas.

Una vez enfriada y solidificada la pieza, hay que extraerla del molde, llamado también desmoldeo. Siendo idealistas desearíamos que la pieza cayera por gravedad al abrir el molde, pero la pieza queda retenida por los resaltes, fuerzas de adherencia y tensiones internas, razón por la cual hay que diseñar dispositivos especiales para desprenderla.

Generalmente los dispositivos de desmoldeo se accionan mecánicamente aprovechando la carrera de apertura de la máquina. En ocasiones este dispositivo tan sencillo no basta y la expulsión debe efectuarse de manera neumática o hidráulica como es en el caso de una inyección a una presión residual muy alta o prolongada o en piezas donde las paredes son muy finas, especialmente con masas frágiles. En ocasiones los polímeros no permiten aplicar la fuerza necesaria para el desmoldeo.

Para que los eyectores trabajen con seguridad, deben colocarse en los puntos donde los rincones, paredes laterales, nervios, etc., dificultan, por una parte, el desmoldeo, pero conducen, por otra parte, la fuerza de extracción a la pieza gracias a su efecto de refuerzo.

Todo eyector produce una marca visible en la pieza, por lo que tiene que considerarse al determinar el sistema y su disposición.

### 3.13.1 Varillas expulsoras.

El sistema de eyección más conocido opera con varillas expulsoras que separan la pieza del núcleo. Estas varillas han de emplearse en cantidad suficiente, distribuyéndolas de manera que la pieza pueda desmoldearse sin deformaciones ni deterioros. Estas varillas son fijadas en placas extractoras que actúan al abrirse el molde desplazándose hacia un perno fijo situado en el lado de cierre de la máquina inyectora.

### 3.13.2 Eyector anular.

Las piezas muy pequeñas que no tienen puntos apropiados para el ataque de los expulsores, son desmoldeadas con un eyector anular o con una placa expulsora, a fin de distribuir mejor la fuerza de extracción, sobre todo en el perímetro de la pieza, aunque la fabricación de un eyector anular es mucho más costosa que las varillas.

La placa expulsora ofrece también la posibilidad de repartir la fuerza de extracción sobre la pieza. Es apropiada tanto para piezas redondas como de otro tipo, el costo de estas es también elevado, ya que han de ajustarse mejor, pues solo así se evita que la masa penetre entre el núcleo y el dispositivo de extracción.

En las superficies alineadas con la dirección de apertura del molde, debe existir un ángulo de salida el cual facilite el mecanismo de botado, siendo este ángulo determinado de acuerdo a la profundidad de la cavidad, de modo que cuanto mayor sea ésta, mayor será el ángulo requerido; Un valor recomendado usualmente es de 1°, aunque para moldeados pequeños, ½ ° sería suficiente, en moldeados de tamaño mayor pueden utilizarse ángulos de hasta 3 °.

Para liberar una pieza de un corazón macho, la fuerza requerida puede ser calculada por:[11]

$$P = \frac{(St) (E) (A) (\mu)}{[d (d/2t) - (d/4t)(\gamma)]} \text{----- (4)}$$

donde:

P= Fuerza de eyección requerida en (Lbf)

E= Módulo de elasticidad en ( Lbf/in<sup>2</sup>)

A= Área total de contacto entre el moldeado y las caras del molde alineadas con el botado en (in<sup>2</sup>)

μ= Coeficiente de fricción entre el plástico y el acero

d= Diámetro de la circunferencia equivalente al perímetro del moldeado alrededor del corazón macho en (in)

t= espesor del moldeado en (in)

γ= Relación de Poisson del plástico

$S_t$  = Contracción térmica del plástico a través del diámetro  $d$   
= (Coeficiente de expansión térmica)(diferencia de temperaturas entre el punto de reblandecimiento y la temperatura de eyección)( $d$ )

### 3.13.3 Botado por aire.

El botado de piezas con largas superficies cilíndricas o planas, tienden a crear una presión negativa entre la pieza y la pared de la cavidad, siendo necesario en estos casos romper este vacío utilizando un sistema de botado mediante aire operado por válvulas y canales de aire independientes o en conjunción con los pernos botadores.

- Evita daños en el molde causados por problemas de botado en piezas profundas o de paredes delgadas.
- Más durables y precisas que las similares en el mercado

Estas válvulas de precisión son diseñadas para eliminar problemas de vacío encontrados frecuentemente durante el moldeo de piezas profundas (cestos) o de paredes delgadas. El flujo de aire (sincronizado con el ciclo de botado) abre la válvula para romper el vacío y facilitar la expulsión. Cada válvula esta ajustada al cuerpo para asegurar un desempeño confiable.

### 3.14 Contracción de la pieza.[5][10][11]

La contracción de moldeo es la característica que tienen los materiales plásticos que al ser moldeados tienden a reducir sus dimensiones en el momento de su solidificación o enfriamiento. Dicha reducción ocurre en todas direcciones y ocurre por el reordenamiento molecular de las cadenas poliméricas durante el procesamiento.

La contracción de los materiales plásticos es un indicador de la estabilidad dimensional que poseen. Durante el procesamiento se debe asegurar que los productos adquieran dimensiones cercanas a las definitivas; de otra manera los productos presentaran problemas como: ensambles o contacto deficiente, mala apariencia o simplemente no serán aceptados por no cubrir ciertas especificaciones.

La contracción de moldeo es muy importante en el diseño de moldes para poder compensar la disminución del tamaño de la pieza, así como para cuando se cambia el material a procesar, pues se debe conocer si es la misma contracción o que tanta es la diferencia entre un material y otro.

El diseño del molde influye de manera muy importante en el encogimiento de las piezas inyectadas, ya que el flujo de la masa fundida puede definir zonas con contracciones diferentes, que resulten en una deformación del producto.

Existe un valor nominal de contracción específica para cada material plástico, generalmente dado en porcentaje (Tabla 3). Los valores altos indican gran contracción, por lo que se prefieren niveles bajos para un diseño de molde exacto y piezas de dimensiones con tolerancias estrictas.

Los materiales semicristalinos como los polietilenos, las poliamidas y los acetales contraen más que los polímeros amorfos como el poliestireno y policarbonato.

Los modificadores como el hule, las cargas y los refuerzos en los plásticos, afectan las características de encogimiento de forma variada, así como las condiciones de operación y el control de la temperatura del molde también presenta un efecto visible en este comportamiento.

Tabla 3. Contracción de plásticos. [10]

FACTORES APROXIMADOS DE CONTRACCIÓN			
• PP	1.2-2.5 %	• PC	0.6-0.8 %
Con F.V.	0.4-0.45 %	Con F.V.	0.2-0.4%
• PEAD	1.2- 2.5 %	• PMMA	0.3-0.7 %
• PS	0.3-0.6 %	• POM	0.3-0.7 %
• ABS	0.5-0.7 %	• PPO	0.8-1.5 %
• SAN	0.4-0.7 %	• PVC-F	1.0-2.5 %
• PA 6	0.7-2.0 %	• PVC-R	0.5-0.7 %.
Con F.V.	0.3-0.8 %	• PEVD	3.25 %
• PA 6/6	0.7-2.0 %		
Con F.V.	0.4-0.7 %		

### 3.15 Materiales para el molde. [5][4][9][11]

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

Sólo en los casos que se deban moldear partes experimentales, prototipos o pequeñas cantidades de piezas se podrán utilizar, para la construcción de las cavidades, materiales suaves y más maquinables que el acero, como por ejemplo:

1. Aleaciones de cobre (latón, bronce)
2. Aleaciones de zinc
3. Aleaciones de aluminio
4. Aleaciones de níquel o Ni-Co (electroformado galvánico).

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

Una excepción para esta regla, está representada por las aleaciones de Cobre-Berilio (Cu-Be 2%), las cuales se usan para la fabricación de cavidades o insertos de moldes que pueden ser endurecidos con tratamiento térmico. Además cuentan con una alta conductividad térmica y son, por lo tanto, adecuados para la construcción de moldes en donde existan problemas de rápida disipación o transmisión de calor.

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

1. Forma de la pieza por moldear (dimensiones, tolerancias, etc.)
2. Calidad del material plástico (resina, refuerzos, etc.)
3. Cantidad de piezas por producir
4. Método seleccionado para la construcción de la cavidad (ejemplo: máquinas convencionales electroerosión (EDM), electroformado, clavado, etc.)

Sobre la base de estas consideraciones preliminares se planea y diseña el molde, que en el caso de producciones repetitivas (series de mediana o grandes cantidades de piezas) deberá ser construido con diversas calidades de acero, oportunamente seleccionadas, tomando en cuenta la función y forma de cada componente y los niveles de servicio requeridos.

Al examinar el dibujo de un molde y la función particular de los componentes podemos distinguir lo siguiente:

1. La estructura soporte o armazón, formada por placas sobrepuestas.
2. El sistema de guía compuesto por pernos guía y bujes.
3. Las cavidades y corazones en los cuales el material plástico es inyectado o prensado.
4. El sistema de extracción (o expulsión) de las piezas moldeadas.

La Tabla 4 proporciona indicaciones generales sobre los diferentes aceros, grados y sus aplicaciones para la fabricación de los moldes para materiales plásticos.

La necesidad de reducir los tiempos de diseño y fabricación de moldes para el procesamiento de plásticos, ha hecho que el fabricante utilice en forma inevitable los componentes ya normalizados (placas, platinas, pernos guía y bujes, botadores, boquillas, bloques distribuidores, etc.). El uso de estos componentes normalizados es además el primer paso para la solución de muchos problemas relacionados con el diseño y la fabricación de un molde.

### **3.16 Acabado superficial.**

Debe considerarse que el éxito del acabado superficial del producto depende directamente del acabado superficial del molde.

El acabado superficial del molde se logra mediante un proceso de pulido adecuado. Si éste es deficiente, existirán imperfecciones en la superficie del producto, como opacidad, rugosidad, poros, etc., por el contrario, si existe un pulido excesivo puede dañarse la

superficie del molde ocasionando efectos como deformaciones, poros, etc. La manera más segura de evitar este tipo de efectos es pulir el molde a mano, ya que de esta manera es difícil exceder los puntos de cedencia del metal.

Tabla 4. Aceros para la fabricación de moldes.[10]

TIPO	DESIGNACIÓN AISI	Nº. DE CLAVE	DUREZA RECOMENDADA 60-70 Kg/mm <sup>2</sup>	FUNCIÓN
CONSTRUCCIÓN				GRANDES ESTRUCTURAS O MOLDES DE MENOR PRESIÓN
PRETRATADO	4130	1.7218	30-60 ROCKWELL C	ESTRUCTURAS MEDIAS Y PEQUEÑAS. MOLDES DE ALTA PRESIÓN.
	4140	1.7225		ACERO CON TRATAMIENTO PARA PLACAS SOPORTE DE CAVIDADES. (CORAZONES Y CAVIDADES PARA MOLDES GRANDES)
	P 20	1.2330	0-36 ROCKWELL C	ESTRUCTURAS DE MUCHA PRESIÓN. GRANDES ÁREAS MOLDEANTES O MOLDES DE POCA O MEDIA PRECISIÓN. CARBURADOS.
PRETRATADO	414	1.4001	30-35 ROCKWELL C	ESTRUCTURAS RESISTENTES A LA CORROSIÓN.
INOXIDABLE	420	1.4021	30-35 ROCKWELL C	GRANDES ÁREAS MOLDEANTES PARA MOLDES RESISTENTES A CORROSIÓN.
CEMENTACIÓN	P-5	1.2341	59-62 ROCKWELL C	PIEZAS SOMETIDAS A DESGASTE SUPERFICIAL COMO BARRAS DE DESLICE, AROS EXTRACTORES ETC.
	P-6	1.2735	58-60 ROCKWELL C	
TEMPLE AL NUCLEO	H-13	1.2344	50-52 ROCKWELL C	ÁREAS MOLDEANTES PARA MOLDES DE GRAN RESISTENCIA.
	S-7	1.3355	54-56 ROCKWELL C	COMO ARRIBA PERO PARA MOLDES EN QUE SE DESEA MAYOR DUREZA
	A-10		58-60 ROCKWELL C	ÁREAS MOLDEANTES. POSIBLE DE TEMPLAR AL AIRE. USAR EN CASOS EN QUE DEBA HACER POCA FRICCIÓN. BARRAS DE DESLICE, ANILLOS DE EXTRACCIÓN, ETC.
	D-2	1.2379	56-58 ROCKWELL C	ÁREAS MOLDEANTES DE MOLDES QUE NECESITEN GRAN RESISTENCIA A LA ABRASIÓN COMO MOLDES PARA INYECTAR MATERIALES CON CARGAS.
INOXIDABLE	420	1.4021	50-52 ROCKWELL C	ACEROS INOXIDABLES PARA CAVIDADES DE MOLDES SUJETOS A CORROSIÓN O AMBIENTE HUMEDO. TAMBIÉN BUEN PULIDO
	440	1.4112	56-58 ROCKWELL C	
MARAGIN	250		50-52 ROCKWELL C	ÁREAS MOLDEANTES DE EXCEPCIONAL RESISTENCIA O EN DONDE EL RIESGO DE DISTORSIÓN O FRACTURA EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO SEA GRANDE. PEQUEÑOS INSERTOS O LÁMINAS DE ALTA FRAGILIDAD O ÁREAS MAL SOPORTADAS.
MARGARIN INOXIDABLE	455 M		46-48 ROCKWELL C	COMO ARRIBA PERO CON RESISTENCIA A LA CORROSIÓN
ACERO RAPIDO	ASP		64-66 ROCKWELL C	ÁREAS MOLDEANTES O QUE NO NECESITEN ALTA RESISTENCIA A LA DEFLEXIÓN COMO EXTRACTORES DE LÁMINA, PERNOS ETC.
COBRE BERILIO	Be Cu		28-32 ROCKWELL C	ÁREAS MOLDEANTES EN DONDE SEA ESPECIALMENTE CRÍTICA LA NECESIDAD DE REFRIGERACIÓN.
ACEROS GRADO HERRAMIENTA	02			ACEROS TEMPLADOS CON GRAN DUREZA Y MINIMA DISTORSIÓN. EMPLEADO PARA ELEMENTOS Y CAVIDADES SUJETOS A DESGASTE.
	D3			
	H111			

Además de que el pulido proporciona una apariencia deseada de la pieza inyectada, también facilita el botado de las piezas. Otra función del pulido es remover una débil capa superficial del metal del molde, la cual suele desprenderse debido a esfuerzos inducidos por el maquinado o por efectos del destemplado, dando así, una apariencia de corrosión.

El pulido del molde comienza cuando el diseñador establece la información del acabado en los planos, pudiendo representar de un 5 % a un 30 % del costo total del molde.

### **3.17 Deformación del molde.[4][5][9]**

El molde puede ser considerado un recipiente cerrado sujeto a presiones internas y fuerzas muy elevadas que pueden medirse o suponerse, provocando que se deforme y debe volver a sus dimensiones originales cuando se quite la fuerza que produjo esa deformación.

Se debe considerar que cuando la placa de la cavidad está flexionada, y deja de estar sujeta a la fuerza (o sea la presión interna) que ha causado la deformación, esa fuerza es devuelta íntegramente regresando la cavidad a su condición primitiva.

De esta manera, es posible comprender las razones que a veces impide la apertura de un molde después de la inyección del material plástico. La pieza moldeada se solidifica y se mantiene bloqueada entre el corazón y la cavidad externa, porque cuando se interrumpe la presión de inyección que provocó la flexión de la cavidad, está misma empuja con igual fuerza en sentido opuesto (hacia el centro del molde) oprimiendo la pieza moldeada sobre el corazón.

En realidad, la placa de la cavidad no está sometida a una flexión estática sino a una flexión alternada debido a que cada ciclo de moldeo la placa se flexiona, cuando el material fundido se inyecta a presión, para después adquirir la dimensión original. Esta flexión alternada que se repite decenas y centenas de veces al día (tantas como número de ciclos de moldeo se realicen), puede ser considerada como un esfuerzo a la fatiga.

En tales casos cuando los esfuerzos reales no están bien determinados, deben adoptarse factores de seguridad más elevados.

Una premisa necesaria para el diseño mecánico de un molde es una verificación de los esfuerzos inducidos por las altas presiones del moldeo y las consecuentes deformaciones de la estructura.

Si consideramos la gran variedad de formas y tamaños de los moldes así como las fuerzas que son aplicadas a ellos durante el proceso de moldeo (presiones internas, fuerzas de cierre, fuerzas de expulsión y deformaciones relevantes) se podrá comprender la utilidad de hacer la verificación de esa estabilidad por medio de los programas de computación desarrollados especialmente a fin de extraerlos y al mismo tiempo, obtener un análisis de datos y la representación gráfica de acuerdo con los principios teóricos y la simulación.

En este punto, si se tienen completas las fases del diseño inicial sobre la pieza moldeada y lo más relevante del molde, el proyectista podrá examinar la amplia mezcla de información teórica suministrada por la computadora. Entre los problemas esenciales que se analizan hay algunos que están rigurosamente interrelacionados entre la pieza moldeada y el molde:

1. Propiedades reológicas y térmicas del polímero
2. Simulación del llenado del molde y la ubicación de las coladas y los puntos de inyección (esto se realiza usando un sistema computacional)
3. Parámetros de moldeo (velocidades de inyección y presiones, temperaturas, tiempos de enfriamiento de las piezas)
4. Prever la contracción de las piezas moldeadas así como las tolerancias dimensionales
5. Comprobación de los esfuerzos y la deformación del molde (esto se realiza usando el método de los elementos finitos (FEM))

### **3.18 Normalización de Moldes.**

En los moldes de inyección existe una serie de elementos y configuraciones que se reproducen con gran frecuencia; de ahí que algunas empresas se especializan en la fabricación de estas piezas y las tipifican, tales como DME, POLIMOLD, HASCO/NORMALIEND HASENTLEVER GMBH+CO., HUSKY INJECTION MOLDING SYSTEM LTD, entre otras.

Los fabricantes de estos llamados elementos normalizados han desarrollado dos sistemas: concretamente el molde patrón y los moldes construidos mediante elementos normalizados.

Los moldes patrón se ofrecen básicamente como construcciones terminadas; todos los trabajos previos como la colocación de elementos de guía, el mecanismo de los eyectores entre otros, han sido ya realizados por el fabricante del molde, de modo que los elaboradores de piezas de inyección sólo tienen que incorporar los elementos que determinen los perfiles de la pieza, el sistema de llenado, los expulsores y el sistema de acondicionamiento de la temperatura. Solo existen moldes patrón en algunas construcciones sencillas, por ello su utilización aún es limitada.

Actualmente es frecuente construir moldes con elementos básicos prefabricados, como placas, platinas de centrado, varillas expulsoras, distanciadores y placas expulsoras. Los elementos base se fabrican en serie con máquinas o dispositivos especiales y poseen gran versatilidad y posibilidades de combinación, por lo que todas las piezas son intercambiables.

Las figuras 23, 24, y 25 muestran diversas construcciones de elementos normalizados.

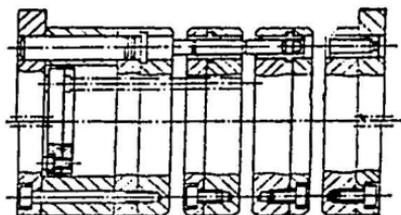


Figura. 23. Molde de guillotina con paquete adicional de placa expulsora

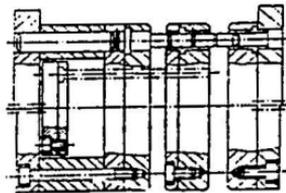
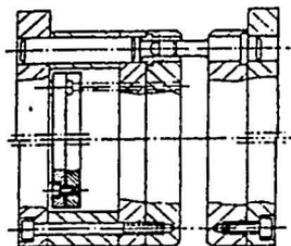


Figura. 24. Molde normal con placa intermedia.

Figura. 25. Molde con paquete expulsor.

El empleo de piezas normalizadas proporciona al constructor de moldes una serie de ventajas:

- Versatilidad para la fabricación en serie de los elementos normalizados, reduciendo así el costo de los mismos al evitar fabricar piezas especiales para cada caso, además de no ser necesario tener un costoso parque universal de maquinaria.
- Puede prescindirse de un costoso almacén de materiales para la fabricación de elementos, teniendo solo los requeridos para los elementos ya diseñados.
- Los elementos pueden desmontarse posteriormente en caso de falla, ya que los diversos elementos son intercambiables.
- Puede contarse con costos fijos para los diversos elementos, evitando así el cambio imprevisto al brindar un presupuesto o al elaborar ofertas de fabricación.

### **3.19 Molde de insertos intercambiables.**

En los procesos productivos actuales, la productividad es un factor crítico para cualquier empresa. Fabricar el mayor volumen de piezas al menor costo y en el menor tiempo es la meta. Sin embargo, algunos procesos requieren de pequeños volúmenes de producción sin sacrificar costos tanto en materiales como en mano de obra. Es aquí cuando resulta poco rentable tener varios moldes para distintas piezas que se producirán a bajo volumen, debido a los altos costos involucrados en la fabricación y mantenimiento de moldes, así como el tiempo y la mano de obra requerida para el cambio de los mismos.

Un molde de cavidades intercambiables es una excelente alternativa pues nos permite fabricar piezas diferentes con el mismo molde y con cambios sumamente rápidos.

Este sistema de insertos intercambiables puede ser aplicado en la fabricación de prototipos pues es más fácil y económica la manufactura de un inserto que la de un molde completo.

## Capítulo 4. Diseño del molde de inyección.

### 4.1 Introducción.

En este capítulo se desarrollará el diseño de un molde de cavidades intercambiables para comprobar los beneficios que este nos brinda.

El molde a diseñar comprende cuatro cavidades para la elaboración de juguetes de plástico con diferentes combinaciones de las siguientes figuras: una escuadra, un serrucho y un desarmador.

Las piezas fueron seleccionadas debido a la diferencia marcada en las geometrías para tratar de justificar la versatilidad de los insertos intercambiables, además se implementará el uso de elementos normalizados, de tal manera que se logren cubrir indicadores de diseño como la funcionalidad del molde facilitando el cambio de piezas, calidad y costo, así como viabilidad de producir cantidades bajas de producto.

Las actividades que se realizaron para el diseño del molde de cavidades intercambiables fueron las siguientes:

- Cálculo del volumen de cada una de las piezas.
- Selección del material a utilizar. De acuerdo a las propiedades de los plásticos vistas en el capítulo dos y a una tabla comparativa de los posibles plásticos a utilizar.
- Cálculo del peso de las piezas, a partir del volumen de las piezas y la densidad del material seleccionado en el paso anterior.
- Cálculo de los canales de alimentación y el bebedero. Como se vio en el capítulo tres, utilizaremos un molde de cuatro cavidades. En esta etapa calculamos las dimensiones y proponemos la geometría que deben cumplir los canales de alimentación y el bebedero que garanticen el mejor flujo para el correcto llenado del molde.
- Conociendo las dimensiones y la geometría de los canales, el siguiente paso será determinar el volumen de cada uno de ellos.
- Con los datos hasta aquí obtenidos podremos determinar el volumen total a inyectar, excepto el cono del bebedero que se calculará en el siguiente paso.
- Cálculo de las dimensiones y geometría del cono del bebedero.
- El siguiente paso será el cálculo del peso total a inyectar, tomando como referencia la pieza más representativa.
- Conociendo el número de cavidades, el peso total a inyectar y la capacidad de plastificación de la máquina se determinará el tiempo de inyección.
- Para garantizar que la inyección de las piezas será en el mismo tiempo, a pesar de que sus geometrías son diferentes, calcularemos las características que deberán tener los canales de estrangulamiento, cuya función es regular la velocidad de llenado.
- Al momento de la inyección, el plástico ejerce una presión elevada que trata de abrir el molde, por lo que requerimos calcular la fuerza necesaria para mantener el molde cerrado durante la inyección, lo que nos permite seleccionar la máquina que cumpla con esta fuerza.

- Los dos pasos siguientes serán los cálculos de la fuerza máxima que soportan el molde y la barras espaciadoras antes de deformarse por el efecto de compresión de la fuerza de cierre.
- Posteriormente se determinará el sistema de enfriamiento óptimo (geometría, número y ubicación de los canales de enfriamiento) que debe tener el molde, así como el calor que debe disipar y el tiempo que tomará el proceso de enfriamiento.
- El siguiente paso será la determinación del sistema de botado con base en el capítulo tres.
- El último paso será corroborar los datos de la placa portamolde seleccionada.
- Con todo lo anterior se procederá a la elaboración de los planos del molde y finalizaremos con el cálculo de los costos.

#### 4.2 Cálculo del volumen de las piezas.

##### 4.2.1 Volumen de la escuadra.

Para determinar el volumen para la escuadra (Figura.1), es seccionada en cuatro cuerpos, la escuadra es la pieza más grande del conjunto, lo que la hace más representativa.

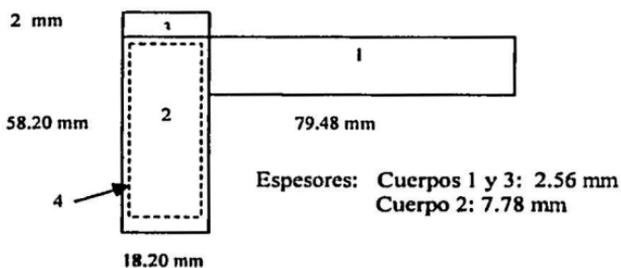


Figura. 1. Secciones de la escuadra.

El cuarto cuerpo es el hueco que va por la parte trasera del cuerpo 2, y su volumen es  $(13.03) \times (53.28) \times (2.34)$  mm

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cpo1}} + V_{\text{cpo2}} + V_{\text{cpo3}} - V_{\text{cpo4}}$$

donde:  $V_{\text{total}}$  es el volumen total de la escuadra  
 $V_{\text{cpo1}}$  es el volumen del cuerpo número 1  
 $V_{\text{cpo2}}$  es el volumen del cuerpo número 2  
 $V_{\text{cpo3}}$  es el volumen del cuerpo número 3  
 $V_{\text{cpo4}}$  es el volumen del cuerpo número 4

$$V_{\text{total}} = (79.48)(2.56)(16.04) + (58.2)(7.78)(18.2) + (18.2)(2.56)(2) - (53.28)(2.34)(13.03)$$

$$= 9.97 \text{ cm}^3$$

El volumen total de la escuadra es  $9.97 \text{ cm}^3$

#### 4.2.2 Volumen del desarmador.

Para conocer el volumen del desarmador, lo hemos dividido en cuatro cuerpos de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1. Secciones del desarmador.

Cuerpo #	Parte del desarmador	Geometría considerada
1	Mango	Hexágono
2	Extremo del mango	Cono trunco
3	Cuerpo	Cilindro macizo
4	Punta	Cilindro macizo menos dos cuñas

Cálculo de volúmenes:

- Cuerpo 1:

$$V = [(3/2)(a^2)(3^{1/2})] (h) = [(3/2)(7^2)(3^{1/2})] (25) = 3182.64 \text{ mm}^3$$

donde: a es la longitud de una de las caras del hexágono  
h es la altura del hexágono

- Cuerpo 2:

$$V = [(3.1416)/(12)] (h) [(D)^2 + (D)(d) + (d)^2]$$

$$= [(3.1416)/(12)] (14) [(14)^2 + (14)(11) + (11)^2] = 1726.3092 \text{ mm}^3$$

donde: h es la altura del cono  
D es el diámetro mayor del cono  
d es el diámetro menor del cono

- Cuerpo 3:

$$V = [(3.1416)/(4)] [d^2 (h)] = [(3.1416)/(4)] [(5.8)^2 (68)] = 1796.618 \text{ mm}^3$$

donde: d es el diámetro del cilindro  
h es la altura del cilindro

- Cuerpo 4:

Cilindro.

$$V = [(3.1416)/(4)] [d^2 (h)] = [(3.1416)/(4)] [(5.8)^2 (7)] = 184.945 \text{ mm}^3$$

donde: d es el diámetro del cilindro  
h es la altura del cilindro

Cuña.

$$V = [(2)/(3)] [(r)^2 (h)] = [(2)/(3)] [(2.4)^2 (7)] = 26.88 \text{ mm}^3$$

donde: r es el radio de la base  
h es la altura

Pero son dos cuñas por lo que el volumen total de las cuñas es de  $53.76 \text{ mm}^3$

⇒ El volumen total del cuerpo 4 es  $184.945 - 53.76 = 131.185 \text{ mm}^3$

⇒ El volumen total del desarmador es:

$$V = 3182.64 + 1726.3092 + 1796.618 + 131.185 = 6836.752 \text{ mm}^3 \\ = 6.836 \text{ cm}^3$$

#### 4.2.3 Volumen del serrucho.

Por la geometría del serrucho, se hizo una división en dos cuerpos. Para calcular su volumen se emplearon dos polígonos que representan el mango y la sierra respectivamente y con ayuda de AutoCAD V.14, se calcularon las áreas de dichos polígonos quedando de la siguiente manera (Tabla 2 y 3):

Tabla 2. Secciones del serrucho.

Cuerpo	Parte del serrucho	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
1	Sierra	1.8	1871.1431
2	Mango	4.5	922.0099

⇒ el volumen es:

Tabla 3. volumen de las secciones del serrucho.

Cuerpo	Volumen (mm <sup>3</sup> )
1	3368.057
2	4149.044

⇒ Volumen total del serrucho =  $7517.101 \text{ mm}^3 = 7.517 \text{ cm}^3$

NOTA: Determinamos que el molde deberá de ser de cuatro cavidades. Esto se elige así de acuerdo a los volúmenes obtenidos (un número mayor de cavidades implicaría un molde más grande y por lo tanto una máquina más grande).

### 4.3 Selección del material.

Dentro de la producción de piezas fabricadas con material plástico, la parte más importante es aquella en la que se diseña la pieza y selecciona el material con el cual va a ser fabricada. Se pueden presentar problemas de molde y/o moldeo que ocasionan piezas defectuosas, pero a veces el problema empieza con un mal diseño de piezas, del molde o con un material equivocado con el que se fabricará el producto.

Se requiere de un material con las siguientes características: buena apariencia física, no tóxico, de baja densidad, porcentaje de contracción bajo, flexible, ya que el uso está destinado a la población infantil; así mismo, temperatura de fusión baja para disminuir el gasto de energía y que la temperatura de servicio sea conveniente al igual que el precio.

Para seleccionar un plástico se recomienda el desarrollo de un método de comparación que permita obtener datos cuantitativos comparables de las propiedades de distintos plásticos que compiten para una aplicación.

Las características evaluadas proporcionan una guía para la propuesta de los plásticos candidatos. Los plásticos candidatos tienen propiedades que son calificadas bajo la misma escala propuesta.

A continuación mostramos una tabla (tabla 4) comparativa de algunos de los posibles materiales, así como las propiedades que consideramos importantes y su ponderación sobre un total de 80 puntos.

Tabla 4. Selección del plástico.

Propiedades analizadas	ESCALA	PEBD	PEAD	PP	PS
Apariencia	mala = 0, buena = 10	9	9	9	9
No Toxicidad	tóxico = 0, no tóxico = 10	10	10	10	10
Densidad	mayor = 0, menor = 10	6	5	8	3
% contracción	mayor = 0, menor = 10	5	6	8	10
Flexibilidad	rígido = 0, flexible = 10	6	8	9	10
Temp.. Fusión	mayor = 0, menor = 10	8	8	10	7
Temp. Servicio	menor = 0, mayor = 10	6	8	10	7
Precio material	mayor = 0, menor = 10	5	7	9	6
Total :		55	61	73	62

Se asignó una calificación más alta mientras mejor cumpliera alguno de los materiales con el requerimiento, por lo que podemos concluir que el Polipropileno (PP) es el material que escogemos para trabajar con él en este documento.

#### 4.4 Cálculo del peso de las piezas.

En esta sección determinaremos el peso de cada una de las piezas en función de su volumen y la densidad del material.

$$W = V\rho$$

donde:  $V$  es el volumen de cada una de las piezas  
 $\rho$  es la densidad del polipropileno

Tenemos que la escuadra pesa:  $W_{esc} = (9.97 \text{ cm}^3)(0.91 \text{ g/cm}^3) = 9.07$  gramos

El desarmador pesa:  $W_{des} = (6.836 \text{ cm}^3)(0.91 \text{ g/cm}^3) = 6.22$  gramos

Peso del serrucho:  $W_{serr} = (7.517 \text{ cm}^3)(0.91 \text{ g/cm}^3) = 6.840$  gramos

#### 4.5. Cálculo de los canales de alimentación y bebedero.

El siguiente paso es determinar el volumen y el peso de los canales primarios y secundarios de alimentación, así como del cono del bebedero. El objetivo de esto es saber, junto con el volumen de las piezas, cual es el volumen total de material que se debe de inyectar.

Por facilidad de maquinado y rapidez de fabricación, determinamos que la sección transversal de los canales de distribución va a ser igual tanto para los primarios como para los secundarios y que será de forma trapezoidal.

Para el cálculo de sus dimensiones nos auxiliamos de un círculo inscrito en el trapecio y de algunas fórmulas de geometría, así como del libro "Injection Molding" del autor V. Rossato.

##### 4.5.1 Cálculo del Volumen para canales primarios y secundarios.[11]

La figura 2 muestra un esquema del canal de distribución.

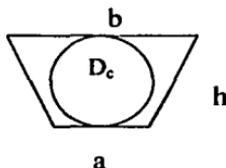


Figura. 2. Esquema del canal de distribución.

$$Dc = [(Wesc)^{1/2} (Lc)^{1/4}] / 3.7$$

donde: Wesc es el peso de la escuadra  
Lc es la longitud del canal  
Dc es el diámetro del círculo inscrito o altura del canal (h)

$$Dc = [(9.07)^{1/2} (45)^{1/4}] / 3.7 = 2.10 \text{ mm}$$

Por geometría, sabemos que  $b = (3/2)h \Rightarrow b = 3.15 \text{ mm}$

También sabemos que  $a = b(0.7) \Rightarrow a = 2.20 \text{ mm}$ .

Para el área de la sección transversal tenemos:  $A = (h)[(a+b)/2] = (2.1)[(2.2+3.15)/2]$

$$A = 5.617 \text{ mm}^2$$

Volumen canal principal =  $Vcp = A(Lcp)$  donde A es el área y Lcp la longitud

$$Vcp = 5.617(60) = 337.02 \text{ mm}^3$$

Con el valor conocido de densidad tenemos que el peso del canal principal es de  $(0.337\text{cm}^3)(0.91\text{g/cm}^3) = 0.306 \text{ gramos}$

Volumen canal secundario =  $Vcs = A(Lcs)$  donde A es el área y Lcs la longitud

$$Vcs = 5.617(60) = 337.02 \text{ mm}^3$$

Con el valor conocido de densidad tenemos que el peso de los canales secundarios es de  $(0.337\text{cm}^3)(0.91\text{g/cm}^3) = 0.306 \text{ gramos}$

La última parte en el diseño de los canales de distribución es el diseño de los rebosaderos, los cuales son extensiones de los canales que disminuyen la turbulencia durante la inyección y evitan que el material se endurezca antes de haberse llenado las cavidades. En el diseño, empleamos dos tipos de rebosaderos; el primero es una extensión del canal principal de distribución hacia sus dos direcciones, cada extensión de una cuarta parte de la longitud desde la inyección hasta la distribución, y de igual profundidad; el segundo, consiste en una pequeña alberca de 6.35 mm (1/4") de diámetro y de una cuarta parte de la altura del canal principal, es decir, 1.98 mm (5/64") y que está ubicada justo debajo de la mazarota.

#### 4.5.2 Cálculo del volumen del material inyectado.

Cálculo del volumen del material inyectado ( $Vmi$ )  $Vmi = Vpieza + Vcp + Vcs$

donde:  $Vmi$  es el volumen de material a inyectar  
 $Vpieza$  es el volumen de la pieza

V<sub>cp</sub> es el volumen del canal principal  
 V<sub>cs</sub> es el volumen de los canales secundarios

Para la escuadra que es la pieza más grande:

$$V_{mi} = \{4\} \{9.97\} + 0.337 + 0.337$$

$$V_{mi} = 40.554 \text{ cm}^3$$

#### 4.5.3 Cálculo del cono del bebedero.[11]

Dentro del cálculo del volumen de material a inyectar, se debe considerar también el cono del bebedero. Este cono inicia en el asiento de la boquilla de inyección y termina en el canal primario de distribución.

$$d = [V_{mi} / \{0.78(Vt)\}]^{1/2}$$

donde: V<sub>mi</sub> es el volumen de material a inyectar  
 Vt es una constante para el material que para PP vale 5  
 d es el diámetro de la parte alta del cono del bebedero  
 (que es el asiento de la boquilla de inyección)

$$d = [40.554 / \{0.78(5)\}]^{1/2} = 3.224 \text{ mm}$$

Si la proyección del cono del bebedero es un trapecio y si consideramos que d es el lado menor de dicho trapecio = 3.224 mm.(Figura.3)

Sea d<sub>m</sub> el diámetro mayor del cono del bebedero y h<sub>c</sub> su altura.

Sea un ángulo de 2 grados y h<sub>c</sub> = 50 mm

$$d_m = d + 2(x)$$

$$x = (50) \tan 2 = 1.7460$$

$$d_m = 3.224 + 2(1.7460) = 6.712 \text{ mm}$$

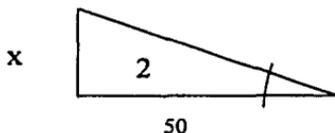


Figura 3. Mitad del cono del bebedero.

Por lo tanto el volumen para el cono del bebedero (V<sub>cb</sub>)

$$V_{cb} = (3.1416/12)(d_m^2 + d_m d + d^2)(h) = (0.2618)((6.712)^2 + (6.712)(3.224) + (3.224)^2)(50)$$

$$= 1009.0375 \text{ mm}^3$$

=> el peso del cono del bebedero es de (1.009 cm<sup>3</sup>) (0.91 g/cm<sup>3</sup>) = 0.918 gramos.

#### 4.5.4 Peso total de la escuadra con canales principales, secundarios y cono del bebedero:

$$W_{tot} = 9.07(4) + (0.306 + 0.306 + 0.918)$$

$$W_{tot} = 36.28 + 1.53 = 37.81 \text{ gramos}$$

#### 4.6 Tiempo de inyección.

Si conocemos el volumen total de material a inyectar, podemos determinar el tiempo que se va a llevar la máquina en llenar todas las cavidades y canales. Esto es importante para conocer el tiempo total que se llevará la máquina en la fabricación de las piezas y con esto la productividad de la maquina y el molde como conjunto.[11]

$$N = \{[(P)(t)/3600] - P_c\} / P_p$$

donde: N es el número de cavidades (4)

P es capacidad de plastificación de la máquina (kg/h) = 54 kg/h

t es el tiempo de inyección

P<sub>c</sub> es el peso del sistema de alimentación (kg)

P<sub>p</sub> es el peso de la pieza (kg)

despejando t

$$t = [ \{ (N)(P_p) + (W_{cs} + W_{cp} + W_c) \} ] / P$$

$$t = [ \{ (N)(P_p) + P_c \} (3600) ] / P$$

$$t = [ \{ (4)[(0.0091)] + 0.00153 \} (3600) ] / 54 = 2.528 \approx 2.53 \text{ segundos}$$

#### 4.7 Canales de estrangulamiento.

Como se ha mencionado, uno de los beneficios de utilizar cavidades intercambiables es la versatilidad de fabricar piezas diferentes con el mismo molde. Para lograr esto, se hacen algunas modificaciones a la geometría de los canales de estrangulamiento. Estos canales, como se describió en el capítulo dos, tienen la función de incrementar la velocidad del flujo del plástico, de tal manera que aseguremos el correcto llenado de la cavidad, no importando la geometría de la pieza. Hemos elegido una geometría rectangular (Figura. 4), por la facilidad de maquinado y por ser la más recomendada en la literatura consultada "Injection Molding" V. Rossato.[5]

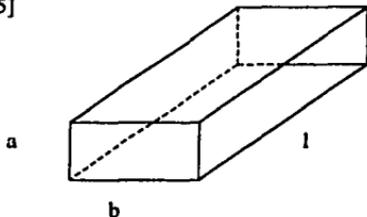


Figura. 4. canal de estrangulamiento.

$$l_{serr} = l_{des}(W_{serr}/W_{des})^{1/3}$$

$$l_{esc} = l_{serr}(W_{esc}/W_{serr})^{1/3}$$

donde: W = peso de la pieza en gramos  
 l = longitud del canal de estrangulamiento del serrucho, el desarmador y la ecuadra.

Las ecuaciones anteriores se introdujeron a una hoja de cálculo para facilitar la sustitución y obtención de valores, por lo que se muestra a continuación una tabla con los valores obtenidos (tabla 5).

Resaltamos la combinación que mejores resultados va a dar, de acuerdo a experiencia y a datos sugeridos en la literatura.

Tabla 5. Dimensiones del estrangulamiento.

long. Desar. mm	long. Serr. mm	long. Escuad. mm
1.00	1.03	1.10
<b>1.25</b>	<b>1.29</b>	<b>1.37</b>
1.50	1.55	1.65
1.75	1.81	1.92
2.00	2.06	2.20
2.25	2.32	2.47
2.50	2.58	2.75
2.75	2.84	3.02
3.00	3.10	3.30

Si  $a=h/3$ , donde h es la altura del canal secundario y  $b=2a$

$$\Rightarrow a=(2.1)/3=0.7 \text{ mm} \Rightarrow b=2(0.7)=1.4 \text{ mm}$$

#### 4.8 Fuerza de cierre requerida.[5]

Hasta ahora, hemos determinado las geometrías y los volúmenes de las cavidades y los canales. Conocemos el tiempo que se requiere para inyectar el volumen de material calculado. Procederemos ahora a calcular la fuerza que se requiere para mantener el molde cerrado durante la operación de inyección con lo que estaremos en la posibilidad de seleccionar la máquina que haya en el mercado con esa característica para sugerirla como la más viable para este proyecto en etapas posteriores.

Sabemos que la presión es una fuerza aplicada sobre una superficie o área

$$\Rightarrow P = F/A$$

$$\Rightarrow F = PA$$

donde: A es el área proyectada (pieza, canales principales y secundarios)

P es la presión aplicada

F es la fuerza aplicada

Para la escuadra  $A = 23.70(4) = 94.8 \text{ cm}^2$

Los canales primarios y secundarios son de  $1.89 \text{ cm}^2$  respectivamente

$$\Rightarrow A = 98.58 \text{ cm}^2$$

De los datos de la maquina sabemos que  $P = 714 \text{ kg/cm}^2$

$$\Rightarrow F = (714)(98.58) = 70386.12 \text{ kg} = 70.38 \text{ Ton}$$

Por lo que elegimos una maquina VanDorn modelo Cadence 90, de 90 toneladas.

#### 4.9 Barras espaciadoras.[5]

Ahora que conocemos la capacidad de la máquina, podemos continuar nuestro diseño con las características del molde que va a alojar a las cavidades. Encontramos que en el mercado de los moldes existen una serie de estándares que facilitan, tanto al diseñador como al que va a maquinar los moldes, todo el trabajo. Estos estándares incluyen los materiales, las dimensiones y algunos accesorios como son los pernos de botado, barras espaciadoras (Figura. 5), etc.

Para respetar dichos estándares, hemos elegido el material del molde como el acero AISI 4130 que, dentro de otras características ya explicadas, tiene un valor de esfuerzo permisible  $130 \times 10^3 \text{ Psi} = 9139 \text{ kg/cm}^2$

Utilizaremos, también, un molde estandarizado serie A1616-1317 de 40.64 cm de largo por 40.3225 cm de ancho con barras estandarizadas de las siguientes dimensiones:

$$P = 47.625 \text{ mm} = 4.762 \text{ cm}$$

$$C = 98.425 \text{ mm} = 9.842 \text{ cm}$$

$$\text{Separación std. } 246 \text{ mm} = 24.6 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud de la barra std. } 406.4 \text{ mm} = 40.64 \text{ cm}$$

$$\text{Área de la barra} = (P)(\text{Longitud}) = 193.527 \text{ cm}^2$$

$F = A(E)$  donde A es el área y E el esfuerzo permisible

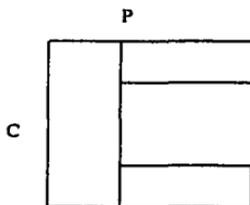


Figura.5. Barras espaciadoras.

$$F = (193.527)(9139) = 1,768,643.253 \text{ kg} = 1,768.643 \text{ Ton.}$$

Si la máquina va a ejercer una presión máxima de 90 ton, las barras están suficientemente sobradas pues soportan 1,768.643 ton antes de deformarse.

#### 4.10 Deformación del molde.[5]

Debido a que se va a aplicar una fuerza sobre la placa del molde, debemos asegurarnos que esta no se pandee o se deforme al momento de la inyección, por lo que es necesario calcular la fuerza que soporta como máximo la placa antes de deformarse.

$$S = (W)(L)/(8)(Z)$$

donde:      W es la carga que la placa puede soportar  
              L es la longitud entre soportes  
              Z es el módulo de sección o propiedad de la sección que resiste la flexión  
              S es el esfuerzo en el centro (tablas)  $91.4 \text{ kg/mm}^2 = 130001 \text{ Psi}$   
              Considerando que  $1 \text{ psi} = 0.07030696 \text{ kgf/cm}^2$

$$\bullet \quad Z = (b)(B^2)/6$$

donde:

B = 47.625 mm es el espesor de la placa porta insertos

b = 406.4 mm es el largo de la placa porta insertos

$$\Rightarrow Z = 153\,628.72$$

$$W = (8)(Z)(S)/L = (8)(153\,628.72)(91.4)/(170) = 660784.2357 \text{ kg} = 660.784 \text{ ton antes de flexionarse.}$$

Esto quiere decir que aun si la máquina aplicará las 90 toneladas que es capaz, la placa puede soportar mas de siete veces esa fuerza sin deformarse.

#### 4.11 Enfriamiento del molde.[5]

Tal como describimos al principio, para poder inyectar el plástico es necesario calentarlo hasta hacerlo fluido. Una vez inyectado es importante enfriarlo de tal manera que vuelva a su estado sólido pero ahora con la forma de la pieza que estamos fabricando, para ello se requiere de un sistema de enfriamiento cuyos parámetros calculamos a continuación.

#### 4.11.1 Cálculo de la distancia entre el canal de enfriamiento y la superficie del molde.[5]

$$S = [(w)(L)]/[8(z)] = [(w)(D)]/[8(z)]$$

donde:  $w$  es la carga en una pulgada cuadrada = 20000 psi.  
 $D = L$  = longitud de la viga = 7/16 in = 0.4375 in = 11.11 mm (dato salido de recomendaciones para profundidades y separaciones de la bibliografía consultada). [7/16-9/16 in] = 11.11 mm  
 $z$  es el modulo de la sección.

Módulo de la sección:

$$z = [(b)(d)^2] / 6 = [(b)(L)^2] / 6 \dots\dots(1)$$

$$\Rightarrow b = (1/D) = (1/11.11) = 0.09 \text{ mm}$$

Si  $D = L$

Si  $S = 10000$  psi

$$\Rightarrow z = [(w)(D)] / [8(S)] = [(20000)(11.11)] / [8(10000)] = 2.777$$

$$\text{Sustituyendo en (1) } 2.778 = [(0.09)(L)^2] / 6 \Rightarrow L^2 = [(2.7778)(6)] / (0.09)$$

$$\Rightarrow L = 13.606 \text{ mm} = 1.36 \text{ cm} = 0.045 \text{ ft}$$

#### 4.11.2 Canales de enfriamiento.

Del punto anterior se tiene que el diámetro de los canales de enfriamiento es de 11.11 mm (7/16 in), se recomienda [5] que la separación entre los canales de enfriamiento sea de 2.5 a 3.5 veces su diámetro y, la distancia entre canales y la superficie de la cavidad de 0.8 a 1.5 veces su diámetro (Tabla 6). [5]

Tabla 6. Separación entre canales. [5]

Considerada	Operación	Dc = Distancia entre centros de canales (mm)
3.5 veces	(11.11)(3.5)	38.88
2.5 veces	(11.11)(2.5)	27.77

Considerando que el área propuesta para trabajar (de acuerdo a la geometría de las piezas) es de 304 por 191.14 mm para calcular el número de canales necesarios para el enfriamiento, se tiene la siguiente relación (Tabla 7):

$$N_c = L/D_c$$

donde:  $N_c$  es el número de canales

$L$  es la longitud de la base (304 mm)

$D_c$  distancia entre centros de los canales

Tabla 7. Número de canales.

Dc	Nc
38.88	7.8 (tomamos 8 canales)
27.77	10.9 (tomamos 11 canales)

El número de canales de enfriamiento a utilizar es de 8, con una separación de 38.88 mm entre sus centros, con un arreglo de tipo lineal. Esto está determinado por las dimensiones físicas de la placa y otros maquinados requeridos para el botado de las piezas.

#### 4.11.3 Cálculo del calor a disipar.[5]

$$H = [kAT(t_2 - t_1)] / L$$

donde: A es el área de la cavidad en contacto con el material  
 T es el tiempo del ciclo  
 $t_2$  es la temperatura del plástico inyectado  
 $t_1$  es la temperatura del medio circulante  
 L distancia entre la cara de la cavidad y el comienzo del molde  
 k conductividad térmica

Datos:

$$A = 108 \text{ cm}^2 = 0.11625 \text{ ft}^2$$

$$T = 2.53 \text{ seg} = 7.027778 \times 10^{-4} \text{ h}$$

$$t_2 = 265 \text{ }^\circ\text{C} = 509.04 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C} = 50.04 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$k = 0.07 \text{ btu}/(\text{ft } ^\circ\text{F h})$$

$$1 \text{ BTU} = 0.252 \text{ Kcal}$$

$$L = 1.36 \text{ cm} = 0.045 \text{ ft}$$

$$\Rightarrow H = [(0.07)(0.11625)(7.027778 \times 10^{-4})(509.04 - 50.04)] / (0.045)$$

$$\Rightarrow H = 0.583 \text{ btu} = 0.00146916 \text{ kcal} = 14.69 \text{ cal}$$

#### 4.11.4 Cálculo del tiempo de enfriamiento.

Datos:[8]

$$\text{Temperatura de inyección del PP} \quad T_m = 240 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura de desmoldeo (tablas)} \quad T_e = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura del molde (tablas)} \quad T_w = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \text{Variación de temperatura } T_e = (T_m - T_w) / (T_e - T_w) = (240 - 25) / (80 - 25) = 3.909^\circ\text{C} \dots [8]$$

Lo consideraremos como 4 °C

Si el espesor de la pieza es de 4.4 mm y la difusividad térmica para el PP es de  $7.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ , consultamos el Nomograma [16] y obtenemos que el tiempo de enfriamiento es de 12 segundos.

#### 4.12 Sistema de botado.

Debido a la complejidad de homologar la distribución de los botadores mecánicos para las diferentes geometrías de los insertos, el botado de las piezas se llevará a cabo mediante el uso de válvulas de aire comprimido (llamadas también Poppets), cuyo funcionamiento se explico en el capítulo tres. De acuerdo a la tabla de elementos normalizados de DME [12], se seleccionó la válvula VA - 01 cuyas dimensiones se muestran en el Anexo B. Seleccionamos la más pequeña pues se ajusta a nuestras necesidades de botado siendo compatible con la geometría de las piezas propuestas.

La distribución del sistema de botado se muestran en los planos 3 y 14.

#### 4.13 Selección de la placa portamolde.

Para seleccionar la placa portamolde deben tomarse en cuenta dos aspectos:

- el área de trabajo de la máquina inyectora.
- el área de distribución de los insertos en el molde.

La máquina de inyección a utilizar tiene las siguientes dimensiones: 420 por 420 mm de área útil entre barras (anexo A). Por otro lado, el área de distribución de los insertos en nuestro molde es de 304 por 191.14 mm. De acuerdo a tablas de elementos normalizados de DME [12], encontramos que la placa serie A1616-1317 es la más adecuada pues sus dimensiones son (Figura. 6, tabla 8):

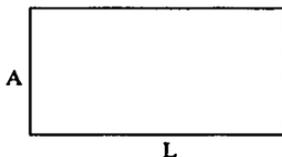


Figura. 6. Esquema de la placa portamolde.

Tabla 8. Dimensiones de la placa portamolde.

Medidas	A (mm)	L (mm)
Externas	403.225	406.4
Útil	420.116	420.116

#### 4.14 Ajustes.

Un ajuste está constituido por el ensamble de dos piezas de la misma dimensión nominal. Para el diseño del molde es de gran importancia, principalmente en los pernos guías, camisas o bujes para los pernos guías.

Para el diseño de nuestro molde se consideran ajustes en:

- Pernos guías.
- Bujes o camisas para pernos guías.
- Insertos.

A continuación se hace el análisis de ajustes para cada uno de los elementos anteriores, considerando para todos los casos agujeros únicos, es decir, que primero se fija la medida del agujero y posteriormente el ajuste deseado se obtiene haciendo variar la posición de la tolerancia para el eje (pernos, camisas o bujes, insertos).

Apriete máximo = Diámetro máximo del eje – Diámetro mínimo del agujero.

Apriete mínimo = Diámetro mínimo del eje – Diámetro máximo del agujero.

Juego máximo = Diámetro máximo del agujero – Diámetro mínimo del eje.

Juego mínimo = Diámetro mínimo del agujero – Diámetro máximo del eje.

#### 4.14.1 Ajustes para pernos guías.

En la figura 7 se muestra el perno guía.

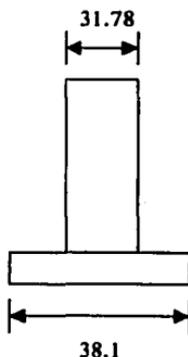


Figura 7. Perno guía.

Unión = Deslizante justa de precisión. H6h6

Tipo = Transición.

	AGUJERO (mm)	EJE (mm)
Medida nominal	31.78 H6	31.78 h6
Diferencia superior.	0.016	0.000
Diferencia inferior	0.000	-0.016
Tolerancia	0.016	-0.016
Medida máxima	31.796	31.78
Medida mínima	31.780	31.764

Apriete máximo = 0

Apriete mínimo = 0

Juego máximo = 0.032

Juego mínimo = 0

Por tratarse de agujero único: Agujero = 31.78 mm; Eje = 31.764 mm.

#### 4.14.2 Ajustes para las camisas de pernos guías.

En la figura 8 se muestran las dimensiones de los diámetros exteriores de las camisas para pernos guías.

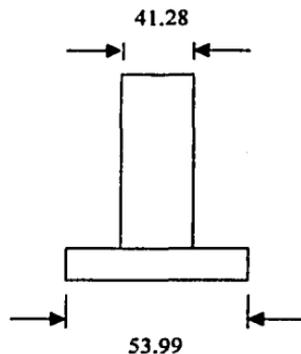


Figura 8. Camisa para perno guía.

Unión = Apretada normal. H7k6

Tipo = Interferencia (apriete).

Para este caso, se tomaron en cuenta sólo los diámetros exteriores, pues los interiores son los agujeros únicos para el caso de los pernos guías.

- Diámetro = 41.28 mm (1 5/8")

	AGUJERO (mm)	EJE (mm)
Medida nominal	41.28 H7	41.28k6
Diferencia superior.	0.025	0.018
Diferencia inferior	0.000	0.002
Tolerancia	0.025	0.016
Medida máxima	41.305	41.296
Medida mínima	41.28	41.280

Apriete máximo = 0.016

Apriete mínimo = -0.025

Juego máximo = 0.025

Juego mínimo = -0.016

Por tratarse de agujero único: Agujero = 41.28 mm; Eje = 41.28 mm

- Diámetro = 53.99 mm (2 1/8")

	AGUJERO (mm)	EJE (mm)
Medida nominal	53.990 H7	53.990 k6
Diferencia superior.	0.030	0.021
Diferencia inferior	0.000	0.002
Tolerancia	0.030	0.019
Medida máxima	54.020	54.009
Medida mínima	53.990	53.992

Apriete máximo = 0.019

Apriete mínimo = -0.028

Juego máximo = 0.028

Juego mínimo = -0.019

Por tratarse de agujero único: Agujero = 53.99 mm; Eje = 53.992 mm

#### 4.14.3 Ajustes para las placas porta insertos.

La figura 9 muestra las dimensiones nominales de las placas para insertos.

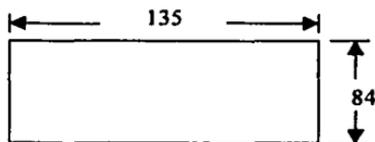


Figura 9. Dimensiones de la placa porta inserto.

Unión = Deslizante justa de precisión H6h6

Tipo = Transición

- Para el largo 135 mm:

	AGUJERO (mm)	EJE (mm)
Medida nominal	135 H6	135 h6
Diferencia superior.	0.025	0.000
Diferencia inferior	0.000	-0.025
Tolerancia	0.025	-0.025
Medida máxima	135.025	135
Medida mínima	135	134.975

Apriete máximo = 0

Apriete mínimo = -0.05

Juego máximo = 0.05

Juego mínimo = 0

Por tratarse de agujero único: Agujero = 135 mm; Eje (longitud) = 134.975 mm

- Para el ancho 84 mm (3 19/64"):

	AGUJERO (mm)	EJE (mm)
Medida nominal	84 H6	84 h6
Diferencia superior.	0.022	0.000
Diferencia inferior	0.000	-0.022
Tolerancia	0.022	-0.022
Medida máxima	84.022	84
Medida mínima	84	83.978

Apriete máximo = 0

Apriete mínimo = -0.044

Juego máximo = 0.044

Juego mínimo = 0

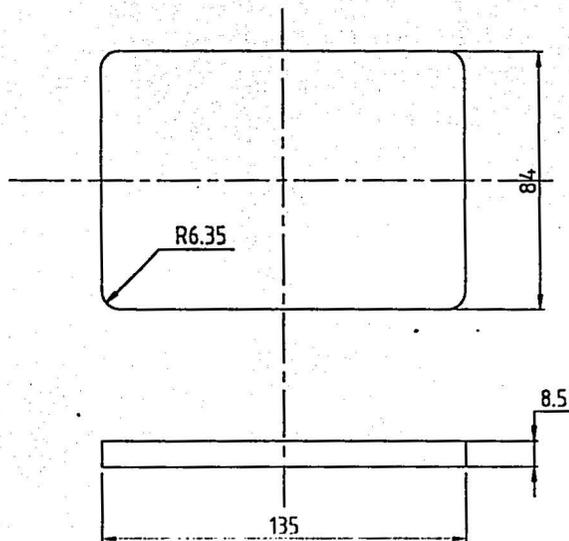
Por tratarse de agujero único: Agujero = 84 mm ; Eje (ancho) = 83.978 mm-

#### 4.15 Planos del molde.

En esta sección se muestran los planos de cada una de las partes que forman el molde, así como de las piezas prototipo:

1. Plano No.1.- Placa para porta insertos.
2. Plano No.2.- Sujeción de porta insertos.
3. Plano No.3.- Sistema de botado.
4. Plano No.4.- Desarmador.

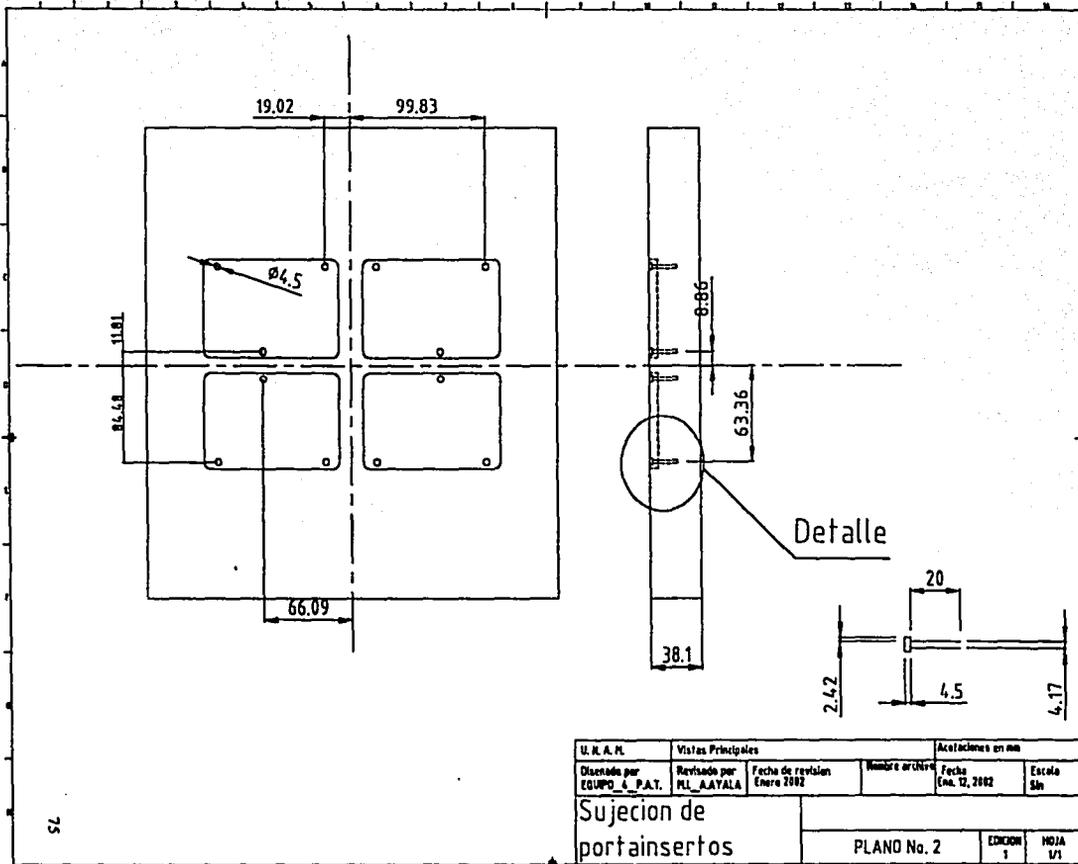
5. Plano No.5.-Escuadra.
6. Plano No.6.- Serrucho.
7. Plano No.7.- Anillo centrador.
8. Plano No.8.- Bujes para los pernos guía.
9. Plano No.9.- Manguito del bebedero.
10. Plano No.10.- Pernos guía.
11. Planos No.11.- 11a) Inserto inferior del desarmador.  
11b) Inserto superior del desarmador.
12. Planos No.12.- 12a) Inserto inferior de la escuadra.  
12b) Inserto superior de la escuadra.
13. Planos No.13.- 13a) Inserto inferior del serrucho.  
13b) Inserto superior del serrucho.
14. Plano No.14.- Botador poppet.
15. Plano No.15.- Sistema de enfriamiento.
16. Plano No.16.- Molde completo. Vistas lateral y superior.
17. Plano No.17.- Despiece del molde
18. Plano No 18.- Conductos de aire para los botadores.



74

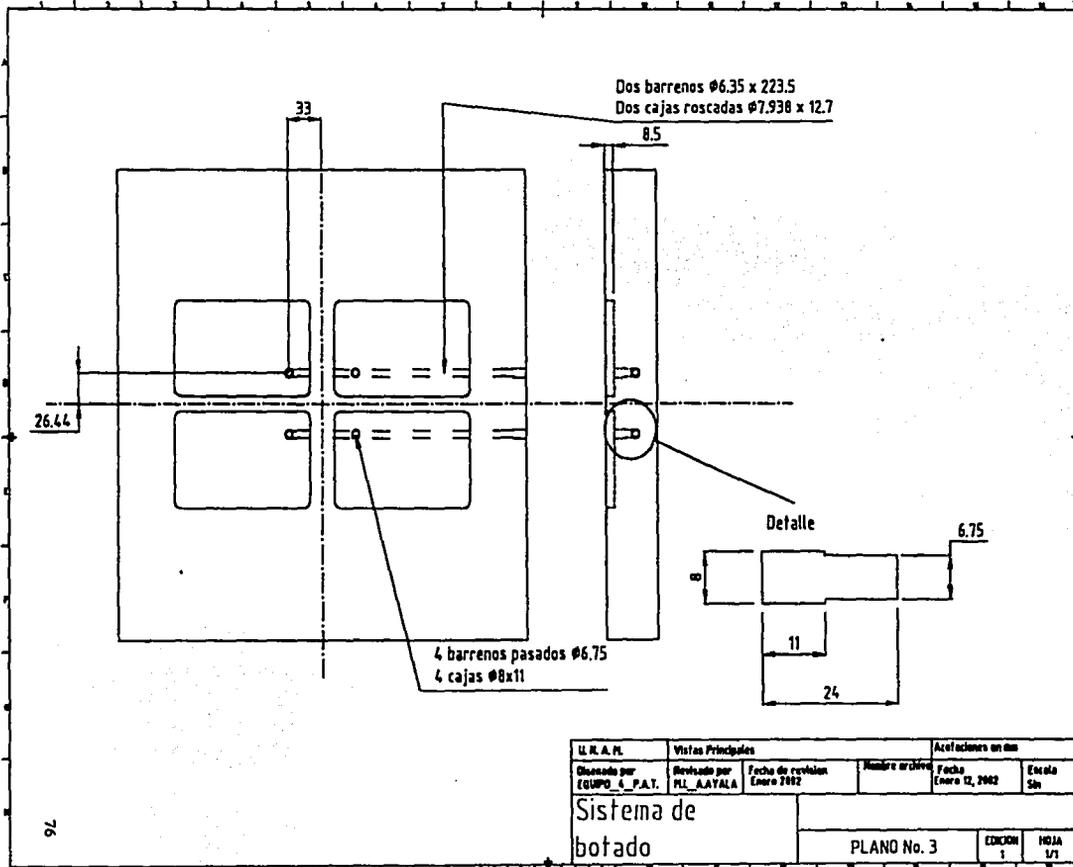
U N A N	Vistas Principales		Acotaciones en mm		
Diseñado por EQUIPO_4_P.A.T.	Revisado por FLI_AAYALA	Fecha de revisión Enero 2007	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2007	Cocote Sin
Placa para porta insertos			PLANO No. 1		
			EDICION 1	HOJA 1/1	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

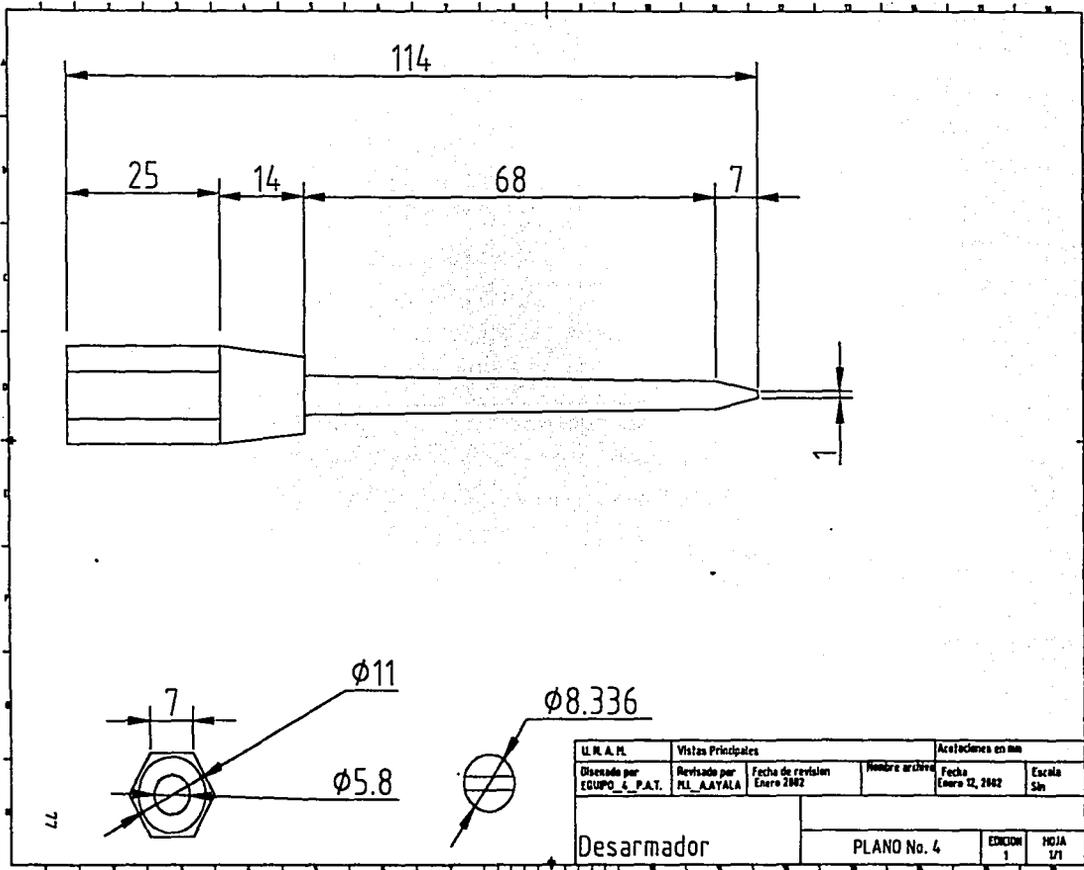


75

U. R. A. P.	Vistas Principales			Acotaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO 4_P.A.T.	Revisado por RL_AAYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre autor	Fecha Ene. 02, 2002	Escala 5/8
Sujecion de portainseros			PLANO No. 2		
			EDICION 1	HOJA 1/1	

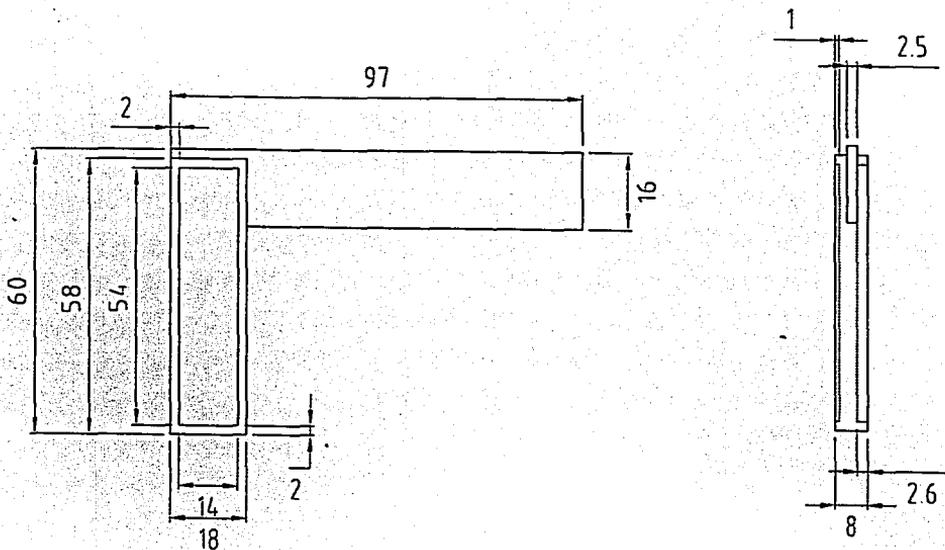


U. N. A. P. L.	Vistas Principales		Aceleraciones en mm	
Diseñado por EQUIPO 4 P.A.T.	Revisado por PL AAYALA	Fecha de revisión Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002
Sistema de botado			PLANO No. 3	HOJA 1/1



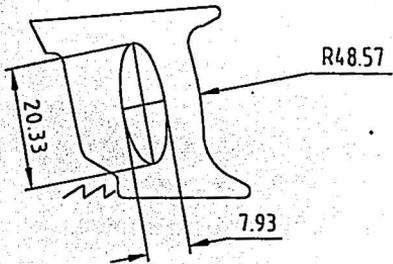
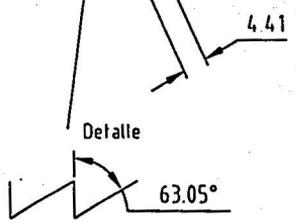
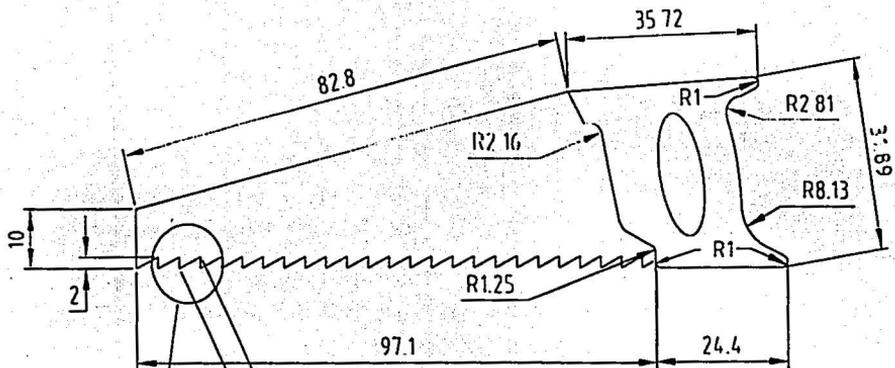
U. R. A. H.	Vistas Principales			Acotaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO 4 PAT.	Revisado por RL AYALA	Fecha de revisión Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala 5h
Desarmador			PLANO No. 4		EDICION 1
					HOJA 1/1

77



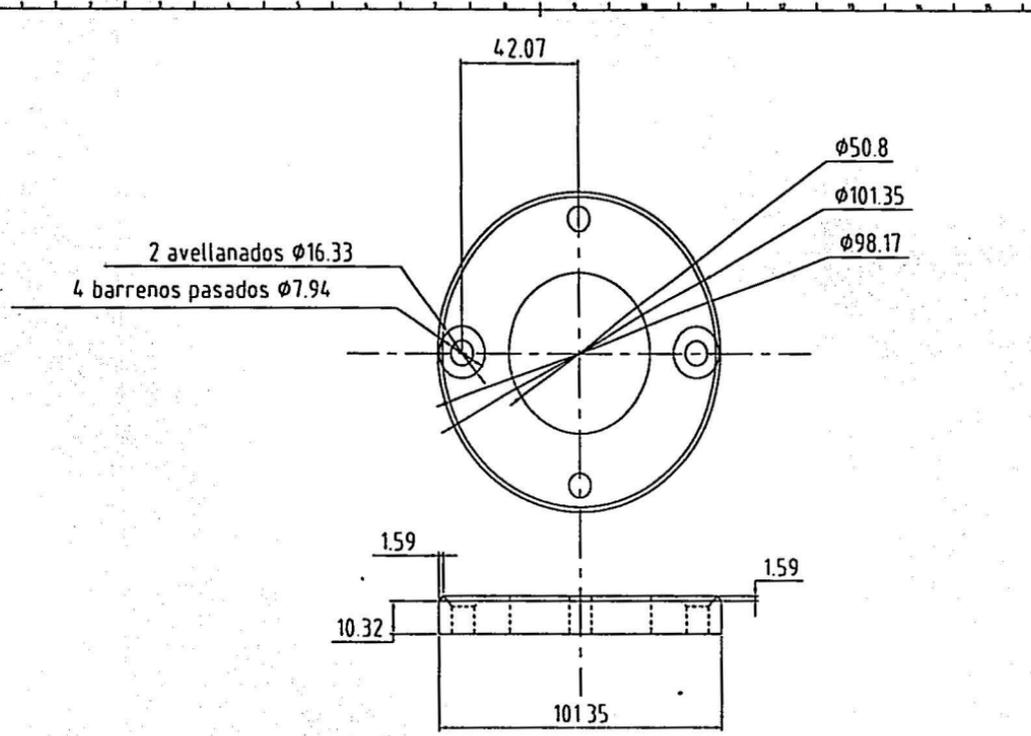
U N A M	Vistas Principales			Acotaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO_4_P.A.T.	Revisado por MI_A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin
Escuadra			PLANO No. 5	EDICION 1	HOJA 1/1

ESTATA TRIPIS NO SALT  
 DELIA TRIMIONOTTECA

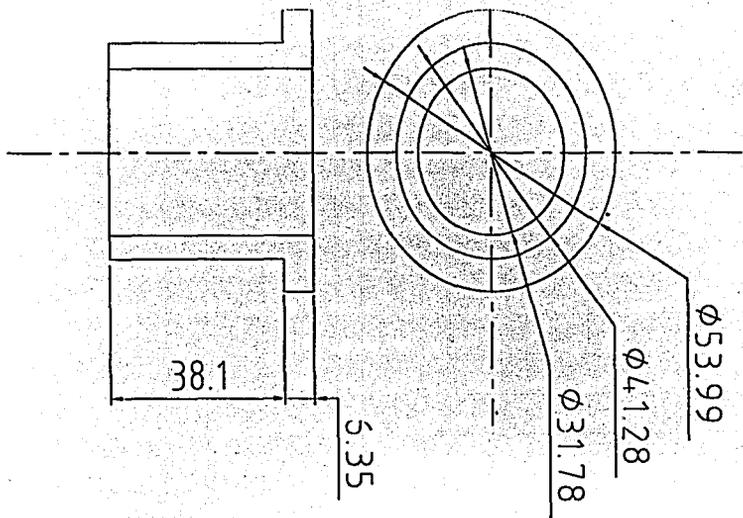


U N A M		Vistas Principales			Acolaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO _PAT	Revisado por MI _A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Estad Sm	
Serrucho			PLANO No 6		EDICION 1	HOJA 1/1

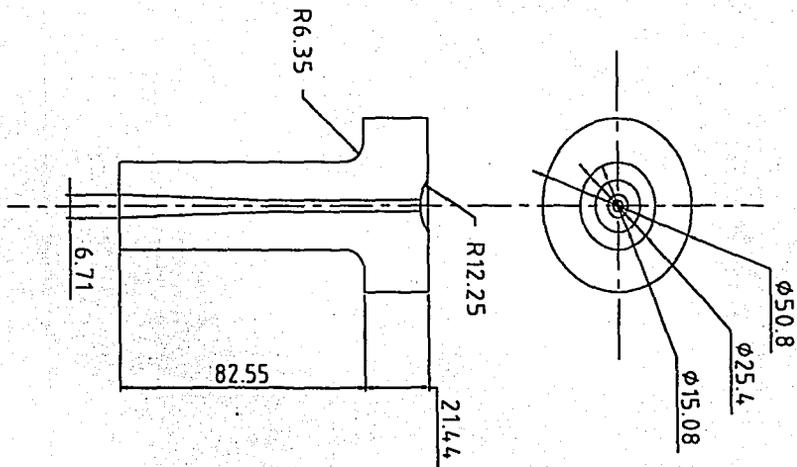
08



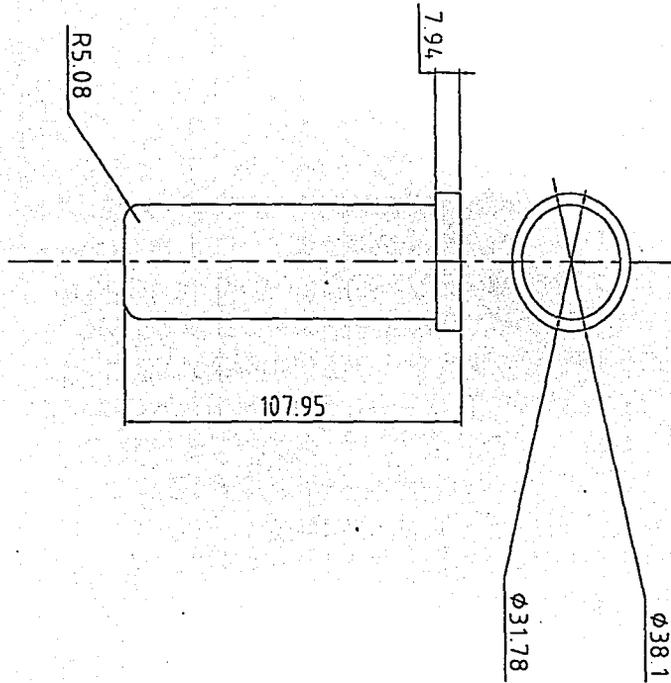
U N A M	Vistas Principales		Aclaraciones en mm	
Diseñado por EQUIPO G. P. A. T.	Revisado por M. A. AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002
Anillo centrador			PLANO No 7	Escala Sin
			EDICION 1	HOJA 1/1



U N A M		Vistas Principales		Acolaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO 4 PAT	Revisado por MI A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin
Bujes para los Pernos guia			PLANO No 8		EDICION 1
					HOJA 1/1

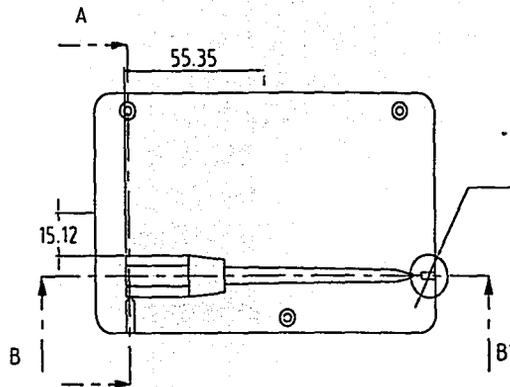


U N A M		Vistas Principales		Acolaciones en mm	
Diseñado por EQUPO S. P. A. T	Revisado por M. I. AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin
Manguito del bebedero			PLANO No 9		EDICION 1
					HOJA 1/1



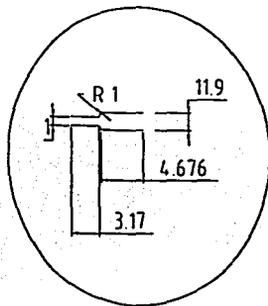
U N A M		Vistas Principales		Acotaciones en mm		
Disenado por EDUPO A P A I	Revisado por M I A Y A L A	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala 5x	
Pernos guia			PLANO No. 10			
			EDICION 1	MODA 1/1		

Corte A-A'



Detalle del Venteo

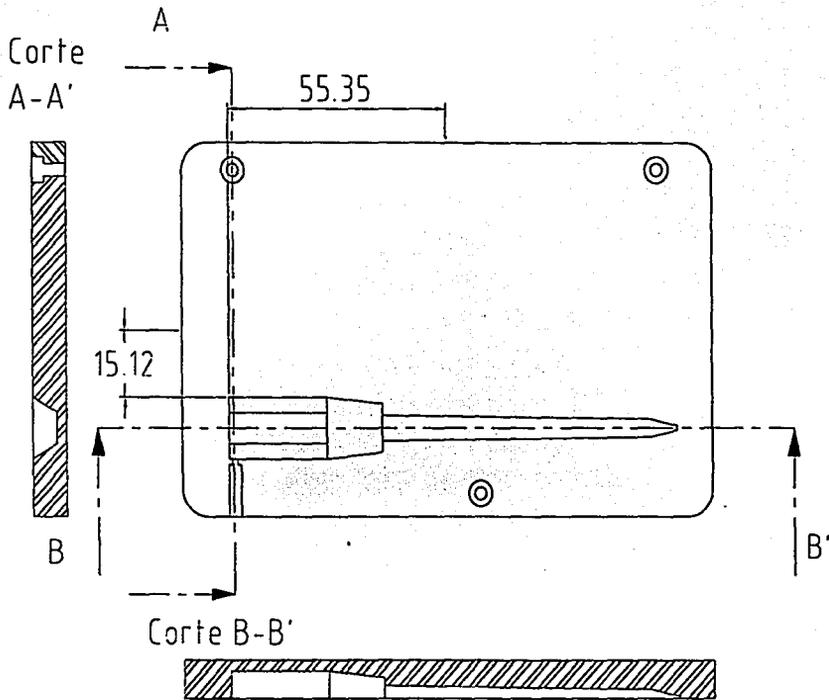
Detalle



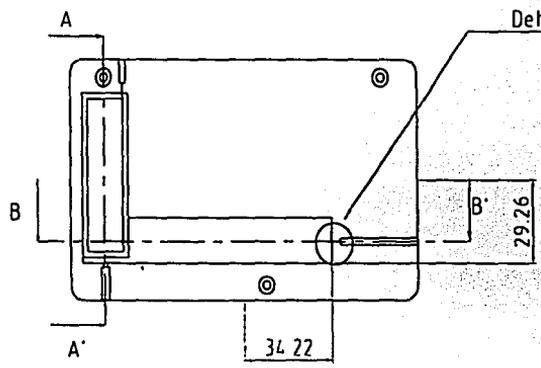
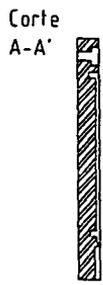
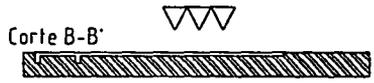
Corte B-B'



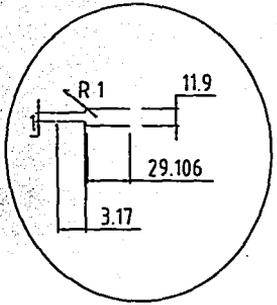
U N A M		Vistas Principales		Acolaciones en mm		
Diseñado por EQUIPO A.P.A.T	Revisado por MI_A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Estado	Sm
Inserto inferior del desarmador			PLANO No 11-a		EDICION 1	HOJA 1/1



U N A M		Vistas Principales		Aclaraciones en mm		
Diseñado por EQUIPO - C. P. A. T.	Revisado por M <sup>te</sup> . A. AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin	
Inserto superior del desarmador				PLANO No 11-b		EDICION 1
						HOJA 1/1



Detalle del Vento  
Detalle



U N A M	Vistas Principales			Acotaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO_C_PAT	Revisado por MI_AAYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin

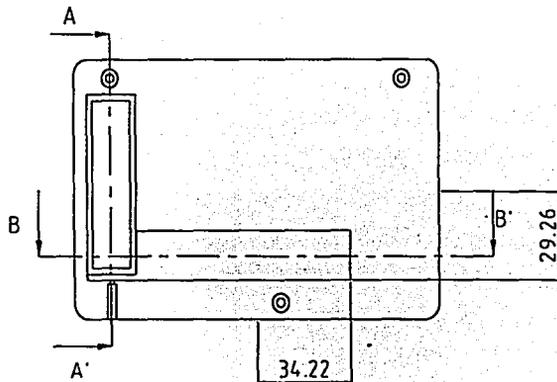
Inserto inferior de  
la escuadra

PLANO No. 12-a	EDICION 1	HOJA 1/1
----------------	--------------	-------------

Corte B-B'

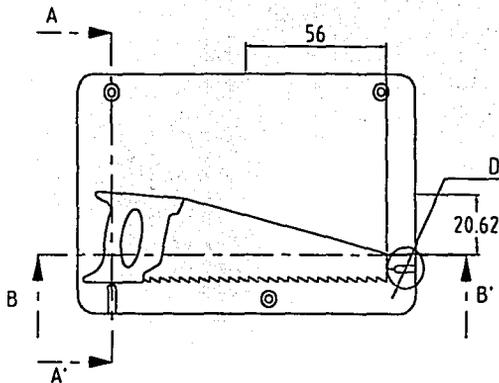


Corte  
A-A'



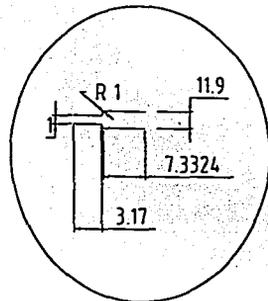
U N A M	Vistas Principales			Acotaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO A PAT	Revisado por MI A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala 5m
Inserto superior de la escuadra			PLAND No. 12-b		
			EDICION 1	HOJA 1/1	

Corte A-A'



Detalle del Ventoso

Detalle

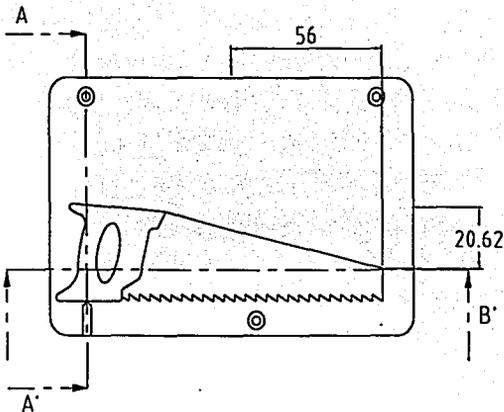


Corte B-B'



U N A M		Vistas Principales		Acotaciones en mm	
Diseñado por EQUIPO C.P.A.T	Revisado por M <sup>o</sup> A AYALA	Fecha de revision Enero 2007	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2007	Escala Sin
Inserto Inferior del serrucho			PLANO No 13-a		
			EDICION 1	HOJA 1/1	

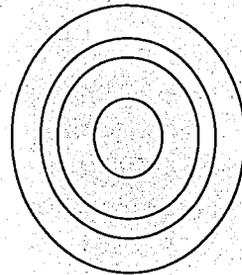
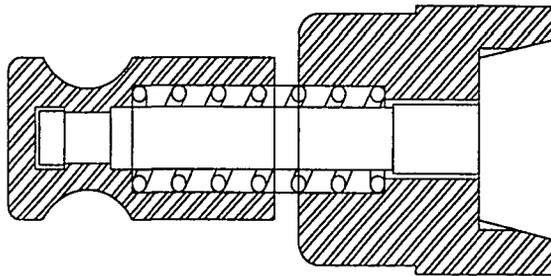
Corte A-A'



Corte B-B'

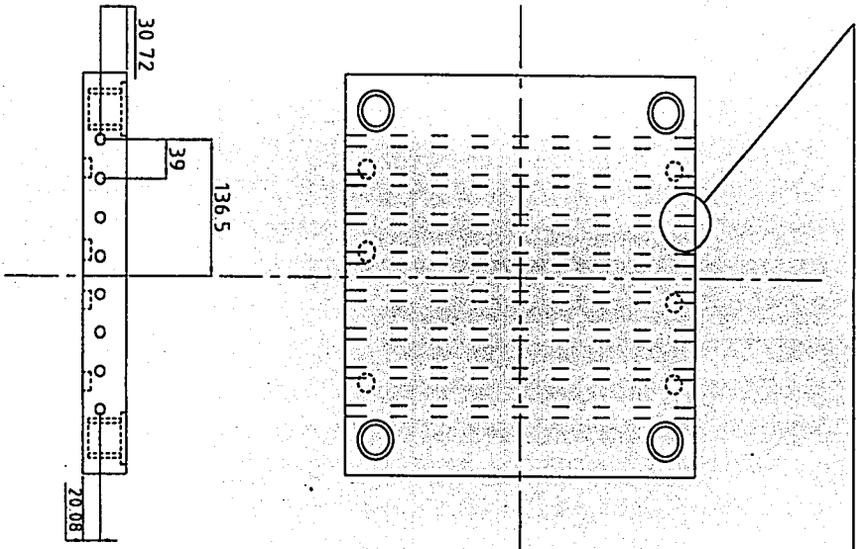


U N A M		Vistas Principales		Acolaciones en mm	
Disenado por EQUIPO c. P.A.T.	Revisado por M1_A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 17, 2002	Escala Sin
Inserto superior del serrucho			PLANO No. 13-b		EDICION 1
					HOJA 1/1



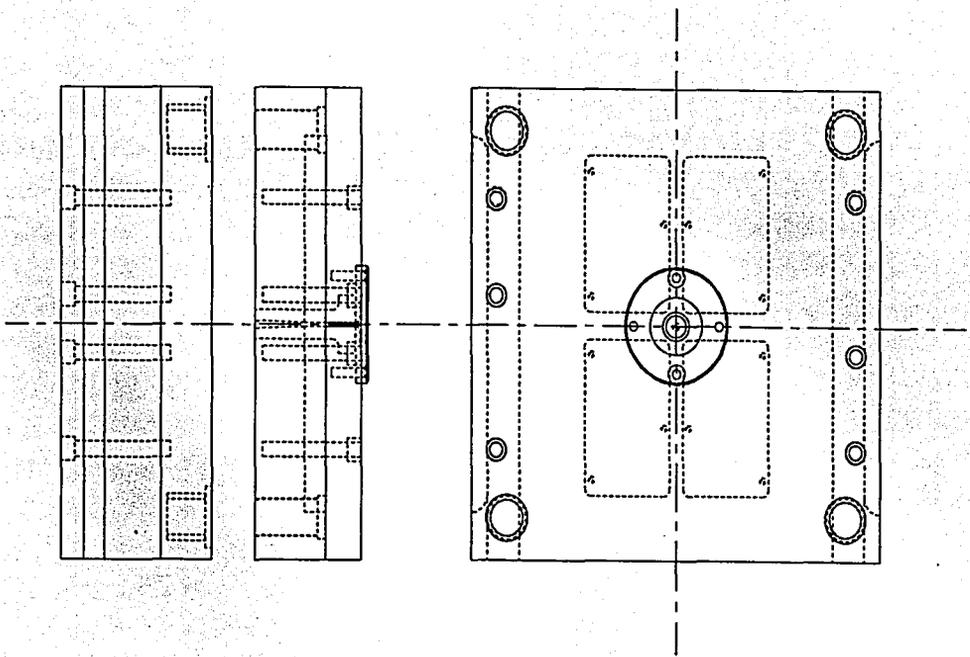
06

U N A M	Vistas Principales		Acotaciones en mm		
Diseñado por EDUARD A. PAT	Revisado por MI. AVALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin
Bofador Poppet			PLANO No. 14		
			EDICION 1	MOJA 1/1	

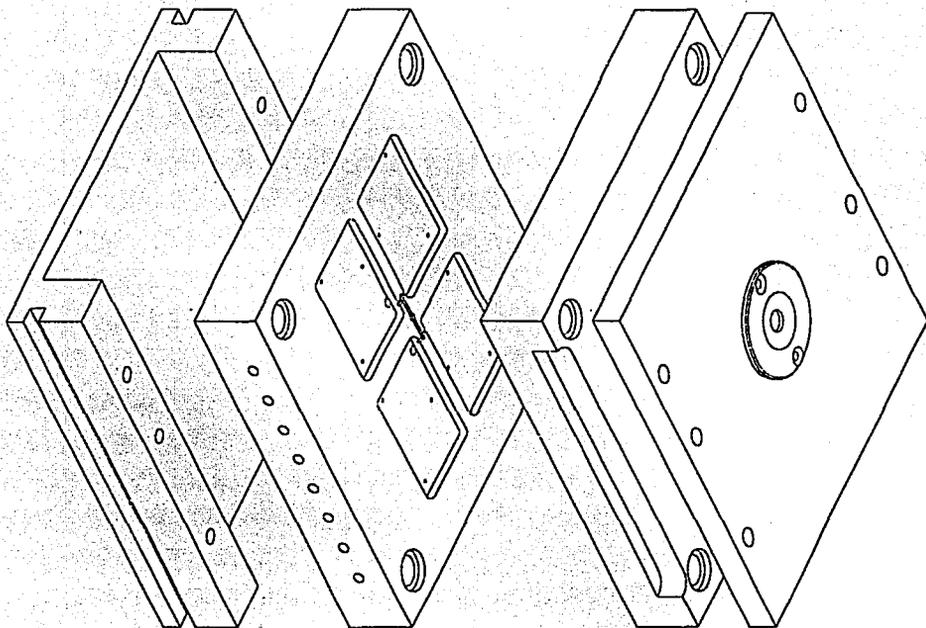


8 barrenos pasados de Ø11,11  
 16 cajas roscadas de Ø12,7x9,525-12NC

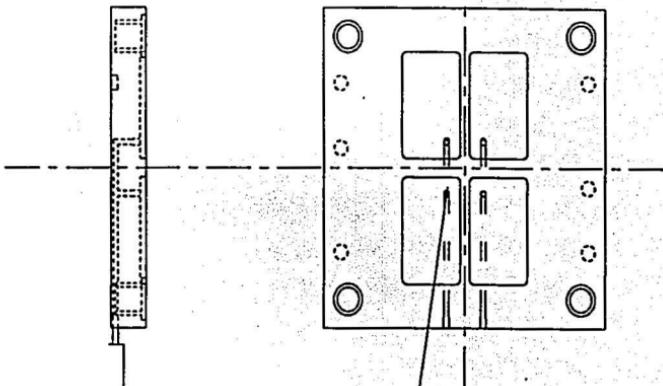
U N A M		Visitas Principales		Acolaciones en mm		
Diseñado por EQUIPO S.P.A.T	Revisado por M.I. AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala 5m	
Sistema de enfriamiento			PLANO No 15		EDICION 1	HOJA 1/1



U R A M	Vistas Principales		Acotaciones en mm	
Diseñado por EDUPO A PAT	Revisado por MI A AYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 17, 2002
Molde completo lateral y superior			PLANO No 16	EDICION 1
				HOJA 1/1



U N A M	Vistas Principales			Aclaraciones en mm	
Diseñado por EQUIPO C. PAT	Revisado por MI. AAYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin
Despiece de el molde			PLANO No 17		EDICION 1
					HOJA 1/1



4 barras pasados  $\phi$  6.75.  
4 cajas  $\phi$  8 x 11

\*Dos barrenos  $\phi$  6.35x24.0, 11.  
\*Dos cajas roscadas  $\phi$  7.938x12.7-12NC =

U N A M		Visitas Principales		Aclaraciones en mm	
Diseñado por EQUIPO_E_PAT	Revisado por MI_AAYALA	Fecha de revision Enero 2002	Nombre archivo	Fecha Enero 12, 2002	Escala Sin
Conductos de aire para los botadores			PLANO No 18		EDICION 1
					HOJA VI

#### 4.15 Costos.

##### 4.15.1 Costo del molde.

Molde	Costo/hora		Horas/día	Total horas	Costo total
	Pesos				
Diseño	115		6	10	6,900
Placa portainsertos					110,000
Insertos					1,080
Poppcas					8,000
Maquinado	Insertos	40	8	20	6,400
	Placa portainsertos	40	8	15	4,800
<b>Total del molde:</b>					<b>137,180</b>

##### 4.15.2 Costo de cada pieza y del set de tres piezas.

Material (Polipropileno) \$7.40 por kg.

Piezas	volumen cm <sup>3</sup>	Peso	Peso	Pesos
		g/cm <sup>3</sup>	kg.	(\$)
		0.91	1000	7.4
Volumen cono del bebedero	1.0090	0.9182	0.0009	0.0068
Volumen de los canales de distribución	0.6740	0.6133	0.0006	0.0045
Volumen de la escuadra	9.9700	9.0727	0.0091	0.0671
Volumen del desarmador	6.8360	6.2208	0.0062	0.0460
Volumen del serrucho	7.5170	6.8405	0.0068	0.0506
Total Unitario				0.1751
Por 3 pzas/set				0.5254

##### 4.15.3 Costos relacionados con el ciclo de inyección.

Tiempo de ciclo	14.53 seg.
Tiempo muerto	-
Horas por turno	16.00 h
Segundos por hora	3,600.00 seg.
Total segundos/turno	57,600.00 seg.
Piezas por ciclo	4.00 pza.
Total ciclos por turno	3,964.21 ciclos
Total piezas por turno	15,856.85 pza.
Total piezas a la semana	79,284.24 Pza. (5 días)
Total piezas al mes	317,136.96 Pza. (4 sem.)
Total sets por mes	105,712.32 (set de 3 pza.)
Costo total del set por mes	\$ 55,538.42

##### 4.15.4 Precio sugerido de venta.

Precio sugerido de venta, por set:	\$	6.00
Utilidad sugerida (precio de venta-costos/set)	\$	5.47
Utilidad total mensual (sets por mes*utilidad unitaria)	\$	578,735.50
Costo del molde + costo total del set por mes	\$	192,718.42 (Costo total mensual)

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

4.15.5 Tiempo para recuperar la inversión (solo molde y materia prima).

	Mes 1
Costo molde	\$ 137,180
Costo set/mes	\$ 55,538
Total	\$ 192,718
Saldo	\$ 441,555
Ingreso total	\$ 634,274

1 mes para recuperar la inversión del molde (un solo turno)  
Sin considerar la inversión de la máquina.

4.15.6 Tiempo para recuperar la inversión (incluyendo máquina, molde y materia prima).

Si consideramos que el precio de la máquina es de \$ 12,000,000.00 pesos.

	Mes 1
Máquina	\$ 12,000,000
Costo set/mes	\$ 55,538
Costo molde	\$ 137,180
Total	\$ 12,192,718
Saldo	\$ (11,558,445)
Ingreso total	\$ 634,274

	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Saldo anterior	\$ 11,558,445	\$ 10,979,709	\$ 10,400,974	\$ 9,822,238	\$ 9,243,403	\$ 8,664,767
Costo set/mes	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538
Total	\$ 11,613,983	\$ 11,035,247	\$ 10,456,512	\$ 9,877,776	\$ 9,299,041	\$ 8,720,305
Saldo final	\$ (10,979,709)	\$ (10,400,974)	\$ (9,822,238)	\$ (9,243,503)	\$ (8,664,767)	\$ (8,086,032)
Ingreso total	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274

	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15
Saldo anterior	\$ 8,086,032	\$ 7,507,296	\$ 6,928,561	\$ 6,349,825	\$ 5,771,090	\$ 5,192,354	\$ 4,613,619	\$ 4,034,883
Costo set/mes	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538
Total	\$ 8,141,570	\$ 7,562,834	\$ 6,984,099	\$ 6,405,363	\$ 5,826,628	\$ 5,247,892	\$ 4,669,157	\$ 4,090,421
Saldo final	\$ (7,507,296)	\$ (6,928,561)	\$ (6,349,825)	\$ (5,771,090)	\$ (5,192,354)	\$ (4,613,619)	\$ (4,034,883)	\$ (3,456,148)
Ingreso total	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274

	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	Mes 21
Saldo anterior	3,456,147.57	\$ 2,877,412	\$ 2,298,677	\$ 1,719,941	\$ 1,141,206	\$ 562,470
Costo set/mes	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538	\$ 55,538
Total	\$ 3,511,686	\$ 2,932,950	\$ 2,354,215	\$ 1,775,480	\$ 1,196,744	\$ 618,009
Saldo final	\$ (2,877,412)	\$ (2,298,677)	\$ (1,719,941)	\$ (1,141,206)	\$ (562,470)	\$ 16,265
Ingreso total	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274	\$ 634,274

21 meses para recuperar la inversión (un solo turno)  
Considerando la inversión de la máquina y el molde.

## Capítulo 5. Conclusiones.

De acuerdo a los datos obtenidos en la propuesta de diseño del molde, podemos concluir los siguientes puntos:

- 1) Menor tiempo de intercambio de moldes pues, aunque son cuatro insertos, estamos proponiendo el diseño de tal manera que los canales de enfriamiento sean los mismos, así como el sistema de botado, mismos que permanecen fijos en cada cambio de pieza.
- 2) Velocidad de llenado homogénea. Al variar las dimensiones del canal de estrangulamiento en cada caso, trabajamos con velocidades de flujo diferentes, de tal manera que no se requiere hacer ningún ajuste de velocidad ni de temperatura al cambiar las piezas fabricadas.
- 3) Accesorios. Como mencionamos, el sistema de botado y el de enfriamiento son los mismos para las tres piezas que proponemos fabricar, por lo tanto la inversión en esos accesorios y sistemas es única y las refacciones que se requieran en alguna ocasión, serán menos y comunes, permitiendo además un ahorro en inversión.
- 4) Maquinado. Por ser insertos pequeños (a comparación de un molde normal), y por las dimensiones de los botadores accionados por aire comprimido, se facilita su maquinado, son más manejables, aún para pequeños talleres de fabricación lo cual, además, podría representar un ahorro en inversión pues la mano de obra puede ser más barata (debemos buscar un taller con mano de obra calificada para asegurar la calidad).
- 5) Manejo y almacenaje. Aunque para los fines de este trabajo no son aspectos representativos, observamos que es una ventaja pues no requerimos polipastos ni otros dispositivos que ayuden a mover el molde desde y hacia la máquina y los espacios requeridos para almacenaje son también, reducidos.

Al desarrollar el trabajo encontramos algunos retos que se resolvieron favorablemente, entre los principales podemos citar la geometría de las piezas. Adquirimos en el mercado piezas similares a las que escogimos para diseñar, pero su geometría era compleja y no nos permitía tomar medidas precisas así que en algunos casos se acudió a uso de figuras geométricas equivalentes o al uso de paquetes de dibujo como AutoCAD V.14 para obtener las áreas y volúmenes correspondientes.

Otro reto importante, fue como lograr que las diferentes geometrías se llenen en un período de tiempo igual, de tal manera que, al cambiar los insertos, no se tengan que cambiar los parámetros de operación de la máquina. Esto se resolvió al variar la geometría de los canales de estrangulamiento. Cambiando su sección transversal y su longitud, obtenemos

diferentes velocidades de flujo del plástico, asegurando de esta manera el completo llenado de las cavidades.

La mejora en el sistema de botado es que utilizamos, las válvulas de liberación, conocidas como Poppets, son una excelente alternativa para el botado de piezas sin marcas. En la experiencia en campo, se ha visto que no importa la geometría de la pieza, los Poppets son capaces de liberarla de manera sencilla. Quizá el maquinado requerido para asentar las válvulas parezca complejo, pero en realidad no lo es y el uso del aire comprimido para su funcionamiento las hace seguras y confiables.

En el ámbito personal, este trabajo nos ha permitido conocer los pasos que se deben seguir al diseñar un molde para inyección de plásticos pues resultó como una guía que conduce paso a paso por todos los aspectos que se deben considerar. Por otro lado, al no estar tan familiarizados, nos hizo más sensibles para saber como se fabrican diversos objetos con los que a diario convivimos de manera "inconsciente" del trabajo que implicó su diseño y fabricación. El trabajo en equipo es, también, una aportación importante. Aunque los miembros del equipo estudiamos la carrera de Ingeniería, nuestros campos de trabajo son distintos pero este trabajo nos permitió unificar criterios, concordar y llegar a conclusiones comunes.

## **Bibliografía.**

- [1]. "Inyección de Plásticos"  
Mink Spe, Walter  
Ed. G. Gili, S.A. MÉXICO, D.F. 1981
- [2]. "Procesamiento de Plásticos"  
D.H. Morton-Jones  
Ed. LIMUSA. MÉXICO, D.F. 1993
- [3]. "Moldeo por Inyección"  
Anguita delgado, Ramón  
Primera parte (teoría y equipos)  
Editorial Blume. ESPAÑA 1975.
- [4]. "Injection Molds. Gastrow, 108 Proven Designs"  
Lindner, E. and Unger, P.  
Segunda edición.  
Hanser publishers. Munich, Viena, New York, Barcelona 1993.
- [5]. "Injection Molding Handbook"  
DOMINICK V. Rosato. P.E.  
Segunda edición.  
Van Nostrand Reinhold. New York 1991.
- [6]. "Enciclopedia del Plástico"  
Instituto Mexicano del Plástico Industrial.  
México 2000.
- [7]. "Hand book of Plastics, Elastomers and Composites"  
Charles A. harper.  
Segunda edición.  
McGraw Hill, )Inc. USA 1992.
- [8]. "Moldes para Inyección de Plásticos"  
Menges-Mohoren.  
Ed. G. Gili, S.A. MÉXICO, D.F.
- [9]. "Injection Mould design"  
An introduction and design manual for thermoplastics industry.  
Pye, R.G.W.  
Cuarta edición.  
Longman Scientific & Technical. England 1991.

**Manuales:**

[10]. "Diplomado en plásticos"; Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI, Centro Empresarial del Plástico CEP.

[11]. "Diplomado en Diseño de Moldes para la Inyección de Plásticos"; ESIME Azcapotzalco.

[12] "ASM Metal Handbook"; 9a ed., vol. 1, p.124

**Sitios web:**

[13]. DME. Catálogo de productos normalizados para el molde de inyección.

<http://www.dmeco.com>

<http://www.privarsa.com.mx>

[14]. Maquinas de inyección.

<http://www.vandorn.com>

<http://www.negribossi.it>

<http://www.husky.ca>

<http://www.milacron.com>

## **Anexos.**

## **Anexo A**

**[14] Datos de la máquina.**

**VANDORN**

# cadence IIII

MODEL 90

## Injection Unit

International Size	Measure	200			310			430		
		Std.	HIPr	XHIPr	Std.	HIPr	XHIPr	Std.	HIPr	XHIPr
Injection Capacity (GPPS)	oz. H	4.8 123	3.5 100	2.0 57	7.3 207	5.6 158	3.5 100	9.7 275	7.7 217	5.6 158
Injection Capacity	cu. in. c.c.m	8.8 144	6.5 106	3.7 61	13.4 220	10.3 169	6.5 106	17.0 284	14.1 231	10.3 168
Recovery Rate (GPPS)	oz./sec. H/sec	1.2 34	0.7 21	0.5 15	1.7 48	1.2 35	0.7 21	1.8 52	1.4 39	1.0 28
Injection Pressure	psi bar	20,314 1,400	27,560 1,900	39,757 2,740	22,491 1,550	29,310 2,020	39,903 2,750	23,216 1,600	29,310 2,020	38,306 2,610
Injection Rate (@ 10,000 psi) (@ 700 bar)	oz./sec. H/sec	10.2 290	7.5 213	5.2 148	9.2 262	7.1 201	5.2 147	9.0 254	7.1 201	5.4 153
Injection Stroke	in. mm	5.0 150	5.9 150	4.9 125	6.9 175	6.9 175	5.9 150	7.2 183	7.2 181	6.9 175
Screw Diameter	in. mm	1.4 35	1.2 30	1.0 25	1.6 40	1.4 35	1.2 30	1.8 45	1.6 40	1.4 35
Screw L/D Ratio		20/1 20/1								
Barrel Heating Capacity	kW kW	9.4 9.4	8.3 8.3	5.7 5.7	11.1 11.1	9.4 9.4	8.3 8.3	11.3 11.3	11.1 11.1	9.4 9.4

## General Machine Specifications

	Measure	200	310	430
Pump Motor	hp kW	29.3 22	29.3 22	29.3 22
Oil Capacity	gal. l	58 220	58 220	58 220
Machine Weight (approx.)	lb. kg	8,667 3,900	8,778 3,950	8,889 4,000
<b>Machine Dimensions</b>				
Length	ft. m	13.4 4.1	13.4 4.1	13.4 4.1
Width	ft. m	4.6 1.4	4.6 1.4	4.6 1.4
Height	ft. m	5.0 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8

Performance specifications are based on theoretical data and mold, material and conditions. Since continuous improvement is Van Dorn Demag's policy, we reserve the right to change specifications, designs and performance data without prior notice or obligation.

The specifications listed are standard. However, Van Dorn Demag will provide engineered options and solutions to meet virtually any performance requirements including high-pressure and high-speed configurations.

## Clamp Unit

Clamp Force	U.S. tons kN	90 800
Clamp Stroke - Max.	in. mm	17.7 450
Open Daylight - Max.	in. mm	27.6 700
Mold Thickness - Min.	in. mm	9.8 250
<b>Distance Between Tie Bars</b>		
Horizontal	in. mm	16.5 420
Vertical	in. mm	16.5 420
<b>Platen Size</b>		
Horizontal	in. mm	23.6 600
Vertical	in. mm	23.6 600
<b>Ejector</b>		
Ejector Force	U.S. tons kN	4.6 41
Ejector Stroke	in. mm	5.9 150

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Anexo B**

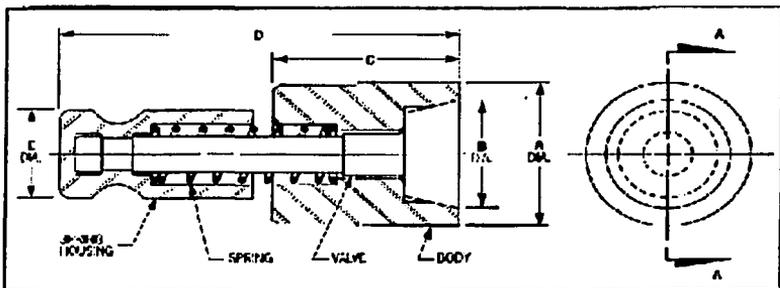
**[15]. DME Poppets**

## D-M-E Standard Air Poppet Valves



- Prevent mold damage due to ejection problems with deep draw or thin-walled parts.
- More durable and precision made than competitive units.

These precision engineered valves are designed to remedy the vacuum problem often encountered during the molding of deep draw (e.g. buckets or thin walled parts). Air flow through the valve with the ejection cycle opens the valve to break the vacuum, and seal take part ejection. A precise ground valve seat helps prevent flash from entering the assembly during ejection. Each valve is machined to the body to further assure reliable performance.



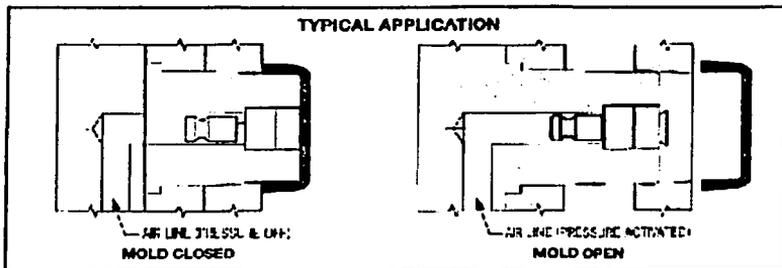
**BODY:** 420 Stainless Steel 30-303 Hc

**VALVE:** 420 Stainless Steel, heat treated and trunnion finish treated

All dimensions shown are in mm

CATALOG NUMBER	A DIA.	B DIA. APPROX.	C BODY LENGTH	D SPRING LENGTH	E DIA.
VA-01	8	8.6	15	21	6
VA-02	12	12.7	20	24	8
VA-03	16	14.8	22	26.5	12

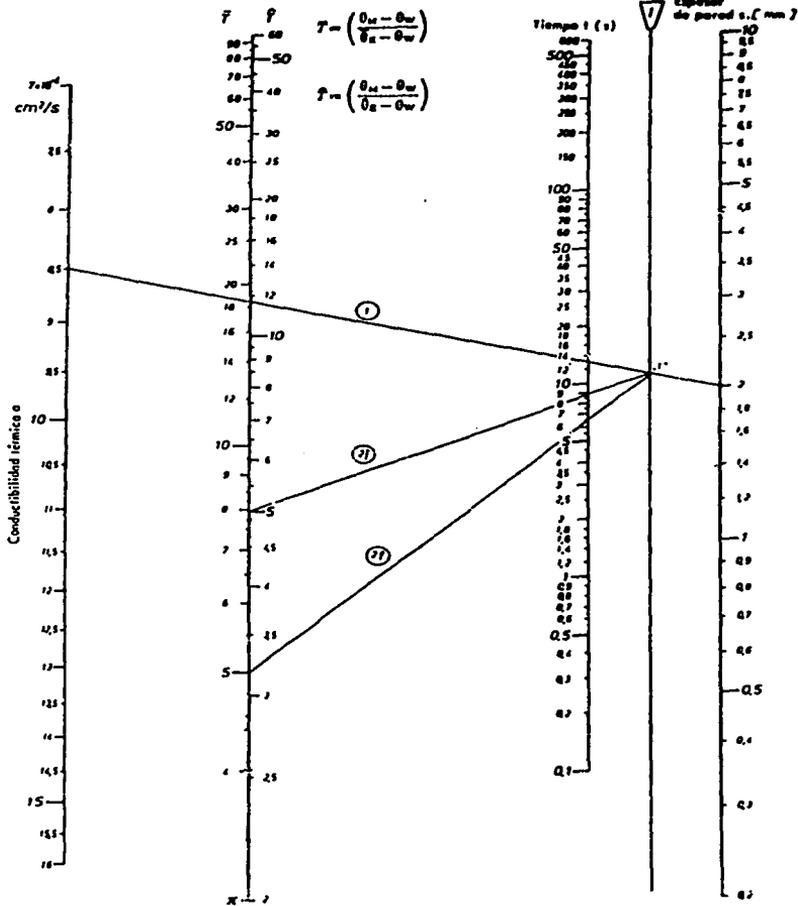
### TYPICAL APPLICATION





## **Anexo C**

**[16] Nomograma.**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**