



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**"DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN  
DE MOLDE PARA TAPAS DE CILINDROS DE GAS DE USO  
DOMÉSTICO POR INYECCIÓN PLÁSTICA"**

**DANIEL ALEJANDRO ANDINO NUÑEZ  
MAYRA ALEJANDRA PAUCAR SAMANIEGO**

**TESIS DE GRADO.  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Riobamba - Ecuador  
2009**

# Espoch

Facultad de Mecánica

## CERTIFICADO DE EXAMINACION DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DANIEL ALEJANDRO ANDINO NÚÑEZ

TITULO DE LA TESIS:

"DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDE  
PARA TAPAS DE CILINDROS DE GAS DE USO DOMÉSTICO POR INYECCIÓN  
PLÁSTICA"

Fecha de Exanimación: Noviembre, 16 del 2009.

RESULTADO DE LA EXAMINACION:

COMITÉ DE EXAMINACION	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO			
ING. ÁNGEL TIERRA T.			
ING. PABLO FIERRO F.			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES; \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

# TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO	PAGINA
<b>1. GENERALIDADES Y FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	
Antecedentes	
1.2 Justificación técnica económica.	
1.3 Objetivos	
1.3.2 Específicos	
<b>2. POLÍMEROS Y PROCESOS DE INYECCIÓN</b>	
2.1 Polímeros	
2.2 Características generales de los polímeros	
2.3 Clasificación de los polímeros	
2.3.1 Según su origen	
2.3.2 Según su mecanismo de polimerización	
2.3.4 Según sus aplicaciones	
2.3.5 Según su comportamiento al elevar su temperatura	
2.4 Procesos de inyección	
2.4.1 Máquinas de inyección	
2.4.1.1 La unidad de cierre	
2.4.1.2 La unidad de inyección	
2.4.1.3 Unidad de potencia	
2.4.1.4 Unidad de control	
2.4.2 Moldes de inyección	
2.4.2.1 Parámetros de inyección	
2.4.2.2 Clasificación de los moldes	
2.4.3 Tipos de moldes	
21 2.4.3.1 Moldes de colada fría	
2.4.3.1 Sistemas de colada fría	
2.4.3.2 Moldes de colada caliente	
<b>3. MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES Y PROCESO DE MANUFACTURA</b>	
3.1 Denominación del material	
3.2 Criterios de selección	
3.3 Tratamientos térmicos	
3.4 Proceso de manufactura	
3.4.1 La electroerosión	
3.4.2 Maquinado convencional	
3.4.3 Maquinado de alta de velocidad (MAV)	
40 2.4.4 Pulidos y acabados	
<b>4. LOS SISTEMAS CAD/CAM/CAE EN EL DISEÑO DE MOLDES</b>	
4.1 Sistemas CAD Y CAM para moldes de inyección [7]	
4.1.1 Los sistemas CAD Y CAM para la construcción de moldes	
4.2 Los sistemas de CAE aplicados al diseño de matrices	
4.3 Sistemas CAE en SolidWorks	
<b>5. DISEÑO Y CÁLCULO DEL MOLDE DE TAPAS DE GAS DE USO DOMÉSTICO</b>	
5.1 Análisis de resistencia mecánica	
5.2 Espesor de pared	
5.3 Líneas de partición	

- 5.4 Agujeros
- 5.5 Ángulos de desmoldeo
- 5.6 Tolerancia
- 5.7 Diseño para la manufactura
  - 5.7.1 Cálculo del número de cavidades
  - 5.7.2 Contracción
  - 5.7.3 Canales de distribución
  - 5.7.4 Punto de inyección
  - 5.7.6 Sistema de refrigeración
  - 5.7.7 Guías y componentes
  - 5.7.8 Sistema de expulsión

## **6. MODELACIÓN, SIMULACIÓN CONSTRUCCIÓN, Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MATRIZ**

- 6.1 Estrategias de mecanizado.
  - 6.1.1 Modelación mediante software del molde
  - 6.1.2 Planos
  - 6.1.3 CAM utilizado
  - 6.1.4 Procesos de simulación y generación de programas
    - 6.1.4.1 Programa generado mediante VisualMill
    - 6.1.4.2 Programa generado mediante BobCAD-CAM
  - 6.1.5 Procesos de construcción
    - 6.1.5.1 Construcción placas porta moldes
    - 6.1.5.2 Construcción placa porta cavidades (hembras)
    - 6.1.5.4 Construcción de machos
    - 6.1.5.8 Construcción de guías y bujes
    - 6.1.5.9 Construcción del bebedero
- 6.2 Montaje del molde
  - 6.2.1 Montaje en sitio. Normas de seguridad
- 6.4 Pruebas en producción

## **7. ANÁLISIS DE COSTOS Y MANTENIMIENTO**

- 7.1 Costos
  - 7.1.1 Costo directo
  - 7.1.2 Costos indirectos
- 7.2 Costo total y depreciación
- 7.3 Mantenimiento

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- 8.1 Conclusiones
- 8.2 Recomendaciones

## **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA BIBLIOGRAFÍA**

### **PLANOS**

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES Y FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

En la economía mundial, los materiales de plástico desempeñan un papel importante que cada día se acrecienta más. Una de las principales razones es que los plásticos poseen propiedades únicas, ya sea en forma aislada o combinadas entre sí. Algunas de estas propiedades son su elasticidad, maleabilidad, resistencia química y mecánica, impermeabilidad, resistencia al enmohecimiento, facilidad para el trefilado, entre otros, propiedades que no se encuentran en ningún material que ofrece la naturaleza.

Para la obtención de productos a base de plásticos se emplea máquinas de inyección, en las cuales son utilizados moldes y matrices para la obtención de las diferentes formas y geometrías de los productos finales. En nuestro país la fabricación de moldes ha ido ganando protagonismo a nivel industrial, por lo cual se desea investigar sobre esta rama de la ingeniería.

### 1.2 Justificación técnica económica.

Los moldes y matrices se caracterizan por las superficies complejas, la habilidad para formar superficies dinámicas, es la piedra angular de la manufactura moderna. Virtualmente, cada producto comercial contiene, al menos, un componente crítico obtenido en un molde o una matriz. Dado que el diseño en ingeniería se ha vuelto más sofisticado y atrevido, las matrices y moldes de hoy resultan más complejas y de gran precisión, mencionando que son utilizadas para grandes producciones por lo que se requiere que la vida útil de los moldes sean lo más prolongada posible.

La progresiva demanda de moldes y matrices en la actualidad implica más unidades por hora que realice más trabajo con menos mantenimiento, más eficiencia, resistencia al desgaste, más eficacia y un alto grado de flexibilidad.

Adhiriéndonos a la demanda de moldes y a la poca explotación dada en esta parte de la industria a nivel local, sea por el costo de inversión y su manufactura, hemos visto en la construcción de moldes y matrices un campo de la ingeniería no explotado en nuestra localidad. Consideramos dejar un precedente para la elaboración de moldes y matrices, aplicando conceptos y conocimientos adquiridos en nuestra formación superior, prácticas pres profesionales y Software aplicado.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Diseñar, modelar, simular, construir y probar una matriz de tapas de gas doméstico, con tecnología CAD / CAM.

#### **1.3.2 Específicos**

1. Realizar el estudio de los diferentes tipos de polímeros.
2. Analizar y seleccionar los diferentes materiales para la fabricación de moldes.
3. Diseñar, calcular, modelar y simular el funcionamiento de la matriz mediante metodología tradicional y el Software respectivo.
4. Construir y realizar pruebas que garanticen la funcionalidad del molde.
5. Realizar el análisis de costos.

## CAPÍTULO II

### 2. POLÍMEROS Y PROCESOS DE INYECCIÓN

#### 2.1 Polímeros [1] [2]

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. Otras se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales, sin embargo la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases, también llamadas fuerzas de dispersión o Fuerzas de Van der Waals, presentes en las moléculas de muy baja polaridad, generalmente son hidrocarburos. Estas fuerzas provienen de dipolos transitorios: como resultado de los movimientos de electrones, en cierto instante una porción de la molécula se vuelve ligeramente negativa, mientras que en otra región aparece una carga positiva equivalente. Así se forman dipolos no-permanentes. Estos dipolos producen atracciones electroestáticas muy débiles en las moléculas de tamaño normal, pero en los polímeros formados por miles de estas pequeñas moléculas, las fuerzas de atracción se multiplican y llegan a ser enormes, como en el caso del polietileno.

#### 2.2 Características generales de los polímeros

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas<sup>1</sup> mientras que las entrecruzadas son termoendurecibles<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> *Termoendurecible*.- Se endurece con el calor.

<sup>2</sup> *Termoplástico*.- Se ablanda con el calor.

## 2.3 Clasificación de los polímeros [3] [4]

Existen varias formas posibles de clasificar los polímeros, sin que sean excluyentes entre sí.

### 2.3.1 Según su origen

**Polímeros Naturales:** existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas. Por ejemplo, las proteínas, los ácidos nucleicos, los polisacáridos (como la celulosa y la quitina), el hule o caucho natural, la lignina, etc.

**Polímeros Semisintéticos:** se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.

**Polímeros Sintéticos:** muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros. Por ejemplo, el nylon, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno, etc.

### 2.3.2 Según su mecanismo de polimerización

**Polímeros de condensación:** la reacción de polimerización<sup>3</sup> implica a cada paso la formación de una molécula de baja masa molecular, por ejemplo agua.

**Polímeros de adición:** la polimerización no implica la liberación de ningún compuesto de baja masa molecular. Esta polimerización se genera cuando un catalizador<sup>4</sup>, inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina.

**Polímeros formados por etapas:** la cadena de polímero va creciendo gradualmente mientras haya monómeros disponibles, añadiendo un monómero cada vez. Esta categoría incluye todos los polímeros de condensación de Carothers y además algunos otros que no liberan moléculas pequeñas pero sí se forman gradualmente, como por ejemplo los poliuretanos.

**Polímeros formados por reacción en cadena:** cada cadena individual de polímero se forma a gran velocidad y luego queda inactiva, a pesar de estar rodeada de monómero.

---

<sup>3</sup> **Polimerización.-** Adición o condensación repetida de muchos monómeros para formar macromoléculas.

<sup>4</sup> **Catalizador.-** Agente o sustancia capaz de acelerar o retardar una reacción.

**Polímeros Orgánicos:** posee en la cadena principal átomos de carbono.

**Polímeros Vinílicos:** la cadena principal de sus moléculas está formada exclusivamente por átomos de carbono.

#### 2.3.4 Según sus aplicaciones

Atendiendo a sus propiedades y usos finales, los polímeros pueden clasificarse en:

**Elastómeros:** son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia<sup>5</sup>.

**Plásticos:** son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.

**Fibras:** presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.

**Recubrimientos:** son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la abrasión.

**Adhesivos:** son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial.

#### 2.3.5 Según su comportamiento al elevar su temperatura

Para clasificar polímeros, una de las formas empíricas más sencillas consiste en calentarlos por encima de cierta temperatura. Según si el material funde y fluye o por el contrario si no lo hace se diferencian dos tipos de polímeros:

**Termoplásticos:** que fluyen (pasan al estado líquido) al calentarlos y se vuelven a endurecer (vuelven al estado sólido) al enfriarlos.

**Termoestables:** que no fluyen, y lo único que conseguimos al calentarlos es que se descompongan químicamente, en vez de fluir

---

<sup>5</sup> **Resiliencia.**- Resistencia que opone un cuerpo a la ruptura por choque o percusión.

Este comportamiento se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos, que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas. Su estructura molecular presenta pocos (o ningún) entrecruzamientos. Ejemplos: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo PVC.

La clasificación termoplásticos/termoestables es independiente de la clasificación elastómeros/plásticos/fibras. Existen plásticos que presentan un comportamiento termoplástico y otros que se comportan como termoestables. Esto constituye de hecho la principal subdivisión del grupo de los plásticos y hace que a menudo cuando se habla de los termoestables en realidad se haga referencia sólo a los plásticos termoestables. Pero ello no debe hacer olvidar que los elastómeros también se dividen en termoestables (la gran mayoría) y termoplásticos (una minoría pero con aplicaciones muy interesantes).

## **2.4 Procesos de inyección [5] [6]**

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad<sup>6</sup> la pieza moldeada.

### **2.4.1 Máquinas de inyección [6] [7]**

Una máquina inyectora es un equipo capaz de plastificar el material polimérico y bombearlo hacia un molde en donde llena una cavidad la misma que tiene forma del producto deseado.

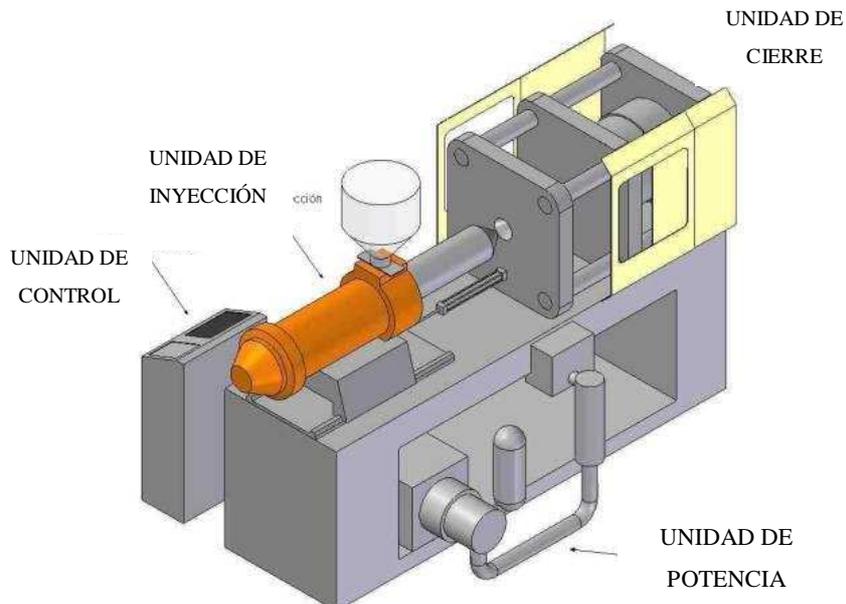
La primera máquina de moldeo fue patentada en 1872 para la inyección de nitrato de celulosa, pero debida a su flamabilidad y peligrosidad, el proceso no floreció.

Una inyectora se compone de cuatro unidades principales:

1. La unidad de cierre
2. La unidad de inyección
3. La unidad de potencia
4. La unidad de control

---

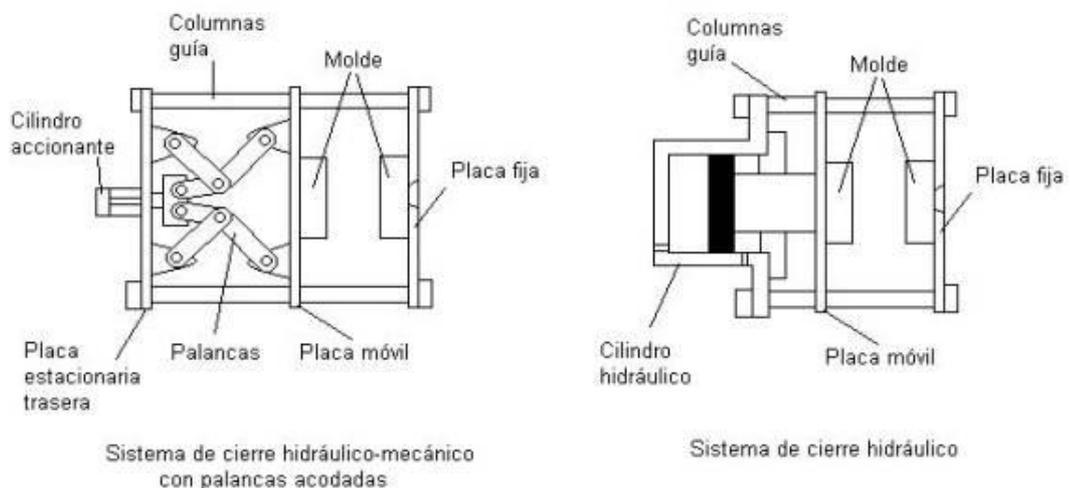
<sup>6</sup> *Cavidad*.- Es el volumen en el cual la pieza será moldeada.



**Figura 2.1** Máquina de Inyección

### 2.4.1.1 La unidad de cierre

Consiste de una prensa conformada por dos placas portamoldes, una móvil y otra fija. El sistema de accionamiento de la placa móvil puede ser un mecanismo de palancas acodadas, accionado hidráulicamente, un cilindro hidráulico o un sistema eléctrico de tornillo sin fin accionado por un motor. El parámetro fundamental para dimensionar una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado. Usualmente se da este valor en toneladas. Otros parámetros importantes en una unidad de cierre son: la distancia mínima entre placas, la distancia máxima de apertura, las dimensiones de las placas y la distancia entre columnas, la carrera del sistema de expulsión. Estos datos se utilizan para dimensionar los moldes.



**Figura 2.2** Unidad de Cierre

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapara por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos de rebabas<sup>7</sup>. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre del total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros en la pieza.

#### 2.4.1.2 La unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir.



**Figura 2.3** Diseño Genérico de la Unidad de Inyección.

El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

- La temperatura de procesamiento del polímero.
- La capacidad calorífica del polímero.
- El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido que da lugar a las rebabas; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte.

---

<sup>7</sup> **Rebabas**.-Porción de materia sobrante que sobresale irregularmente en sus bordes

Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Se sabe que la conductividad térmica de los plásticos es muy inferior a la de los metales, por lo que su procesamiento debe hacerse en capas delgadas para que la transferencia de calor sea lo más rápida posible y sostenible económicamente. Esto se logra aprovechando el fenómeno de plastificación, que consiste en la fusión de la capa de material directamente en contacto con la superficie del barril, la cual transmite el calor por convección forzada, al material sólido en las capas inferiores hasta que se plastifica completamente la masa de material.

En las inyectoras comerciales aproximadamente un 30% del calor requerido para fundir el material lo aporta la fricción viscosa, generada por el giro del tornillo con respecto al barril, y el otro 70% lo aportan las resistencias eléctricas.

### **2.4.1.3 Unidad de potencia**

Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar como:

1. Sistema de motor eléctrico con unidad reductora de engranajes
2. Sistema de motor hidráulico con unidad reductora de engranajes
3. Sistema hidráulico directo

*Sistema de potencia eléctrico:* el sistema eléctrico se utiliza generalmente en máquinas relativamente pequeñas. Este sistema se emplea tanto para el giro del tornillo como para la apertura y cierre del molde. La máquina emplea dos sistemas mecánicos de engranajes y palancas acodadas, uno para el cierre del molde y otro para el tornillo. Cada uno accionado por un motor eléctrico independiente. El accionamiento del tornillo cuando realiza la inyección lo ejecuta un cilindro hidráulico. En los sistemas con motor eléctrico, la velocidad puede ajustarse sólo en un determinado número de valores, lo cual puede ocasionar problemas en la reproducción de parámetros de operación y dificultar la obtención de piezas con una calidad constante. Los motores eléctricos generan grandes torques de arranque, por lo que debe tenerse precaución al usar tornillos con diámetros pequeños para evitar que se rompan.

*Sistema de potencia hidráulico:* los motores hidráulicos son los más comúnmente utilizados, su funcionamiento se basa en la transformación de la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica. A diferencia de los sistemas electromecánicos, donde la potencia es transmitida a través de engranajes y palancas, en un sistema con fluidos estos elementos se sustituyen, parcial o totalmente, por tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y de cierre del molde. El

fluido que más se utiliza es el aceite debido, principalmente, a sus propiedades lubricantes en aplicaciones que involucran grandes cargas. En los sistemas hidráulicos es común utilizar presiones que varían entre los 70 y 140 kg/cm<sup>2</sup>. Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico pueden resumirse principalmente en:

Fácil variación de velocidades, regulando el volumen de fluido.

La relación entre el torque y la velocidad es aproximadamente lineal, el límite de torque se determina por la presión limitante y el torque de arranque es aproximadamente igual al de funcionamiento.

Permite arranques y paradas rápidos debido al pequeño momento de inercia.

Permite relaciones bajas de peso potencia, lo que posibilita alcanzar altas velocidades de inyección del material.

#### 2.4.1.4 Unidad de control

Este sistema básicamente contiene un controlador lógico programable (PLC) y controladores PID para las resistencias eléctricas del barril y de la boquilla. El PLC permite programar la secuencia del ciclo de inyección y recibe señales de alarma, por sobrepresión o finales de carrera, para detener el ciclo. Los controladores PID son los más adecuados para el control de temperatura debido a su elevada velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos.

#### 2.4.2 Moldes de inyección. [7]

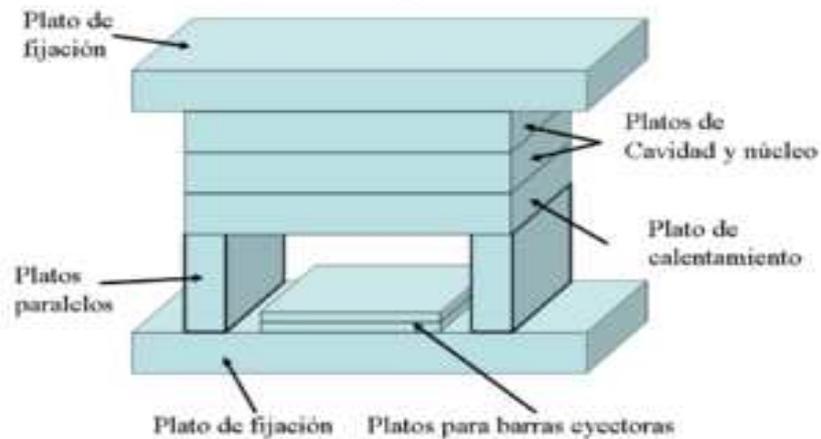
Las partes que constituyen un molde son:

**Cavidad:** es el espacio en el cual se llena el polímero para obtener la forma deseada.

**Canales o ductos:** son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la *boquilla*, los siguientes canales son los denominados *bebederos* y finalmente se encuentra la *compuerta*.

**Canales de enfriamiento:** son canales por los cuales circula refrigerante (el más común agua) para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, esto en vista de que la refrigeración debe ser lo más homogénea posible en toda la cavidad y en la parte fija como en la parte móvil, esto con el fin de evitar los efectos de contracción. Cabe destacar que al momento de realizar el diseño de un molde, el sistema de refrigeración es lo último que se debe diseñar.

**Barras expulsoras:** al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación.



**Figura 2.4** Esquema de un molde comercial prefabricado, al cual sólo le falta la cavidad para la pieza deseada.

El molde consta de dos mitades que por lo general se fijan directamente sobre los platos portamoldes de la máquina de inyección. Estos dos elementos básicos, la mitad del molde lado inyector y la mitad lado extractor, aparece en todo molde, independientemente de su forma de construcción, dichos elementos son el punzón y matriz.

Tras el proceso de llenado y solidificación el molde se abre por el plano de partición, quedando generalmente la pieza y la mazarota adheridas a la mitad del molde lado extractor. Al continuar el proceso de apertura, la parte posterior entra en contacto con un perno fijo de la máquina, iniciándose enseguida el proceso de desmoldeo.

El tope del extractor acciona el mecanismo de expulsión, el cual desplaza la pieza y la mazarota<sup>8</sup>, separándolas del elemento posterior de moldeo. Solo al efectuarse el movimiento de cierre se produce la recuperación del mecanismo extractor, bien mediante las llamadas espigas de retroceso o bien mediante un resorte antagonico, es decir el resorte de la placa extractora.

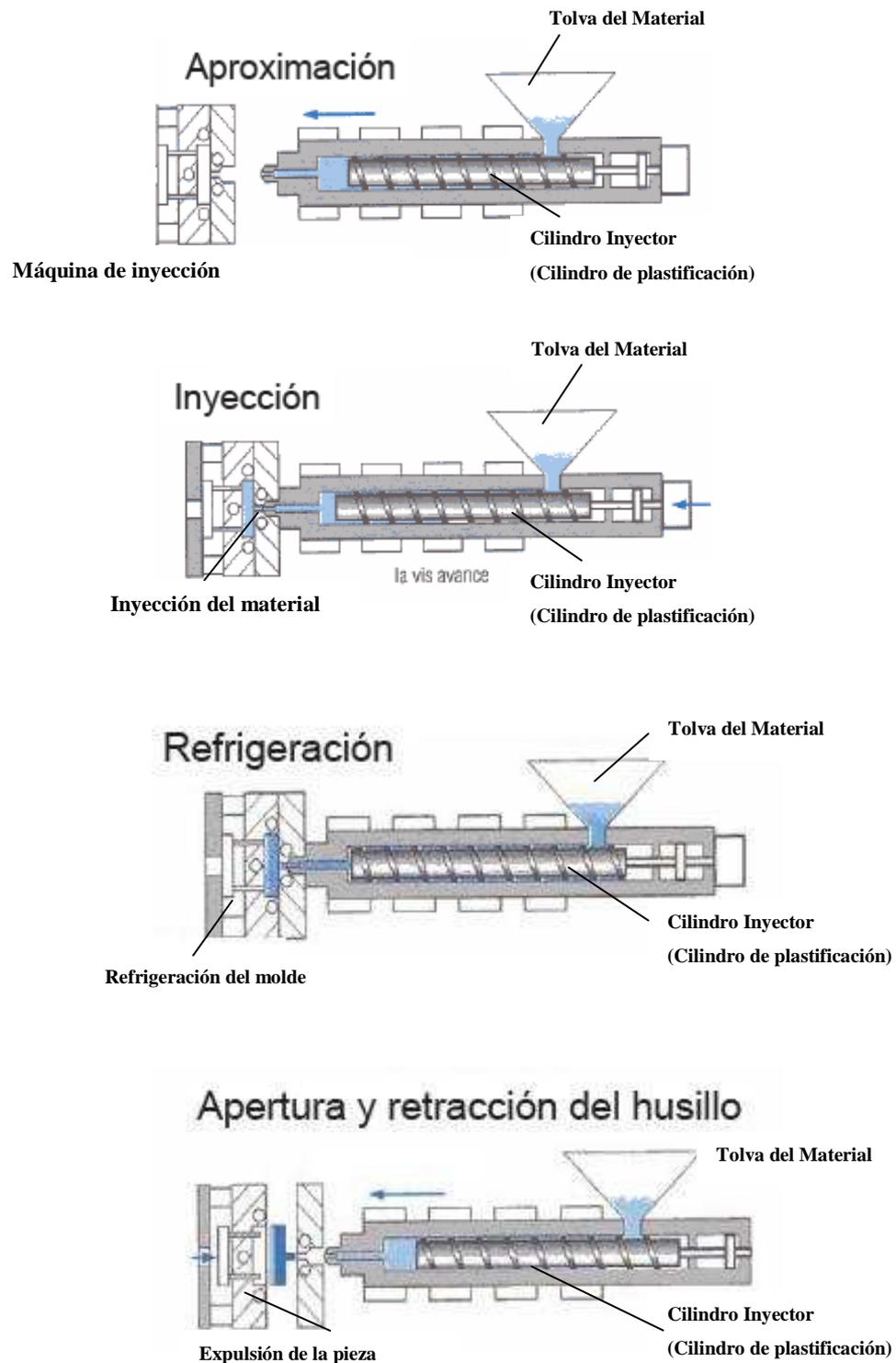
Finalizando el movimiento de cierre, el mecanismo extractor se encuentra en su posición final.

Mediante una boquilla situada junto a la cavidad del molde se establece una conexión entre éste y el cilindro de inyección, con lo que puede empezar de nuevo el proceso de llenado. Según el tipo de máquina, un husillo o un pistón impulsan a elevada presión la masa plastificada hacia la cavidad del molde.

---

<sup>8</sup> **Mazarota.**- Masa de polímero, que al fundirse las piezas en moldes verticales se deja sobrante en la parte superior y forma un sólido de polímero

Terminado el proceso de llenado, se mantiene todavía, durante un cierto tiempo, un proceso residual, la cual sirve para compensar la contracción en volumen mediante nueva aportación de material. Con el inicio del llenado del molde empieza la fase de refrigeración, que termina cuando el material se ha solidificado para formar una pieza de forma estable. El período de refrigeración termina al efectuar el desmoldeo.



**Figura 2. 5** Fase de un ciclo de Inyección.

## Denominación para los elementos de molde de inyección.

Se utilizaran las denominaciones mencionadas a continuación según DIN.

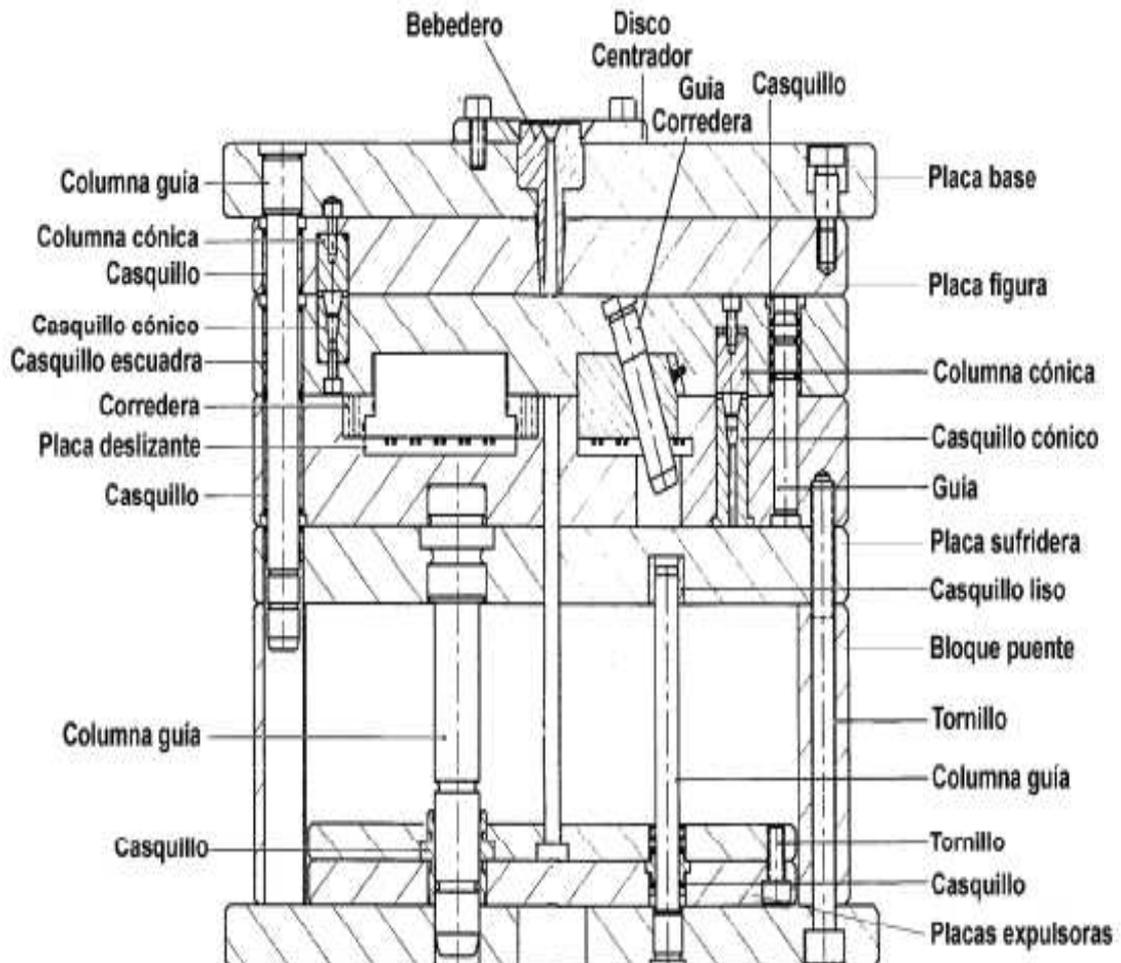


Figura 2. 6 Designación de las partes del molde

### 2.4.2.1 Parámetros de inyección [7] [8]

Los parámetros más importantes para un proceso de inyección son los siguientes.

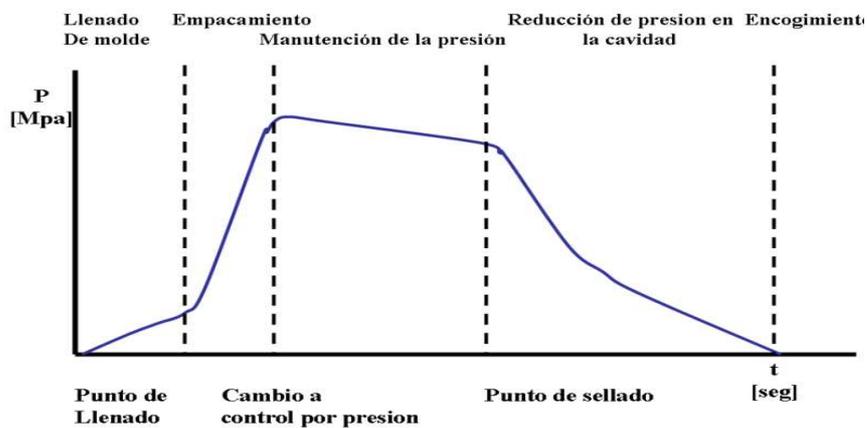
#### Ciclo de moldeo

En el ciclo de moldeo se distinguen 6 pasos principales:

1. Molde cerrado y vacío: la unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido.
2. Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.
3. La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
4. La presión se elimina. La válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.
5. La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro pues es largo e interrumpe el proceso continuo), la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.
6. La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.

### **P vs. T (relaciones de presión-volumen-temperatura)**

En cualquier polímero, las relaciones entre presión, volumen y temperatura son muy importantes para obtener un proceso de inyección eficiente, ya que el volumen específico de un polímero aumenta al ascender la temperatura del mismo. Entre estas dos dimensiones se presentan curvas isobáricas por las cuales se guía el polímero. El comportamiento de los polímeros amorfos y semicristalinos en el paso de enfriamiento es muy diferente, lo que debe ser tenido en cuenta si se quiere obtener una pieza de alta calidad.



**Figura 2. 7** Llenado de molde en inyección

Las relaciones de  $P$  vs  $t$  se utilizan en ingeniería de polímeros para lograr un sistema técnico que, basado en la teoría molecular, proporcione datos aplicados a los polímeros en estado fundido en un amplio rango de presión y temperatura.

### **Cristalización y deformación de la pieza al enfriarse (contracción)**

Debe tenerse en cuenta que la razón de este fenómeno se debe al cambio de densidad del material, que sigue un propio comportamiento fisicoquímico, particular para cada polímero, y que puede ser

isótropo<sup>9</sup> o anisótropo. Los polímeros semicristalinos modificarán más su tamaño dependiendo de la temperatura en la cual se les permita cristalizar. Por ello, el grado de cristalinidad afecta directamente a la densidad final de la pieza. La temperatura del molde y el enfriamiento deben ser los adecuados para obtener partes de calidad. A continuación se enumeran algunos valores comunes de contracción en polímeros para inyección (para diseño de moldes es conveniente solicitar una hoja de parámetros técnicos del proveedor de polímeros para obtener un rango específico).

**Tabla 2.1** VALORES DE CONTRACCIÓN EN POLÍMEROS PARA INYECCIÓN

<b>Termoplástico</b>	<b>Contracción (%)</b>
Acrilonitrilo butadieno estireno	0,4 – 0,8
Poliacetal	0,1 – 2,3
Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,2 – 0,7
Acetato de celulosa	0,5
Nylon 6,6	1,4 – 1,6
Policarbonato	0,6
Polietileno de baja densidad	4,0 – 4,5
Polipropileno	1,3 – 1,6
Poliestireno	0,4 – 0,7
PVC RIGIDO	0,6 – 1,2
PVC plastificado	1,0 – 4,5

### **Colada fría y caliente**

Existen dos tipos de colada. La *colada fría* es el remanente de polímero solidificado que queda en los canales, y que es necesario cortar de la pieza final. La *colada caliente* mantiene al polímero en estado fundido para continuar con la inyección. Con esta técnica se ahorra una considerable cantidad de plástico. Pero algunas de las desventajas la convierten en una técnica poco popular: los pigmentos deben tener mayor resistencia a la temperatura, el polímero aumenta su historia térmica, el molde debe ser diseñado especialmente para esto, pueden haber fluctuaciones en el ciclo de moldeo, etc.

---

<sup>9</sup> *Isótropo*.- Fenómeno por el que ciertos cuerpos presentan una o más propiedades que no dependen de la dirección en la que se mide

### **Coloración de la pieza**

La coloración de las partes a moldear es un paso crítico, puesto que la belleza de la parte, la identificación y las funciones ópticas dependen de este proceso. Básicamente existen tres formas de colorear una parte en los procesos de inyección:

1. Utilizar plástico del color que se necesita (precoloreados).
2. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con pigmento en polvo o colorante líquido.
3. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con concentrado de color.

La elección más barata y eficiente es el uso del concentrado de color (en inglés *Masterbatch*), el cual se diseña con características de índice de fluidez y viscosidad acordes al polímero que se desea procesar. Con los concentrados de color se puede cambiar de un color a otro de manera rápida, sencilla y limpia. Los pigmentos en polvo presentan mayores problemas de coloración que los concentrados de color y estos más que los precoloreados; sin embargo, los precoloreados son los más caros y presentan una historia térmica mayor. Los problemas de procesamiento más comunes con relación al color de una pieza son: líneas de color más o menos intenso, puntos negros, ráfagas, y piel de naranja. Los colores pueden ser opacos y, si el polímero es transparente, se permiten colores translúcidos. Es importante que el proveedor de los concentrados de color sea consciente de la aplicación final de la parte, para utilizar pigmentos o colorantes que no migren a la superficie. En polioleofinas no debe utilizarse colorantes porque migran, un error muy común en la industria ya que son baratos, si bien este ahorro merma la calidad de la parte y puede resultar en una reclamación por parte del cliente. Los colores finales en la parte pueden ser translúcidos, sólidos, pasteles, metálicos, perlados, fosforescentes, fluorescentes, etc. Sin embargo, polímeros como el ABS son más difíciles de colorear que el polietileno, por su alta temperatura de proceso y su color amarillento.

### **Temperatura de proceso**

Para inyectar un polímero, específicamente un termoplástico, es necesario conocer su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y su temperatura de fusión de la región cristalina ( $T_m$ ), si es un polímero semicristalino. La temperatura de operación de cada termoplástico no es estándar, y varía según el proveedor. Es por tanto necesario solicitarle una hoja de especificaciones donde se encuentre tanto el índice de fluidez como la temperatura de trabajo, que además es un rango de temperaturas, y la temperatura de degradación, con lo cual se obtiene un intervalo dentro del cual se puede trabajar el material eficientemente.

## Dimensiones de la máquina

La efectividad de una máquina de inyección se basa en la cantidad de presión que esta pueda generar, por dos razones principales:

1. Incrementando la presión se puede inyectar más material.
2. Incrementando la presión se puede disminuir la temperatura, que se traduce en menor costo de operación.

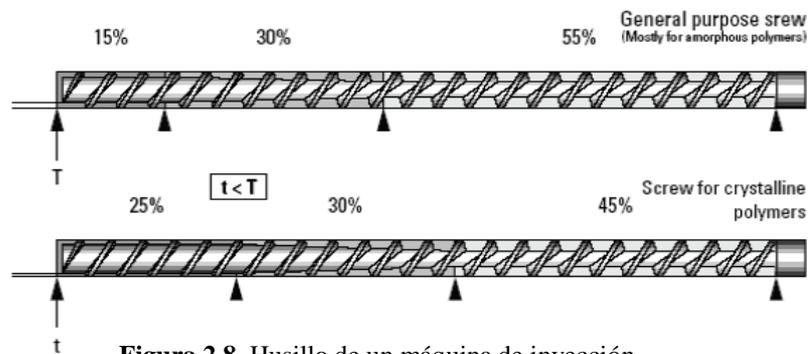
Para la selección adecuada de la máquina de inyección hay que considerar los siguientes parámetros:

Gramaje de la pieza o piezas a inyectar

Presión

Distancia entre columnas de la máquina

Para nuestro caso, se necesita inyectar 12,56 gr y una distancia entre columnas de 200 mm por lo que se puede seleccionar en el catálogo del fabricante. En el mercado existen varias marcas de máquinas de inyección como la HAITAN, CINCINATI, etc. Las mismas que varían de precio según la necesidad.



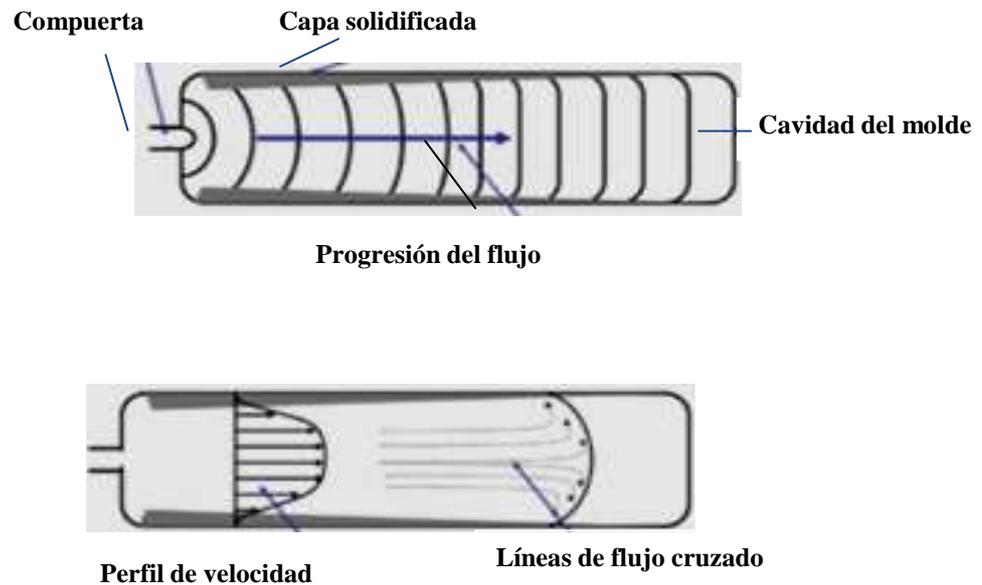
**Figura 2.8** Husillo de un máquina de inyección.

Aunque las dimensiones de la máquina dependen principalmente de la cantidad de polímero que se necesita para llenar la pieza deseada, es común que los proveedores de máquinas vendan equipos más o menos estándares.

Las principales características para determinar las dimensiones de una máquina son: la capacidad de cierre, dimensiones del molde, carrera o recorrido del molde, presión de inyección, capacidad volumétrica de inyección, características de plastificado y velocidad de inyección.

## Flujo y diseño de flujo

La viscosidad del polímero aumenta al enfriarse en contacto con las paredes del molde.



**Figura 2.9** Flujo del polímero

Los polímeros son materiales cuyas viscosidades son muy altas, por lo que su flujo es lento. La razón de esto es que son cadenas muy largas de unidades más simples, a causa de lo cual los polímeros presentan una orientación con respecto al esfuerzo cortante al que han sido sometidos.

En general, es conveniente eliminar lo más posible la orientación de las moléculas, propiedad que se contrapone a la rapidez de moldeo (y por tanto al costo). Sin embargo, si debido a una orientación extremadamente alta no se libera, la pieza se deformará al enfriarse o al calentar el material en su aplicación.

El polímero entra en el molde y se va acumulando desde el punto de entrada, arrastrándose por las paredes y empujando el polímero en el centro. Cuando este toca las paredes del molde, comienza a enfriarse y solidificarse.

Esto ocurre con cierta baja orientación, pero cuando se va llenando la cavidad en capas posteriores lejanas a la pared del molde, la orientación se incrementa y un inadecuado enfriamiento congela los estreses generados, siguiendo un perfil de velocidades semejante al del flujo parabólico en un tubo.

El flujo de un polímero a través de una cavidad rectangular se puede estudiar utilizando condiciones isotérmicas, o con el molde a temperaturas menores que la  $T_g$  del polímero a estudiar. Para los experimentos en condiciones isotérmicas, se observa que el tipo de polímero no modifica el flujo, que mantiene un perfil de velocidades constante, con un flujo radial después de la compuerta hasta llenar las esquinas.

Después, el flujo se aproxima a un flujo tapón, perdiendo movilidad en las zonas de contacto con la pared fría. El flujo de cada polímero es estudiado por la reología<sup>10</sup>.

### **Ventilación y presión**

Conforme el polímero avanza desde la entrada o tolva, va reduciendo el tamaño de sus gránulos por medios tanto mecánicos (fricción, compresión y arrastres) como térmicos (aumento en su temperatura interna), llegando al estado gomoso o fusión, dependiendo de si el material es amorfo o semicristalino.

Conforme este material avanza, el aire presente experimenta un aumento de presión y generalmente escapa en dirección opuesta al avance del polímero. Si esto no ocurre, entonces es necesario abrir una compuerta de ventilación, igualándose de esta manera la presión generada a la presión atmosférica.

### **Entradas**

Las funciones concretas de una entrada son simples: sirven para ayudar a que el polímero solidifique pronto cuando la inyección concluye, y para separar fácilmente los remanentes de inyección de la pieza final.

Muchas veces elimina la necesidad de cortar o desbastar este sobrante y acelerar el flujo de material fundido, que se refleja en una menor viscosidad y mayor rapidez de inyección. Las entradas son así diseñadas para mejorar el flujo y para permitir un orden distributivo del mismo. Las más comunes son:

---

<sup>10</sup> **Reología.**- Parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia.

**Tabla 2. 2** ENTRADAS MÁS COMUNES DE MOLDES.

<b>Tipo de entrada</b>	<b>Esquema</b>	<b>Característica</b>
Entrada de canal	(sin esquema)	Alimentan de manera directa desde la cavidad.
Entrada cónica		Alimentan el polímero permitiendo una ligera relajación de esfuerzos.
Entrada puntiforme		Se llenan desde los bebederos; comúnmente usadas en moldes de tres placas, permiten altas velocidades y se llenan con facilidad; pueden eliminarse sin dificultad de la pieza moldeada.
Entrada lateral		Alimentan desde un lado del molde; comúnmente utilizadas para impresión múltiple.
Entrada anular		Se usan para moldear partes huecas ya que su flujo es previamente modificado a la forma final.
Entrada de diafragma		Similares a las compuertas anular, pero distribuyen el material fundido desde el canal de alimentación.
Entrada de abanico		Sirven para cubrir áreas grandes o largas de manera homogénea y distributivamente correcta.
Entrada de lengüeta	de 	Estas compuertas minimizan el efecto de jet y ayudan a lograr un flujo de régimen laminar cuyo número de Reynolds es adecuado para la inyección.
Entrada de cinta o laminar		Sirven para moldear homogéneamente áreas planas y delgadas, sobre todo en productos translúcidos y transparentes como objetivos de policarbonato, láminas de PMMA y dispositivos ópticos de medición, ya que minimiza las aberraciones cromáticas y ópticas debidas a ondas formadas por flujo en régimen turbulento.

#### 2.4.2.2 Clasificación de los moldes

Para la construcción de un molde es indispensable adaptarse al artículo que deba moldearse, al material y a la máquina elaboradora. A primera vista parece muy difícil establecer una clasificación de

los moldes, dada la multiplicidad de materiales y máquinas que se encuentran en el mercado, así como la configuración particular adoptada por cada fabricante. Según la cantidad de cavidad, se tienen moldes simples o múltiples. La determinación de la cantidad de cavidades del molde depende técnicamente del peso de material por inyección, del rendimiento de plastificación y de la presión de cierre de la máquina. La cantidad rentable de cavidades por molde se determina según la suma de los costes de producción y según el número de piezas, pero la división de los moldes según la cantidad de cavidades no dicen nada todavía sobre el principio de trabajo. Éste y particularmente el principio de desmoldeo de las piezas, depende del tipo de artículo a fabricar, esencialmente se considera tres tipos, las cuales por determinar el principio de desmoldeo, sirven de base para la clasificación de los moldes:

**Artículos sin resalte o contraperfiles** en general se trata de piezas relativamente sencillas.

**Artículos con resaltes a contraperfiles exteriores** como por ejemplo tornillos, tapones de champán, etc.

**Artículos con resaltes interiores** como por ejemplo obturadores roscados para tubos, caperuzas roscadas, etc.

De acuerdo con la norma DIN E16750, los moldes se dividen según las características siguientes:

- Moldes normales (dos placas),
- Moldes de mordazas (o correderas),
- Moldes de extracción por segmentos,
- Moldes de tres placas,
- Moldes de pisos (sandwich)
- Moldes de canal caliente.

La decisión sobre el número de cavidades está condicionada por la capacidad de la máquina a utilizar. La suma de volúmenes de la pieza, canal de inyección y mazarota es el divisor de la capacidad de embolada que define tal número e inversamente, multiplicando esta suma por el número de cavidades de un molde dado se define la capacidad necesaria de la máquina de inyección.

### **2.4.3 Tipos de moldes [8]**

#### **2.4.3.1 Moldes de colada fría.**

La colada fría es un componente de la pieza inyectada, puede ser bastante grande y necesita ciclos de inyección más largos. Este sistema es aplicado a piezas pequeñas. Los canales fríos llevan el plástico a

las cavidades del molde y no cuenta con sistemas de control de temperatura como los sistemas de colada y sistemas calientes. Las principales características de los moldes de inyección de plástico de colada canales fríos son:

- Tiempos de ciclos más altos.
- Mecanismo de desmolde complicado.
- Gran cantidad de desperdicio de material (colada fría).
- Difícil repetitividad del producto.
- Distancias de aperturas del molde muy grandes.
- Proyección y distribución de las cavidades compleja.

Cuando existen contrasalidas que hacen necesarias los carros (correderas), se necesita una distribución en serie que presenta el inconveniente de tener recorridos desiguales de alimentación. Para equilibrar artificialmente el llenado sin cambiar el diámetro de las boquillas se varían los diámetros de los canales a partir de un análisis del comportamiento. Los canales de distribución para cavidades múltiples se suelen construir con una configuración radial para obtener un llenado simultáneo e igualado de todas las cavidades. De esta forma, las exigencias respecto a un sistema de canal frío son muy elevadas. El gradiente de temperatura en el sistema debe ser lo más pequeño posible y el aislamiento térmico del molde y el canal frío deben ser óptimo para evitar con seguridad la solidificación del material.

Se usan diferente tipos de expulsores en función de la forma de la pieza, que deben ejercer la presión mínima suficiente para el desmoldeo evitando eventuales deformaciones. El camino del material hasta la cavidad debe ser lo más corto posible para, entre otras cosas, minimizar las pérdidas de presión y de calor. El tipo de ejecución de la colada/sección de entrada tiene mucha importancia respecto a:

- Fabricación económica
- Propiedades de la pieza inyectada
- Tolerancias
- Tensiones propias del material

#### **2.4.3.1 Sistemas de colada fría [9]**

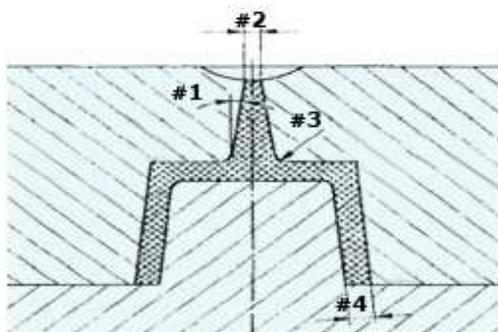
Colada como componente de pieza inyectada, pero que no forma parte de la pieza propiamente dicha.

Canal de colada, definido desde el punto de introducción de la masa plastificada en el molde hasta la entrada.

Entrada como sección del canal de colada en el punto donde se une la cavidad del molde.

### Colada cónica con o sin barra

Por lo general, se aplica para piezas de espesores de pared relativamente gruesos, y también para la transformación de materiales de elevada viscosidad en condiciones desfavorables térmicamente. La barra debe separarse después del desmoldeo de la pieza.

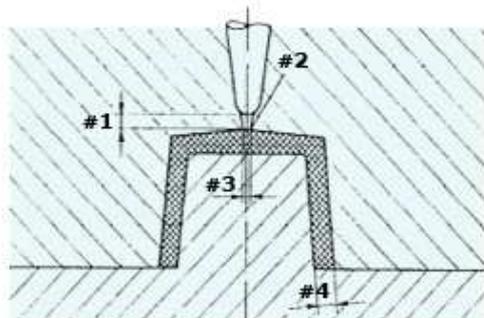


1. Ángulo de desmoldeo de la colada cónica.
2. Diámetro de la colada cónica.
3. Radio de la colada cónica.
4. Espesor de pared.

**Figura 2.10** Colada cónica con o sin barra

### Entrada capilar

A diferencia de la colada de barra, la colada de sección puntiforme es separada automáticamente, la separación es de forma automática. Para esta expulsión automática se utiliza boquillas neumáticas.

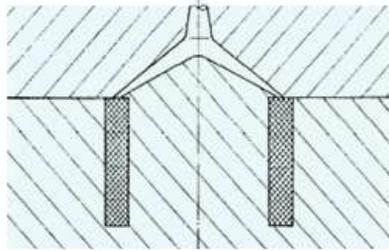


1. Altura de la sección puntiforme  $< 1 \text{ mm}$ .
2. Punto de ruptura.
3. Diámetro de la sección puntiforme.
4. Espesor de pared.

**Figura 2.11** Entrada puntiforme o capilar

### Colada de paraguas

Este tipo de colada es adecuado para la fabricación, por ejemplo de cojinetes de fricción, evitando al máximo la existencia de línea de unión. Las desventajas que presenta este tipo de colada son el apoyo unilateral del hoyo central y la necesidad de operaciones mecanizadas para eliminar la colada.



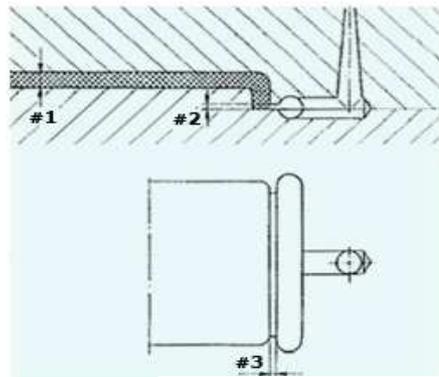
**Figura 2.12** Colada de Paraguas

### Colada de disco

En este tipo de colada se prefieren piezas cilíndricas por el interior, sin líneas de unión residual, por ejemplo el caso de los materiales fibrosos de refuerzo, la colada de disco puede desfavorecer la tendencia a la contracción. La colada se elimina después del desmoldeo.

### Entrada de cinta

Ideal para fabricar piezas planas con un mínimo de contracción y de tensión. La entrada con un ancho igual a la de la pieza, origina una distribución homogénea del frente de la colada. La corrección de la sección de entrada compensa un cierto adelantamiento del material líquido en la parte de la colada.

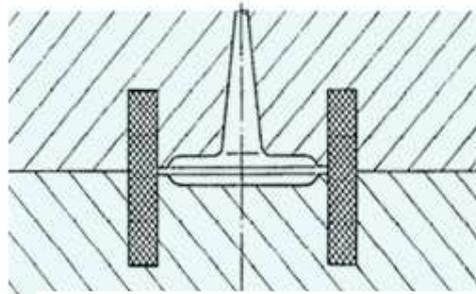


1. Espesor de la pieza.
2. Espesor de la colada.
3. Ancho de la colada.

**Figura 2.13** Entrada de cinta

### Entrada laminar

La entrada en el caso de los moldes sencillos, está situada fuera del eje de gravedad de la pieza, lo que puede conducir a un desgaste del molde no uniforme. La lámina de entrada es generalmente maquinada.

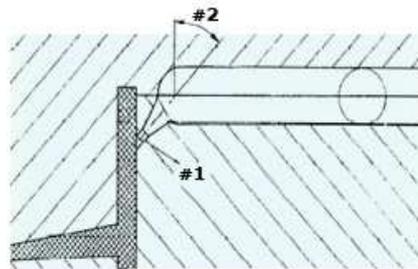


**Figura 2.14** Entrada de Laminar

### Entrada del túnel o submarina

La entrada es separada de la colada al abrir el molde o por medio de una ruptura forzada en el momento de expulsar de la pieza. La entrada de túnel es adecuada para una inyección lateral.

Los canales de distribución debe ser de lo más recto posible para conseguir que las cavidades de un molde múltiple llene de forma simultánea y homogénea.

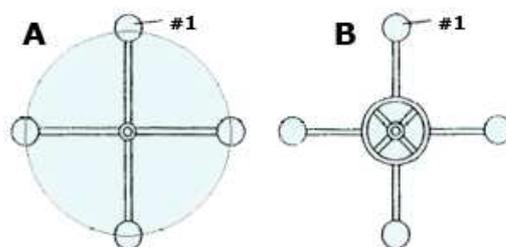


1. Ariste de corte.
2. Ángulo de inyección.

**Figura 2.15** Entrada de Túnel o Submarina

### Distribución en forma de anillo o estrella

Ofrece la ventaja de distancias cortas e iguales, están en desventajas cuando los moldes utilizan carros (correderas).



- A. Distribuidor en estrella.
- B. Distribuidor en anillo.
1. Cavidad.

**Figura 2.16** Distribución en forma de anillo o estrella

### 2.4.3.2 Moldes de colada caliente [9]

El Sistema de Colada Caliente es la forma más eficiente de optimizar la producción y mejorar la calidad de un producto inyectado. Este sistema es básicamente una extensión de la nariz de la máquina, funcionando como distribuidor del flujo para cada una de las cavidades. A través de los

canales de distribución en constante calentamiento, es posible mantener el material en la misma temperatura del cañón de la máquina inyectora, libre de variaciones y sin los inconvenientes canales de alimentación (canales fríos). Utilizar sistemas de colada caliente puede ofrecer diversas ventajas si es comparado con los sistemas convencionales de colada fría, tales como:

### **Reducción de costos**

- Economiza el desperdicio de materia prima
- Costo de operación reducido
- Menor ciclo de inyección

### **Flexibilidad del proyecto**

- Facilidad en la definición de los puntos de inyección de grandes piezas
- Eliminación de la necesidad del balanceamiento de los canales
- Diversidad en los tipos de entrada de material
- Elaboración de proyectos compactos
- Mayor número y posibilidad de puntos de inyección
- Amplia variedad de boquillas de inyección y de puntas
- Aplicaciones para moldes de alta producción y de piezas técnicas

### **Reducción del tiempo de ciclo**

- Reducción del tiempo de enfriamiento
- No hay la necesidad de solidificar los canales de colada fría
- Ideal para moldes de paredes finas

### **Mejora la calidad de las piezas moldeadas**

- Exento de contaminación.
- Mayor uniformidad dimensional en el producto acabado.
- Los puntos de Inyección pueden ser controlados y en algunos casos podrán ser prácticamente imperceptibles.
- Menores tensiones internas en los productos moldeados
- Eliminación de operaciones secundarias

### **Mayor eficiencia del equipo**

- Se requiere máquinas con menor capacidad de fuerza de cierre y capacidad de compactación.
- Reducción de la cantidad de molinos para el reciclado de los canales fríos.
- Fácil cambio de material y de color.
- Menor presión de inyección.

Existe una temperatura óptima del molde en el momento de la inyección que es función, principalmente, de la cristalinidad del material. Puede ser necesaria una refrigeración adicional para mantenerla en las zonas más cercanas a la boquilla, donde el paso continuado del flujo de fundido eleva más la temperatura. La distribución del atemperado es otro de los parámetros a considerar en el diseño del molde.

Se aplican distintos tipos de expulsores en función de la forma de la pieza, que deben ejercer la presión mínima suficiente para el desmoldeo evitando eventuales deformaciones. Si existen contrasalidas es necesario el uso de correderas y, cuando hay roscas o contrasalidas internas, pueden utilizarse machos roscados, plegables o intercambiables y, en casos extremos, machos perdidos de aleaciones con muy bajo punto de fusión.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES Y PROCESO DE MANUFACTURA

#### 3.1 Denominación del material. [11]

Para la elaboración de altos polímeros por el proceso de inyección, son indispensables moldes de gran calidad, con una elaboración muy precisa, y que deben presentar una elevada duración. Estos moldes se fabrican actualmente en acero, metales no ferrosos y materiales de colada no metálicos, obtenidos galvánicamente<sup>11</sup>, en el futuro quizá también se construyan a base de materiales cerámicos.

El tipo de molde a elegir para una pieza a fabricar viene determinado esencialmente por consideraciones de rentabilidad, que depende de las exigencias impuestas a la pieza fabricada, de los costes de fabricación del molde, del tiempo del ciclo y del número de piezas a fabricar con el molde, es decir, de su duración.

Estas condiciones no van incondicionalmente unidas con las propiedades térmicas y mecánicas, ni tampoco con la facilidad de elaboración de los materiales. Así por ejemplo, los materiales con buenas propiedades térmicas presentan generalmente propiedades mecánicas menos buenas. A continuación presentamos los diversos materiales, sus propiedades, su elaboración y su campo de aplicación.

#### **Aceros**

Se comprende que un acero no puede presentar todas las propiedades requeridas para la elaboración del molde, por ello antes de fabricar un molde, es preciso dilucidar las propiedades indispensables impuestas por su aplicabilidad. Estas pueden estimarse según los parámetros siguientes:

**Tipo de la masa del molde a elaborar.** (exigencias relativas a corrosión, abrasión, conductividad térmica y viscosidad)

**Tipo y magnitud del esfuerzo mecánico previsible.** (tamaño de la cavidad, presión de inyección, variaciones de forma en el molde, presión residual necesaria).

---

<sup>11</sup> *Galvánicamente.*-Tratamiento aplicado a las superficies metálicas consistentes en cubrirlas con un revestimiento de otro metal resistente a la corrosión.

**Método de obtención del vaciado del bloque.** (arranque de viruta, estampado en frío, erosión), y tratamiento térmico necesario, con sus correspondientes variaciones en las dimensiones.

De acuerdo con estas consideraciones, se procederá a la elección del acero apropiado entre la gama que ofrece todo suministrador. Estos pueden clasificarse en:

Aceros de cementación.

Aceros de temple total.

Aceros bonificados para empleo en estado de suministro.

Aceros resistentes a la corrosión.

Aceros de nitruración.

Acero de segunda fusión.

#### **Aceros de cementación.**

Los aceros de cementación son los que reúnen las condiciones que más se aproximan a las exigidas a un acero para la construcción de moldes. Con ello no es de extrañar que su porcentaje de aceptación alcance alrededor del 80% del consumo total del acero para moldes. La ventaja particular de estos aceros consiste en que por cementación, o carburación ya se forma cementita<sup>12</sup> con el tratamiento térmico se origina una superficie dura como el vidrio y simultáneamente, un núcleo resistente y tenaz. La elevada dureza superficial hace que los moldes sean resistentes a la abrasión y el núcleo tenaz les hace resistentes a los esfuerzos alternativos y bruscos.

Estas propiedades se obtienen cuando se calientan los moldes fabricados con acero de bajo contenido de carbono ( $\%C \leq 0.2$ ) en un medio que aporte carbono, sosteniendo una temperatura comprendida entre 840 y 900 °C y enfriando a continuación en aceite o agua. Al efectuar el calentamiento en un medio que desprende carbono, las capas externas del molde se enriquecen en dicho elemento. El contenido de carbono de las zonas externas puede alcanzar, de este modo hasta un 0.8%. La profundidad de esta capa enriquecida puede alcanzar entre 0.6 y 2 mm según las exigencias, viene determinada por el medio carburante, que puede ser gaseoso, líquido o sólido, así como por el tiempo y la temperatura.

El espesor de la capa enriquecida crece con la temperatura y la duración del calentamiento.

---

**12** *Cementita.*- Carburo de hierro  $CFe_3$  con un 6,67% de carbono y 93,3% de hierro.

Sin embargo las temperaturas excesivamente elevadas y a un tiempo de calentamiento excesivo son perjudiciales para el acero, ya que la estructura se hace muy basta y dificulta el posterior tratamiento térmico de bonificación.

### **Aceros de temple total.**

En los aceros de temple total se produce el aumento de dureza por la formación de martensita<sup>13</sup> debida al rápido enfriamiento que sucede al calentamiento. Las características mecánicas que pueden alcanzarse por este procedimiento dependen del agente refrigerante y de la velocidad de enfriamiento. Como agentes refrigerantes se utilizan agua, aceite o aire. El agua proporciona el enfriamiento más rápido, mientras que el aceite y el aire son más suaves. La velocidad de enfriamiento queda por tanto, determinada por una parte, por el agente enfriador y por otra, por la conductibilidad térmica, la cual depende a su vez de la relación superficie-volumen del molde y de los elementos de aleación que se encuentran combinados con el acero. Ni, Mn, Cr, Si y otros elementos reducen la velocidad crítica y permiten con ello el endurecimiento completo de secciones más gruesas.

El proceso de temple comprende: calentamiento, estabilización de la temperatura, enfriamiento con formación de la estructura de temple y subsiguiente revenido para mejorar la tenacidad.

Los moldes fabricados con acero templado tienen una buena resistencia a la abrasión como consecuencia de su elevada dureza, sin embargo, son más sensibles a la formación de grietas y a la deformación en comparación con los moldes de cementación debido a su menor tenacidad. Por esta razón, los aceros templados solo se utilizan por lo general, para pequeños moldes.

### **Aceros bonificados para empleo en el estado de suministro**

Si se quieren evitar las variaciones de dimensiones o la deformación producidas durante el tratamiento y con ello un costoso y prolongado trabajo posterior, deben emplearse, para la fabricación de un molde, aceros bonificados. Estos aceros, tal como se suministran, pueden elaborarse con relativa facilidad y económicamente por arranque de viruta.

Su aplicación es especialmente ventajosa para la construcción de moldes de grandes dimensiones, los cuales pueden reaccionar, frente a un tratamiento térmico, con variaciones en las medidas.

---

**13 Martensita.**-Constituyente de los aceros obtenidos por enfriamiento rápido de la austenita.

**14 Austenita.**- Solución sólida de carbono en hierro gamma estable a partir de los 900°C, cristaliza en forma cúbica y carece de propiedades magnéticas.

La desventaja de estos aceros es su reducida resistencia a la abrasión y la deficiente calidad de la superficie de los moldes, que a menudo, hace necesario un posterior tratamiento superficial (cromado, nitruración).

#### **Aceros resistentes a la corrosión.**

Con algunos polímeros elevados se desprenden, durante la elaboración, productos químicamente agresivos, generalmente ácido clorhídrico o ácido acético. Por lo general se protegen los moldes mediante revestimientos galvánicos como capas de cromo duro o de níquel. Sin embargo estos revestimientos protectores solamente son de eficacia duradera cuando se consigue un espesor de capa uniforme al hacer la aplicación. Las desigualdades de espesor producen tensiones en la capa protectora que al ser sometida a esfuerzos, pueden dar lugar al desconchado. El peligro de que el revestimiento no sea uniforme en todas sus partes es especialmente grande en los moldes con contornos complicados (contraperfiles, esquinas, etc.).

Además de proporcionar una buena resistencia a la corrosión, el cromado de las superficies se caracteriza por la elevada calidad de las mismas, la reducida abrasión y la propiedad que hace que la pieza inyectada no se adhiera las capas de cromo aplicadas tienen, un espesor de 0,2 mm, una dureza superficial comprendida entre 900 y 1100 HV. Si no se puede garantizar la obtención de un recubrimiento de cromo uniforme y subsiste el peligro de que se formen grietas en la capa protectora, lo que puede ocurrir principalmente cuando los moldes están sometidos a un esfuerzo flector, se recurrirá a aceros resistentes a la corrosión, es decir, aceros con bajo contenido de carbono y combinados con un mínimo de 12% de cromo. Sin embargo en su composición normal, estos aceros solo pueden emplearse hasta una temperatura de 400°C, ya que por encima de estos existe el peligro de una corrosión intercrystalina debida a la separación de carburo.

#### **Aceros de nitruración<sup>15</sup>**

Fundamentalmente pueden nitrurarse todos los aceros cuyos aditivos de aleación formen nitruros estos aditivos de aleación son cromo, aluminio, molibdeno y vanadio.

Si los aceros que contienen estos aditivos se someten a un recocido en un baño salino a base de cianato-cianuro, en corriente de amoníaco o en el seno de una descarga de efluvios de elevada intensidad a temperaturas entre 500 y 580°C, o bien entre 350 y 580°C para la nitruración.

---

<sup>15</sup> **Nitruración.**-Operación de endurecimiento superficial análoga a la cementación, en el que el elemento absorbido es el N y que tiene por objeto aumentar la resistencia a la fatiga.

No obstante, la dureza máxima no se alcanza precisamente en la superficie del molde, si no que está situada algunas centésimas de mm más abajo, por ello es necesario efectuar un trabajo posterior de pulido tras el tratamiento de nitruración, detalle que debe tenerse en cuenta en la fabricación de moldes.

Los aceros de nitruración se suministran recocidos, por ello pueden mecanizarse por arranque de viruta sin dificultades. Su especial ventaja consiste en que tras el tratamiento térmico se obtiene moldes sin tensiones, de gran tenacidad, con elevada dureza superficial y resistencia a la corrosión mejorada.

### **Aceros de segunda fusión [8]**

La calidad de una pieza inyectada depende fuertemente de la calidad superficial del molde, esto es especialmente válido para piezas obtenidas a base de masas transparentes, como vidrios para gafas, lentes, etc.

La calidad de la superficie de un molde es tanto más elevada cuanto mejor pueda pulirse el acero empleado, la capacidad de pulido de los aceros viene influida por el grado de pureza, el cual a su vez depende del porcentaje de inclusiones no metálicas que se encuentran en el acero, como óxidos, sulfuros y silicatos.

Estas inclusiones que no pueden evitarse en un acero de primera fusión pueden eliminarse en los aceros de segunda fusión obtenidos en hornos de inducción a alto vacío o en hornos de arco eléctrico. Los aceros fundidos al vacío tienen un grado de pureza máximo entre los que se encuentran actualmente en el comercio.

En consecuencia, pueden pulirse muy bien y convendrían emplearlos siempre que se trate de fabricar piezas transparentes con elevadas propiedades ópticas. Hasta hoy en día ha fracasado un empleo amplio de estos aceros por razones de su precio.

### **Materiales de colada**

La fabricación de moldes con perfiles forjados o laminados es relativamente cara por la mano de obra necesaria para su mecanización y por las máquinas que se requieren partes especiales. Se originan además pérdidas muy elevadas en virtud de la mecanización, las cuales según el tipo de los moldes, pueden alcanzar entre el 30 y 50 %. Los costos de los materiales y de su elaboración pueden reducirse, mediante el uso de materiales colados, sin embargo el tiempo empleado puede ser considerable en moldes colados, ya que primeramente hay que confeccionar modelos y moldes de colado. Además se

debe considerar que la exactitud de dimensiones y la calidad superficial son inferiores y vida útil es más baja respecto a los moldes fabricados por mecanización.

Favorecen también a los materiales colados sus propiedades térmicas, en parte mejores y su mayor resistencia a la corrosión. Esto último es particularmente válido para los metales no férricos.

Los materiales colados que comúnmente se emplean en la actualidad para la construcción de moldes pueden subdividirse en tres grupos:

Fundición de acero

Metales no férricos

Materiales no metálicos

### **Fundición de acero**

El acero fundido se emplea principalmente para la fabricación de grandes moldes. Para la obtención de moldes colados impecables, debe aplicarse la siguiente regla fundamental: Procurara que sean pequeñas las diferencias de espesor en las paredes y evitar las variaciones de sección muy bruscas.

Las propiedades mecánicas que dependen del contenido de carbono (0.1 y 0.4 %) son más bajas en relación con el acero laminado o forjado, pero básicamente, son suficientes para cumplir las exigencias formuladas.

Para conseguir la necesaria tenacidad a la entalladura (resiliencia) y la ausencia de tenciones, las piezas deben ser recocidas cuidadosamente a temperatura situada por encima de la de transformación siendo como mínimo de dos horas el tiempo de recocido.

Las piezas de acero fundido se obtienen generalmente por colado en moldes de arena, la calidad de las superficies de estos moldes no es tan buena como la de los moldes de acero forjado ya que en muchos casos adquiere una superficie mate.

### **Materiales para elementos de accionamiento y montaje (bastidores) en moldes de inyección (elementos normalizados para moldes)**

Además de las piezas del molde que entran en contacto con el plástico o materiales de moldeo, Son precisas para la construcción de un molde, Una serie de piezas sometidas también a esfuerzos mayores o menores. Estas son, en particular los eyectores, columnas y manguitos de guía, placas de fijación,

placas intermedias, placas para acoger los materiales de moldeo, pueden adquirirse actualmente ya terminados.

Con ayuda de los mismos pueden fabricarse moldes completos por el sistema de unidades normalizadas, ya que el realizador solamente debe efectuar su montaje particular. Gracias a su producción en grandes series, estos elementos de funcionamiento y montaje, los llamados normalizados, tienen un precio relativamente favorable. Como materiales para los diversos elementos se emplean corrientemente los aceros indicados en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1** CARACTERÍSTICA DE MATERIALES UTILIZADOS

<b>Resistencia a la compresión [kp/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Resistencia a la tracción [kp/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Dilatación térmica [10-6/°C]</b>	<b>Conductibilidad térmica [cal/cm s°C]</b>
760	210	2.6	0.30
660	220	2.9	0.35
1150	380	1.6	0.25
600		3.4	0.15

### **3.2 Criterios de selección [7]**

Las exigencias que deben satisfacer un acero para la construcción de moldes destinados al moldeo por inyección proceden, por una parte, de las condiciones impuestas a la pieza terminada y otra de los esfuerzos a los que se ve sometido el molde, de ello se desprende que los aceros deben tener las siguientes propiedades:

Buenas condiciones para su elaboración (mecanibilidad, facultad de troquelado en frío, templabilidad).

Resistencia a la compresión, temperatura y abrasión, aptitud para el pulido.

Suficiente resistencia a la tracción y tenacidad.

Tratamientos térmicos sencillos.

Deformación reducida.

Buena conductibilidad Térmica.

Buena resiliencia.

Sin embargo el factor decisivo para la elección del acero no es el esfuerzo de compresión, los aceros templados pueden soportar sin más esfuerzo puramente de compresión de 250 a 300 kp/mm<sup>2</sup>, si no el esfuerzo de flexión que debe resistirlo en particular los moldes grandes. Los esfuerzos flectores pueden ser tales que produzcan la rotura de los elementos del molde construido a base de aceros de

temple total. Por ello se recomienda, emplear aceros de cementación con núcleo tenaz y superficie endurecida, resistente a la abrasión. Sin embargo los aceros de cementación presentan las máximas exigencias en cuanto al tratamiento térmico y su elaboración exige mucho tiempo. Las variaciones en las dimensiones y las deformaciones que pueden producirse como consecuencia de un tratamiento térmico y que exigen generalmente, un costoso trabajo posterior, quedan eliminadas al emplear aceros recocidos o bonificados.

### Selección del material idóneo

Se ha dado varias alternativas de materiales adecuados para la elaboración del molde, a continuación presentaremos las opciones más recomendadas, de las cuales elegiremos la más óptima.

**Tabla 3.2 SELECCIÓN DE MATERIAL IDÓNEOS**

<b>Aceros de cementación.</b>
Aceros de temple total.
Aceros bonificados
<b>Aceros de nitruración.</b>
Aceros resistentes a la corrosión.
Acero de segunda fusión.

Debido a nuestros requerimientos y analizando las propiedades físicas y mecánicas que nos interesan se ha escogido los aceros de nitruración y aceros de cementación.

### 3.3 Tratamientos térmicos

Se conoce como tratamiento térmico el proceso al que se someten los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que la forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman los aceros sin variar la composición química de los mismos.

Tratamientos térmicos y termoquímicos del acero

El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano,

incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férricas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecido. Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro–hierro–carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos. Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. Los principales tratamientos térmicos son:

**Temple:** Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior  $A_c$  (entre 900-950°C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etcétera.

**Revenido:** Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

**Recocido:** Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

**Normalizado:** Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

Los tratamientos termoquímicos son tratamientos térmicos en los que, además de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la capa superficial, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales.

Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos están aumentar la dureza superficial de las piezas dejando el núcleo más blando y tenaz, disminuir el rozamiento aumentando el poder

lubrificante, aumentar la resistencia al desgaste, aumentar la resistencia a fatiga o aumentar la resistencia a la corrosión.

**Cementación (C):** aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

**Nitruración (N):** al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400 y 525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.

**Cianuración (C+N):** endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.

**Carbonitruración (C+N):** al igual que la cianuración, introduce carbono y nitrógeno en una capa superficial, pero con hidrocarburos como metano, etano o propano; amoníaco (NH<sub>3</sub>) y monóxido de carbono (CO). En el proceso se requieren temperaturas de 650 a 850 °C y es necesario realizar un temple y un revenido posterior.

**Sulfinitización (S+N+C):** aumenta la resistencia al desgaste por acción del azufre. El azufre se incorporó al metal por calentamiento a baja temperatura (565 °C) en un baño de sales.

Nuestro molde deberá ser nitrurado, ya que aumenta la dureza superficial propiedad que nos es de gran interés y además por el tipo de acero que se escogió anteriormente.

### 3.4 Proceso de manufactura

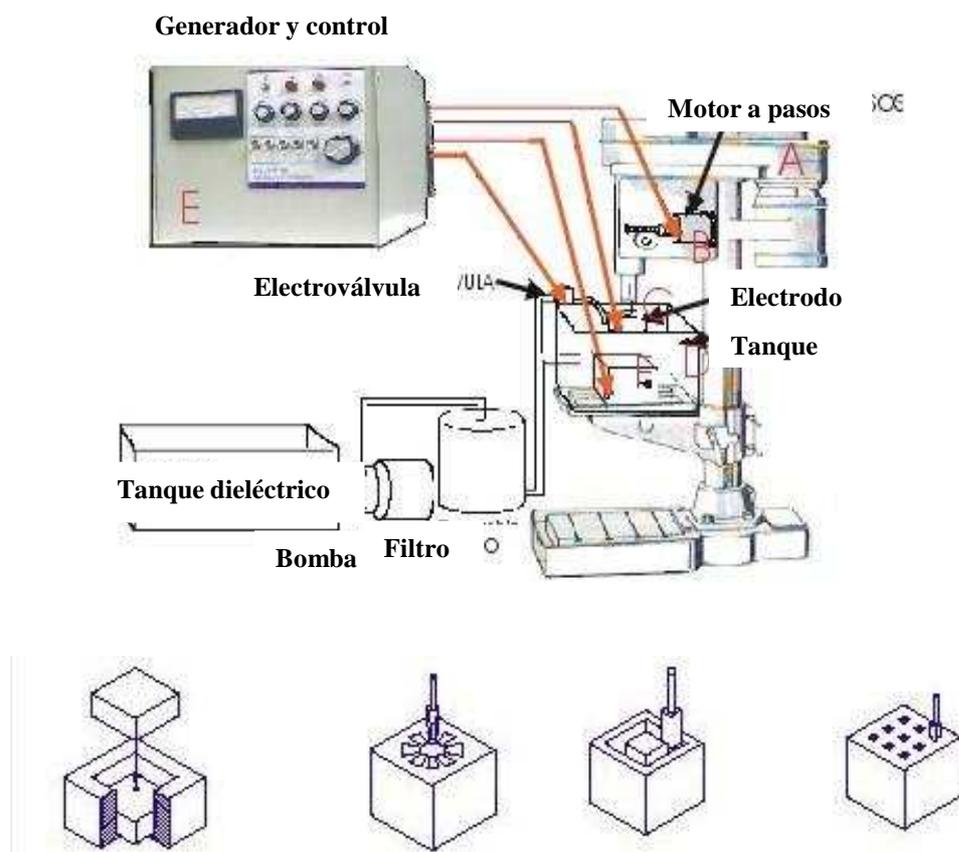
#### 3.4.1 La electroerosión [13]

La electroerosión es un proceso de conformación en el que se aprovecha el efecto de desgaste producido por descargas eléctricas breves y consecutivas, con tensiones alternas de 20V, entre el electrodo y el molde, dentro de un líquido dieléctrico (agua o hidrocarburos como petróleo, gasolina, etc.).

Mediante cada una de las breves descargas sucesivas se calienta, a la temperatura de fusión o vaporización, un volumen limitado de la pieza y del electrodo que se elimina explosivamente de la zona de trabajo mediante fuerzas mecánicas y eléctricas. Con ellos se originan cráteres en ambos

electrodos, cuyas dimensiones dependen de la energía de la chispa, que permiten distinguir entre desbastado (impulsos de gran energía) y afinado. La multiplicidad de cráteres de descarga de las superficies una estructura con concavidades, cierta aspereza y el aspecto mate característico sin líneas de elaboración orientadas, las partículas separadas son transportadas por el dieléctrico, hacia fuera de la zona de trabajo, con ayuda de un dispositivo de compresión o aspiración, quedando depositadas en el recipiente del dieléctrico.

La polaridad entre herramienta y pieza depende de los respectivos materiales y se determina de modo que la pieza sufra el máximo desgaste en volumen. Como material para electrodos, se emplean el grafito, cobre electrolítico o aleaciones de cobre-tungsteno. La ventaja especial de este proceso estriba en que con él se pueden trabajar todos los materiales conductores, independientemente de su resistencia mecánica.



**Figura 3.1** Electroerosionadora y movimiento del electrodo

### 3.4.2 Maquinado convencional

Aproximadamente el 90% de todos los moldes pueden obtenerse por mecanización. En esta modalidad de fabricación intervienen principalmente de torno, fresa y de pulido.

Las máquinas, muy frecuentemente máquinas especiales, tienen que dejar el molde prácticamente acabado, de modo que sólo sea necesario un pequeño repaso manual. Conviene que este trabajo de repaso posterior quede limitado al pulido necesario para conseguir una buena calidad de superficie. Con las máquinas y herramientas que se encuentran actualmente en el mercado, pueden elaborarse por mecanizado tanto los aceros de nitruración, de cementación y de temple completo, como los ya bonificados en estado de suministro, con resistencias de hasta  $150 \text{ kp/mm}^2$ .

Conviene señalar no obstante que los aceros se trabajan más rentablemente con resistencias de 60 a  $80 \text{ kp/mm}^2$ . Al arrancar material se originan tensiones de elaboración, o bien se liberan tensiones ya presentes en el mismo, estas pueden producir una deformación inmediatamente o durante un posterior tratamiento térmico. Por ello es aconsejable efectuar un recocido de eliminación de tensiones en el molde, después del desbastado. En el posterior afinado que generalmente no da lugar a tensiones, puede compensarse todavía una deformación eventualmente producida.

Tras el tratamiento térmico, se esmerilan y pulen los moldes para conseguir una buena superficie, la calidad superficial es en definitiva, un factor decisivo para la calidad de las piezas. Para obtener piezas correctas la superficie del molde debe ser lo más liza posible y sobretodo estar exenta de poros, también ello constituye una condición para que puedan desmoldarse bien las piezas.

Por el contrario, la superficie de los moldes para soplado se trata con choro fino de arena para conseguir una mejor aireación, simultáneamente se consigue además con ello un efecto de superficie especial en la pieza terminada (estructura de piel de naranja). Así pues, hay que prestar gran atención al tratamiento final de las superficies de los moldes de inyección. Los procesos de fabricación indicados en la tabla pueden servir como orientación respecto al modo de proceder para conseguir buenas superficies:

**Tabla 3.3** PROCESOS EN EL TRATAMIENTO

Fase de Trabajo	Operaciones	Abrasivos
Esmerilado fino	Grano 40 – 180 Grano 300 - 400 Grano 600 – 800	-Tela de esmeril, con fieltro -Pasta de carburo aplicada sobre granos de fieltro -Pasta de carburo con aceite
Pulido previo	Grano 3-10 $\mu\text{m}$	-Pasta verde de pulir, mezcla de parafina con óxido de cromo
Pulido final	Grano 0,25 - 1 $\mu\text{m}$	-Arcilla de aluminio disgregada con agua destilada en la proporción 9:1 carburo de boro y polvo de diamante,

### 3.4.3 Maquinado de alta de velocidad (MAV)

Iniciado el siglo XXI es prácticamente inimaginable la revolución experimentada por la tecnología de fabricación en los últimos 10 - 15 años. La evolución de los ordenadores, de las nuevas tecnologías de comunicación, etc. Están revolucionando el mundo en general y en particular el mundo empresarial. En el campo que nos concierne, mecanizado, *“el cambio o la revolución”* ya ha llegado y, aunque todavía queda mucho camino por recorrer, el denominado Mecanizado a Alta Velocidad (MAV) es ya una realidad que muchas empresas y mucha gente todavía desconocen.

El MAV hoy en día es una tecnología de corte con bases sólidas que abre las puertas del mecanizado de materiales y figuras que antes no se podían mecanizar mediante el mecanizado convencional, como por ejemplo: materiales con una dureza superior a 50 Hrc o paredes delgadas de 0.2 mm, etc.

**Definición:** El Mecanizado de Alta Velocidad consiste en la optimización del mecanizado con las posibilidades existentes limitado por la pieza/material a mecanizar y las herramientas-máquinas (CAD/CAM-CNC) disponibles. Esto puede suponer mecanizar a velocidades de corte entre 5 y 10 veces superiores a las que se utilizan de manera convencional para cada material.

#### Un paso hacia el mecanizado óptimo

Podemos considerar que con el Mecanizado a Alta Velocidad se ha dado un paso importante hacia el mecanizado óptimo de cada material. A medida que se vayan desarrollando y mejorando las máquinas, herramientas, los programas de CAD-CAM, los CNC, se irá avanzando hacia la optimización general del mecanizado, en el que cada material tendrá sus óptimas condiciones de corte, sus estrategias, sus herramientas, etc.

#### Ventajas que ofrece el MAV

- Disminución de las fuerzas de corte en los materiales dúctiles, posibilidad de mecanizar paredes delgadas (0,2 mm)
- Mayor precisión de los contornos , mejor calidad superficial y tolerancias dimensionales más precisas
- Reducción del tiempo de pulido
- Mecanizado de una sola atada para el desbaste y acabado
- Mecanizado de paredes finas
- Reducción del tiempo de mecanizado y coste global
- Disminución del coeficiente de rozamiento viruta-herramienta
- Evacuación casi total del calor por medio de la viruta

Aumento en la vida de la herramienta

Posibilidad de mecanizado de aceros duros (>50 Hrc) como si fuera mecanizado en caliente

### **Los CNC y El MAV**

Cuando se desarrollaron los sistemas de control numérico (CNC – Computerized Numerical Control) la idea consistía en pre planificar cada movimiento que el operario realizase, para posteriormente ejecutarlos secuencialmente de manera rápida, evitando las imprecisiones que se cometen en cualquier proceso manual. El desarrollo continuó ampliando el movimiento punto a punto a interpolaciones circulares y helicoidales, y agregando multitud de funcionalidades adjuntas.

El procesamiento de los datos en el CNC comienza por el intérprete del programa, el cual descifra el programa escrito en formato ISO de manera que pueda ser asimilado por el sistema de control y ejecutado en el interpolador. Pero antes de que los datos lleguen al interpolador es necesario realizar una serie de transformaciones como compensación de la geometría de la herramienta, escalado, rotación, cinemática de la máquina, etc. Después, el interpolador actúa enviando a los servos las consignas adecuadas.

EL CNC tiene que ser capaz de realizar las operaciones manteniendo los diferentes errores que se producen dentro de las tolerancias establecidas. Para el trabajo en alta velocidad, las exigencias son, como cabe esperar, más severas debido sobre todo a los altos valores de avance que se requieren. La forma más habitual de especificar las trayectorias que debe seguir la herramienta en una operación de mecanizado está basada en la generación de una sucesión de puntos entre los cuales se realizan interpolaciones lineales. El CAD (Computer Aided Design) permite realizar el diseño de la pieza a mecanizar como una concatenación de elementos geométricos simples, mientras que el CAM (Computer Aided Machining) define, a partir de la información CAD, la trayectoria a seguir por la herramienta para realizar el mecanizado de la pieza, siendo aquí donde se realiza la traslación de la trayectoria a puntos discretos. La serie de puntos es posteriormente cargada en el control numérico, que los ejecuta de forma ordenada.

Evidentemente, la aproximación de una trayectoria curva mediante una serie de tramos rectos entre los puntos especificados por el CAM supone una pérdida de precisión. En el caso de trayectorias con pequeño radio de curvatura, el número de puntos especificado sobre la curva, esto es, la densidad de puntos, deberá ser mayor que en el caso de trayectorias casi rectas. Sólo así se podrá mantener un grado de precisión constante a lo largo de toda la trayectoria.

De forma equivalente, un aumento en los requerimientos de precisión a lo largo de toda la superficie mecanizada obliga a especificar un mayor número de puntos en la definición de las trayectorias.



**Figura 3.2** CNC para alta velocidad

## Características de los CNC

### Tiempo de ciclo del servoaccionamiento

El tiempo de ciclo del servoaccionamiento es el tiempo que transcurre entre cada medida de posición y actualización de la consigna que el CNC envía a los diferentes servoaccionamientos.

El valor de este tiempo marca la precisión en distancia que se puede obtener para un eje moviéndose con un avance determinado, o viceversa, para una precisión o distancia mínima entre medidas determinada marca la velocidad de avance máxima. Por ejemplo, para una velocidad de avance de 6 m/ min y un tiempo de ciclo del servo de 1 ms, se tiene que por cada vez que el CNC mide la posición del eje este se ha movido 0,2 mm. Este problema de resolución obliga a que los CNC se dispongan de tiempos de ciclo del servo rápidos si se quiere trabajar con precisión con valores de avance rápidos.

El tiempo de ciclo del servo es uno de los aspectos clave a tener en cuenta para mecanizar rápido con precisión. Los CNC para alta velocidad disponen en la actualidad de tiempos de ciclo del servo del orden de unos 100ms.

La velocidad de proceso de bloque necesaria para obtener una precisión determinada depende de la capacidad de aceleración de la máquina. Reducir el tiempo de proceso de bloque a valores por debajo de la capacidad de aceleración de la máquina no reduce el tiempo de ejecución del mecanizado.

### Interface digital con los accionamientos. Accionamientos digitales

El uso de un interface digital entre el CNC y los accionamientos, permite a éste disponer de más información sobre el estado de los accionamientos así como influenciar el comportamiento de los lazos. Los accionamientos digitales permiten al CNC disponer de funciones tales como:

Algoritmos de control de alto nivel, pudiéndose destacar: Feed-forward en los lazos de posición y velocidad, también conocidos como feed-forward de velocidad y aceleración. Se trata de controles en avance que permiten una importante reducción de los errores de seguimiento ante cambios de consigna.

Amortiguación activa, consigue incrementar el valor de la amortiguación del sistema electromecánico para poder incrementar el valor de la ganancia  $K_v$  del lazo de posición y trabajar con un mayor grado de precisión.

Compensaciones de fricciones estáticas y holguras

Look-Ahead: quizás una de las prestaciones más importantes de la que es necesario que cualquier CNC disponga para trabajar en alta velocidad sea la función “look-ahead” (mirar en adelanto). En la función Look-Ahead el procesador del CNC evalúa por adelantado los cambios en los movimientos de los ejes que aparecen en el programa de pieza que se está ejecutando para responder antes de que sea demasiado tarde, permitiendo a la máquina realizar el ajuste a tiempo. Esto permite a la máquina mantener el avance a valores relativamente altos evitando marcas en el mecanizado, redondeo de aristas o bruscos arranques y paradas de la máquina, por medio de ir ajustando la velocidad mirando el programa por adelantado.

### **Control de aceleraciones**

El tener altos valores de jerk o sacudida supone fuertes cargas para la mecánica de la máquina herramienta y provoca vibraciones en los ejes. Los controles proporcionan la posibilidad de limitar el valor del jerk, lo que hace que el perfil de la aceleración no sea una constante, sino que tenga forma trapezoidal, mejorando notablemente el comportamiento de la máquina.

Con la implementación de este tipo de funciones se obtiene un doble beneficio: por un lado se reducen los esfuerzos a los que se ve sometida la mecánica de la máquina, y por otro, gracias a la reducción de vibraciones, se consiguen movimientos más suaves que permiten elevar el valor de la velocidad y reducir el error.

### **Mecanizado de moldes y matrices**

Los moldes y las matrices son, sin duda, la aplicación más amplia de la nueva filosofía del mecanizado de alta velocidad. En este sector la introducción de esta nueva tecnología significa más que comprar una nueva máquina herramienta.

En general se necesita sobredimensionar las oficinas técnicas porque como ya se ha explicado, el tiempo necesario para el CAM es claramente superior al necesario para estrategias de corte más convencionales.

En cambio la sección de electroerosión se verá reducida con toda seguridad, porque como también se ha dicho, ahora se puede mecanizar para arrancar de viruta materiales que antes eran impensables gracias a los nuevos recubrimientos de las herramientas, y también se pueden reproducir formas más complejas y con radios más pequeños gracias a la estabilidad de los nuevos cabezales y la precisión y dinámica del sistema de accionamiento. Por este mismo motivo se minimizan los tiempos siempre

incierto de pulido manual y se pueden casi eliminar los procesos de ajuste final (gracias a la precisión de la máquina y a la no- imprecisión de la mano humana).

Todo junto permite reducir los plazos de entrega y mejorar la calidad, que es el verdadero objetivo del mecanizado de alta velocidad en este sector.

### **Moldes de inyección de plásticos**

Este es el sector más amplio de los moldes. Componente de todo tipo de plásticos son múltiples y están presentes en todos los niveles de nuestras vidas. Si en cualquier ambiente nos fijamos en la cantidad de objetos hechos con plásticos, y se piensa que cada uno de esos objetos puede intervenir uno o diversos moldes de inyección de plásticos, se puede tener una idea de la potencia del sector.

Las características del molde de inyección de plásticos son tan diversas como los mismos componentes, cosa que hace difícil argumentar soluciones globales para todas las empresas del sector. Las precisiones, los acabados superficiales, etc., son muy diferentes entre un molde destinado a la fabricación de conectores telefónicos o equipamiento médico y otro destinado a parachoques de coche. La globalización, además, está abriendo todos los mercados del mundo, y por lo tanto la competencia de las industrias del molde se sitúa a menudo en países menos desarrollados donde los costes fijos y laborales son más bajos. Las industrias transformadoras todavía se sitúan cerca, por ejemplo, de los fabricantes de automóviles porque el sobre coste del transporte es demasiado caro por pieza. Pero para un molde que inyecta millones de piezas, y con los medios actuales que aseguran la calidad, las distancias no son ningún impedimento y los factores de elección de proveedores ya no son geográficos sino de, y en este orden, plazos de entrega, calidad y precios.

Nada más que con innovación tecnológica se puede, por tanto, mantener las cuotas del mercado para esta industria en nuestro país. El mecanizado de alta velocidad, es uno de los medios para resolver estos conflictos, con las siguientes estrategias:

Especialización de la industria. A la tecnología de mecanizado de alta velocidad las dimensiones, precisiones y características de los materiales son muy importantes, y dominar esta tecnología para cualquier tipo de molde se hace, casi siempre inviable. Se requiere, por tanto, especialización en un tipo y dimensión de molde que obliga a menudo a sobrepasar fronteras si se quiere aumentar la producción (globalización). Esta realización implica también la subcontratación de faenas auxiliares, que a la vez serán especializaciones de otras empresas del sector (por ejemplo, la fabricación de portamoldes y otros normalizados).

Adopción de métodos de fabricación automáticos sin presencia de operadores. Los costos laborales serán siempre más bajos en otras partes del mundo y se ha de intentar reducirlos. Las máquinas de alta velocidad son más caras pero, en general, mucho más pensadas para la operación automática. Además las estrategias de mecanizado de alta velocidad intentan ya hacer constantes las condiciones de corte, evitando así rotura de herramientas.

Redefinición de las etapas de la fabricación simplificándolas y haciendo más fácil su planificación y control. La reducción de los procesos de electroerosión, siempre que sean posibles, son fundamentales para el ahorro de tiempo en el mismo tiempo de electroerosión y en el de fabricación de electrodos de cobre o grafito, que no aportan beneficio al molde. Los únicos elementos que todavía continuaran siendo propiedad de la electroerosión son las esquinas con radios muy parecidos a 0 y las ranuras muy profundas (pensemos que con mecanizado de alta velocidad se llegan a hacer ranuras con esbeltez profundidad / anchura = 15).

También en muchos casos, reducción de los tiempos de fabricación por la posibilidad de mecanizar directamente los bloques de acero templado desde el desbaste hasta el acabado y ahorrarse así los tratamientos térmicos intermedios. Estos procesos están siempre sujetos a condicionamientos económicos, pero si se consideran todos los factores involucrados es a menudo muy ventajoso.

La rapidez de los procesos de alta velocidad permiten hacer pasadas de mecanizado mucho más pequeñas mejorando en 4 o 5 veces los acabados superficiales con un tiempo de mecanizado parecido o ligeramente mayor, Así permite reducir los procesos manuales de pulido, ahorrando mano de obra muy cara. El mecanizado de alta velocidad puede llegar a producir acabamientos superficiales de  $R_a = 0,1$  mm y mejores, superando los límites de las erosiones en tiempos considerablemente mejores y sin necesidad de producción de electrodos.

La precisión estática y dinámica de las nuevas máquinas de alta velocidad, y la presencia mínima de operaciones manuales permiten muchas veces eliminar los procesos de ajuste de moldes, que

#### **2.4.4 Pulidos y acabados**

Existen reglas básicas que nos ayudaran a obtener un buen resultado en cuanto al acabado del producto.

**Mecanizado.-** desde el mecanizado se puede ir orientando la superficie del material hacia un pulimento más fácil en operaciones siguientes; una herramienta o buril mal afilado producirá rayas y ranuras profundas que demandarán mayor trabajo de pulido.

Por esto es muy importante que el último paso de mecanizado se haga con una herramienta afilada a precisión y de ser posible pulida con diamante. El acabado de la herramienta se traslada a la superficie.

**Lapidado.- (pulido a piedra)** el siguiente paso es pulir con piedra abrasiva, ya sea de carburo de silicio, de óxido de aluminio o una mezcla de las dos. Últimamente las piedras de carburo de silicio tienen más aceptación porque se desgastan uniformemente y el acabado es más consistente. Un buen consejo es remojar las piedras previamente a su uso en kerosene por lo menos durante una hora, incluso es preferible dejarlas siempre guardadas en recipientes con kerosene separadas según el grano, una malla colocada en el fondo protegerá a las piedras de los contaminantes que se asientan en el mismo.

Los granos más utilizados en el pulimento de moldes y matrices son: 150, 240, 320, 400 y 600, el grano 900 se utiliza para pulido final cuando la exigencia de pulido no amerita el uso de diamante. Existen también varias calidades de piedra dependiendo del estado de la superficie a pulir: Erosionada, tratada térmicamente, formas intrincadas. Nunca se deben almacenar las piedras revueltas sin tener en cuenta el grano y la calidad.

Antes de enviar a tratamiento térmico una pieza no se debe pulir más allá de grano 400, es una pérdida de tiempo ya que debemos repetir ese pulimento después del tratamiento térmico hasta acabado final, excepto cuando se trata de nitruración en cuyo caso se entrega la pieza totalmente pulida a condiciones finales.

En aceros duros se recomienda utilizar piedra 150, 320 y 600; en aceros suaves 320 y 600, claro está dependiendo de cómo venga la superficie de mecanizado. Cuando se desgasta con piedra se recomienda usar movimientos en una sola dirección con cada grano, cuando se cambia de grano lavar bien la pieza y usar movimientos a 45° o 90° de las líneas del grano anterior y así sucesivamente con cada cambio de grano, de esta manera logramos: desgastar más rápido y ver fácilmente cuando se han quitado todas las líneas del paso anterior para continuar con el siguiente. Se pueden utilizar otras combinaciones de grano pero por regla general no se deben saltar más de dos granos entre cada paso, de lo contrario la operación toma más tiempo y el producto es de inferior calidad. Los mejores acabados se producen cuando todos los pasos de abrasión y pulido se arreglan en secuencia para completar el trabajo lo más pronto posible.

**Pulido con Diamante.-** si el acabado con piedra no es suficiente para lograr la exigencia del producto, el siguiente paso es pulir con diamante, se trata de compuestos de diamante industrial cuidadosamente granulométricos que completan la escala de abrasivo a tamaños más finos y duros para obtener superficies mejor acabadas. Estos compuestos vienen en varias presentaciones y sus referencias

pueden variar de un fabricante a otro pero por regla general cumplen con un establecido de color y grano para identificación por ejemplo:

**Tabla 3.4** COMPUESTOS GRANULOMÉTRICOS

Micrón	Color	Mallas aprox.
90	Negro	170
45	Café	320
30	Rojo	600
15	Azul	1200
9	Verde	1800
6	Naranja	3000
3	Amarillo	8000
1	Marfil	14000
1/2	Gris Claro	60000

Aunque la granulometría de una piedra 320 es igual a la del compuesto de diamante 45, el diamante produce una superficie de reflexión más alta que el abrasivo de carburo de silicio, aunque la profundidad de las líneas sea casi igual, por eso algunos usuarios prefieren desgastar desde los primeros pasos con diamante de grano grueso (90 ó 170 micrones).

En moldes para plástico por regla general se asocia el uso de diamante con los pasos finales del pulimento, por eso se acostumbra pasar de la piedra 600 al diamante 15, luego al 9 y finalmente al 6 el cual da un acabado espejo aceptable para la mayoría de moldes de inyección. Cuando se desea un acabado todavía más fino se puede eliminar el grado 15 y aumentar el grado 3. Esta combinación es solo a manera de ejemplo, en la práctica existen variables que hay que considerar, una de ellas muy importante y que trataremos separadamente es el material del que esté hecho el instrumento de pulir de cuya dureza depende hacer mayor o menor el efecto agresivo de desgaste del diamante y así lograr resultados diferentes aún con el mismo grado de diamante.

El pulido de moldes y matrices a diferencia del pulido de hileras de trefilación, es una operación fundamentalmente manual, pero se han desarrollado algunos equipos con la finalidad de hacer menos tedioso y fatigante el trabajo de pulimento, estos equipos van desde simples motores de giro y/o vaivén hasta sofisticadas centrales de pulido por ultrasonido con herramental especialmente diseñado para el caso, sin embargo cualquiera de estos equipos debe ser guiado por la mano del operario y éste determina en base a su experiencia las etapas, direcciones y tipo de abrasivo a utilizar, sin embargo casi siempre se hace un último paso a mano con instrumento de pulir suave (algodón o papel seda), para eliminar las marcas que pudo haber dejado el pulido motorizado.

Los compuestos de diamante que se usan deben ser siempre de alta calidad y de una apropiada concentración para obtener los resultados más eficientes. El calor generado y la acumulación de partículas de desgaste en el área de pulido, dificulta y retarda la labor y pueden ser origen de nuevas rayas indeseables, por eso es importante utilizar un lubricante que aparte de refrigerar la zona, cumple con el propósito de mantener en suspensión esas partículas como en una bolsa de aspiradora evitando que interfieran el punto de contacto y que se cargue o “entrape” demasiado la herramienta. El lubricante deberá ser compatible con el compuesto de diamante y se debe agregar en cantidad suficiente de tal manera que permanezca negra y mojada el área que se está puliendo.

Otro aspecto muy importante es la limpieza y aislamiento de la zona de trabajo, se debe contar con un cuarto limpio, con condiciones estables de humedad y temperatura y aire limpio. Las máquinas herramientas como tornos, fresadoras, erosionadoras, esmeriles etc., contaminan el aire con infinidad de partículas y arenilla, no es necesario explicar el efecto de este ambiente sobre un área que estamos puliendo a espejo. De la misma manera cada instrumento de pulir que haya sido utilizado con un grado de diamante debe guardarse separado de otros instrumentos utilizados con otro grado de diamante, en otras palabras cada grado de diamante tiene sus propios y únicos instrumentos de pulir.

**Instrumentos de pulir.**- para pulir con diamante es necesario adecuar unos utensilios que hacen las veces de porta-diamante, es decir donde se van a alojar las partículas de diamante para desgastar desde allí la superficie a pulir, por eso generalmente estos instrumentos deberán ser más suaves que el material que se está puliendo para que el diamante se incruste parcialmente dentro de él y no dentro de la superficie de trabajo. El resultado será un instrumento “cargado” con diamante el cual va a friccionar y desgastar al material.

En instrumentos de pulir existe gran variedad y total libertad para su elección todo depende de la disponibilidad, de la costumbre, y de la etapa en que se encuentre el pulido; se usan: hierro fundido de alta calidad, arce, fórmica, pino, madera de naranjo, guayacán, balsa, fieltro, algodón, papel, a estos instrumentos se les dará la forma que deseamos de acuerdo a la geometría de la pieza que vamos a pulir, como es obvio se utilizarán en grado de dureza dependiendo el efecto que busquemos: entre más duro el instrumento de pulir, se logra un mayor desgaste pero también un acabado inferior y entre más blando menos desgaste pero mejor pulimento.

En los primeros pasos utilizaremos entonces: instrumento de pulir duro con diamante grueso y al final instrumentos blandos con diamante fino. Se busca desgastar lo más rápido posible la superficie ya que así se mantiene mejor el aplanado de la misma y se le causa menos daño.

Los instrumentos de pulir con diamante deben ser únicos y propios para cada grado de abrasivo igualmente deben guardarse separadamente por grado, evitando su contaminación, con el tiempo se van impregnando cada vez más de diamante volviéndose más efectivos, cuando se noten demasiado “cargados” deben lavarse suavemente para ser reutilizados. Es conocido que la calidad superficial requerida en los moldes y troqueles es muy elevada.

## CAPÍTULO IV

### 4. LOS SISTEMAS CAD <sup>17</sup>/CAM<sup>18</sup> /CAE<sup>19</sup> EN EL DISEÑO DE MOLDES.

#### 4.1 Sistemas CAD Y CAM para moldes de inyección [7]

La automatización de los procesos industriales a través de los años ha dado lugar a un avance espectacular de la industria. Todo ello ha sido posible gracias a una serie de factores entre los que se encuentran las nuevas tecnologías en el campo mecánico, la introducción de los computadores, y sobre todo el control y la regulación de sistemas y procesos. La incorporación de los computadores en la producción es, sin lugar a dudas, el elemento puente que está permitiendo lograr la automatización integral de los procesos industriales.

La aparición de la microelectrónica y de los microprocesadores ha facilitado el desarrollo de técnicas de control complejas, la robotización, la implementación de sistemas de gobierno y la planificación.

Todos estos elementos llevan consigo la reducción de costos, el aumento de la productividad y la mejora de calidad del producto. Ambas siglas provienen de su denominación en inglés. Para diseñar usaremos el C.A.D. (Computer Aided Design), mientras que para la fabricación se emplea el C.A.M. (Computer Aided Manufacturing).

El diseño y fabricación con ayuda de computador, comúnmente llamado CAD/CAM, es una tecnología que podría descomponerse en numerosas disciplinas pero que normalmente, abarca el diseño gráfico, el manejo de bases de datos para el diseño y la fabricación, control numérico de máquinas herramientas, robótica y visión computarizada.

Históricamente los CAD comenzaron como una ingeniería tecnológica computarizada, mientras los CAM eran una tecnología semiautomática para el control de máquinas de forma numérica. Pero estas dos disciplinas se han ido mezclando gradualmente hasta conseguir una tecnología suma de las dos, de tal forma que los sistemas CAD/CAM son considerados, hoy día, como una disciplina única identificable.

---

*17 CAM.*-Manufactura asistida por computadora.

*18 CAD.*- Diseño asistido por computadora.

*19 CAE.*-Ingeniería asistida por computadora.

La evolución del CAD/CAM se describe en lo siguiente:

#### Sistemas PIS. (Sistema de información de Imágenes)

Un sistema de este tipo es una forma especial de sistema de información que permite la manipulación, almacenamiento, recuperación y análisis de datos de imágenes. La lista de nuevas aplicaciones dentro del procesamiento digital de imágenes ha crecido al incluir CAD interactivo, procesamiento de datos geográficos, sensores remotos para estudiar los recursos de la tierra, procesamiento de datos relativos a economía agrícola, aplicaciones a la cartografía y a la realización de mapas.

#### Análisis de imágenes variables en el tiempo. (Sistemas CATVI)

Los CATVI comprenden métodos y técnicas de procesamiento de imágenes variables en el tiempo, con el fin de encontrar diferencias entre las secuencias de una escena, transmitida por un sensor de visión y almacenadas en un computador, y que son causados por el movimiento de objetos o del sensor.

#### Sistemas FMS. (Sistema de Fabricación Flexible)

La arquitectura de la red de ordenadores en un FMS es jerárquica con tres niveles de operación. Un computador, maestro o principal, ejerce el control del sistema de computadores, el segundo nivel de computadores subordinados al principal se denomina Módulo de Control Numérico, el cual supervisa las operaciones de la máquina-herramienta. El nivel más bajo de control por ordenador es el sistema de Control Numérico Computarizado el cual está directamente relacionado con la máquina-herramienta.

#### Sistemas AM. (Fabricación Autónoma)

Los Sistemas AM están relacionados con las metodologías de tomas de decisión necesarias para la planificación y el control. Los AM pueden descomponerse en dos niveles, la Fábrica y la Célula de fabricación.

#### Sistemas ISIS. (Sistema de Inteligencia Artificial)

Es un sistema de Inteligencia Artificial capaz de solucionar el problema de cómo construir de forma precisa en el tiempo adecuado, los inventarios reales y manejarlos en el ambiente de una empresa.

#### Células transportables.

Es un sistema diseñado para usar una gran variedad de máquinas (cada una de las cuales se comunica con el sistema en diferentes lenguajes), coordinarlas y operar con ellas sin fallos.

Los sistemas CAD se construyen sobre modeladores de sólidos concretos e interactúan con ellos. La mayoría de modeladores de sólidos proporcionan herramientas para manipular e interrogar a los modelos que, desafortunadamente, no son estándar sino que están fuertemente ligados al modelador.

Es habitual que no todos los participantes en el diseño y fabricación de un producto utilicen el mismo software, por lo que esta heterogeneidad, no transparente a los diferentes sistemas, resulta negativa a la hora de analizar el sólido de una forma independiente del modelo utilizado. Por esta razón se han planteado procesos de análisis de la información del sólido no sujetas al modelo con que fue creado, que extraen y almacenan la información necesaria del sólido de forma específica. A continuación mencionaremos algunos paquetes de CAD que nos ofrecen estas ventajas:

**CADDs:** Incorpora un módulo de diseño de moldes denominado DISMOL, desarrollado por CIMTEK, que permite la disposición automática de elementos normalizados y realiza el análisis de posibles interferencias entre elementos e incongruencias en los diseños.

**PRO-ENGINEER** (módulo PRO-MOLDESIGN): ofrece ciertas ayudas en cuanto al diseño de la pieza: obtención de planos de partición en casos elementales, ángulos de desmoldeo y análisis de interferencias, además de una librería de elementos normalizados para moldes.

**EUCLID** - Matra Datavision (módulo MOLDMAKER): dispone de herramientas de diseño de elementos constitutivos de la pieza moldeada: nervios, refuerzos, chimeneas de alojamiento de tornillos, rejillas, etc., y una biblioteca de elementos normalizados (DME, Hasco, Futaba, Regba, Rabourdin, EOC, Strack), pero no tiene herramientas de decisión en la elección de estos elementos.

**CADDY:** posee una librería de símbolos, según normativa DIN, de aplicaciones de mecánica, electricidad, electrónica, arquitectura, etc., que incluye elementos normalizados para moldes.

Módulos desarrollados por fabricantes de elementos normalizados. Son únicamente librerías o catálogos electrónicos de elementos. Destacan: LOGIMOULE: (de la firma Rabourdin), CAMold (de la firma DME), Hasco, y Normalizados A.C.

**Autocad** es un software que ofrece modelación de productos en 2D y 3D útil para ingeniería y diseño. Su desarrollo inteligente dibuja todo tipo de bosquejo, disminuyendo tiempo y optimizando procesos.

**SolidWorks** es un software de automatización de diseño mecánico que aprovecha la conocida interfaz de usuario gráfica Microsoft® Windows. Esta herramienta de fácil aprendizaje hace posible que los diseñadores mecánicos croquicen con rapidez sus ideas, experimenten con operaciones y cotas, y produzcan modelos y dibujos detallados. En este capítulo se describen algunos de las funcionalidades y términos básicos que se utilizan en el software SolidWorks. Asimismo, se proporciona una perspectiva general de los temas siguientes: SolidWorks® es un software de automatización de diseño mecánico que

aprovecha la conocida interfaz de usuario gráfica Microsoft® Windows®. herramienta de fácil aprendizaje hace posible que los diseñadores mecánicos croquicen con rapidez sus ideas, experimenten con operaciones y cotas, y produzcan modelos y dibujos detallados

**Solid Edge Mold Tooling Solid Edge Mold Tooling de UGS PLM Solutions** es un paquete de accesorios integrado para Solid Edge Classic que establece un potente flujo de trabajo gradual para el diseño de moldes de inyección de plástico. Solid Edge Mold Tooling permite un considerable ahorro de tiempo potencial al eliminar gran parte de las repeticiones habituales en el diseño de fabricación de moldes, lo que le deja tiempo libre para realizar tareas más importantes. Solid Edge Mold Tooling le permitirá realizar sus diseños de moldes más rápido y con un coste inferior mediante la creación de cavidades y núcleos precisos; permite también una amplia variedad de bases de moldes estándar del sector y la generación automatizada de todos los componentes necesarios.

**Rhinoceros** es un modelador 3D de formas libres que puede usarse para crear cualquier forma, desde una válvula para el corazón hasta el casco de un barco, desde un ratón hasta un monstruo

### **Sistemas CAM.**

La ingeniería CAM hace referencia concretamente a aquellos sistemas informáticos que ayudan a generar los programas de Control Numérico necesarios para fabricar las piezas en máquinas con CNC. A partir de la información de la geometría de la pieza, del tipo de operación deseada, de la herramienta escogida y de las condiciones de corte definidas, el sistema calcula las trayectorias de la herramienta para conseguir el mecanizado correcto, y a través de un post procesado genera los correspondientes programas de CN con la codificación específica del CNC donde se ejecutarán. En general, la información geométrica de la pieza proviene de un sistema CAD, que puede estar o no integrado con el sistema CAM. Si no está integrado, dicha información geométrica se pasa a través de un formato común de intercambio gráfico. Como alternativa, algunos sistemas CAM disponen de herramientas CAD que permiten al usuario introducir directamente la geometría de la pieza, si bien en general no son tan ágiles como las herramientas de un sistema propiamente relacionado con estos.

Algunos sistemas CAM permiten introducir la información geométrica de la pieza partiendo de una nube de puntos correspondientes a la superficie de la pieza, obtenidos mediante un proceso de digitalizado previo. La calidad de las superficies mecanizadas depende de la densidad de puntos digitalizados. Si bien este método acorta el tiempo necesario para fabricar el prototipo, en principio no permite el rediseño de la pieza inicial. Estos software se acoplan con los programas de cada máquina herramienta para lograr el enlace y transferencia de datos a las máquinas de control numérico. A continuación mencionares algunos CAM para la manufactura de piezas:

- **VisualMill** es un software que genera la programación y por ende el recorrido de mecanizado para la manufactura de la pieza, en la que integra programación, simulación del corte del objeto a mecanizar. VisualMill ofrece superficies sólidas en la que la tecnología del mecanizado acopló con capacidad de simulación y verificación de la herramienta en el hardware que se va a utilizar. Estas características permiten que el proceso se optimice con la selección de la herramienta adecuada. Va relacionada directamente con los sistemas de CAD/CAM para su simulación y transferencia de datos para las CNC y garantizando el mecanizado de la pieza.
- **PowerMill** es un software que permite importar sólidos y superficies de modelos de CAD que usa las últimas técnicas del mecanizado en 3D para generar el recorrido de la herramienta. En estas simulaciones puede verificarse si el recorrido es el adecuado. Antes de la transferencia de datos, usted puede verificar el programa para CNC completo en pantalla y utilizar la simulación del mecanizado en perspectivas diferentes. La exactitud de la mecanizada producida por PowerMill está limitada por la exactitud de la lectura del elemento a mecanizar en el programa. Por consiguiente, es esencial que el modelo original se produzca a una tolerancia adecuada.

#### **4.1.1 Los sistemas CAD Y CAM para la construcción de moldes.**

La integración total entre el CAD y el CAM permite simplificar notablemente los procesos constructivos. Durante la preparación del mecanizado, SolidWorks–CAD permite de forma muy fácil la extensión de superficies, definición de puntos de taladro, tapado de agujeros, extracción de curvas y contorno de resto de material para la creación automatizada de electrodos.

Sólo se tarda unos pocos minutos en analizar ángulos de salida, radios, superficies planas, alturas y realización de secciones dinámicas que permiten validar rápidamente la factibilidad de la pieza.

Frecuentemente se producen y se reciben modificaciones en la geometría de la pieza. Por ello, SolidWorks–CAD incluye funciones que comparan dos ficheros automáticamente en búsqueda de sus diferencias, que se visualizan en capas de distintos colores. Esto permite evitar errores y aporta máxima rapidez y fiabilidad.

En el caso para la Separación Macho–Cavidad para los moldes, el programa en pocos minutos y simplemente seleccionando las superficies deseadas se puede separar automáticamente el macho de la cavidad en todo tipo de piezas. Es posible aplicar factores de escala individuales a los ejes X, Y y Z de una pieza. Esta función se usa por ejemplo al crear electrodos.

Incluye todas las funciones necesarias para la modelización de elementos activos como superficies de junta, cortes para moldes de soplado, extensión tangencial de superficies, recorte y modificación, creación de electrodos, etc.

#### **4.2 Los sistemas de CAE aplicados al diseño de matrices.**

Bajo el nombre de ingeniería asistida por computador (Computer Aided Engineering) se agrupan habitualmente tópicos tales como los del CAD y la creación automatizada de dibujos y documentación. Es necesario pasar la geometría creada en el entorno CAD al sistema CAE. En el caso en que los dos sistemas no estén integrados, ello se lleva a término mediante la conversión a un formato común de intercambio de información gráfica. Sin embargo, el concepto de CAE, asociado a la concepción de un producto y a las etapas de investigación y diseño previas a su fabricación, sobre todo cuando esta última es asistida o controlada mediante computador, se extiende cada vez más hasta incluir progresivamente a la propia fabricación. Podemos decir, por tanto, que la CAE es un proceso integrado que incluye todas las funciones de la ingeniería que van desde el diseño propiamente dicho hasta la fabricación.

Antes de la aparición de los paquetes de diseño, los diseñadores solo contaban con su ingenio y un buen equipo de delineantes que transportaban al papel sus ideas con un cierto rigor. Es quizás, por este motivo, por el que los primeros paquetes de diseño surgieron como réplica a estos buenos dibujantes, con la ventaja de la facilidad de uso, edición y rapidez.

Conforme el hardware evolucionaba y disminuían los costes de los equipos, los programas eran más rápidos y las bases de datos de mayor tamaño, fue apareciendo un fenómeno de insatisfacción en los usuarios, un buen programa de dibujo no bastaba, era necesario un sistema que diseñara el producto desde el principio (boceto) hasta el final (pieza terminada), siguiendo unas reglas de diseño.

Para realizar la ingeniería asistida por computador (CAE), se dispone de programas que permiten calcular cómo va a comportarse la pieza en la realidad, en aspectos tan diversos como deformaciones, resistencias, características térmicas, vibraciones, etc.

Usualmente se trabaja con el método de los elementos finitos, siendo necesario mallar la pieza en pequeños elementos y el cálculo que se lleva a término sirve para determinar las interacciones entre estos elementos.

Mediante este método, por ejemplo, se podrá determinar qué grosor de material es necesario para resistir cargas de impacto especificadas en normas, o bien conservando un grosor, analizar el

comportamiento de materiales con distinto límite de rotura. Otra aplicación importante de estos sistemas en el diseño de moldes es la simulación del llenado del molde a partir de unas dimensiones de éste dadas, y el análisis del gradiente de temperaturas durante el llenado del mismo.

La realización de todas estas actividades CAE dependerá de las exigencias del diseño, y suponen siempre un valor añadido al diseño al detectar y eliminar problemas que retrasarían el lanzamiento del producto. En resumen, los sistemas CAE nos proporcionan numerosas ventajas que mencionaremos a continuación:

- Facilidad, comodidad y mayor sencillez en la etapa de diseño.
- Rapidez, exactitud y uniformidad en la fabricación.
- Alto porcentaje de éxito.
- Eliminación de la necesidad de prototipos.
- Aumento de la productividad.
- Productos más competitivos.
- Fácil integración, sin problemas adicionales, en una cadena de fabricación.
- Se obtiene un producto económico, de óptima calidad y en el menor tiempo posible.

### **Sistemas CAE en SolidWorks**

La herramienta básica COSMOSXpress es una aplicación de SolidWorks de validación de diseño que permite predecir, mediante el análisis por elementos finitos (FEA), el comportamiento mecánico de una pieza por análisis de esfuerzo.

Su aplicación sirve para conocer los efectos de las fuerzas aplicadas sobre su modelo y descubrir si la pieza llegará a romper o cómo se derramará. De esta forma es posible optimizar diseños rápidamente mediante simulaciones por ordenador sin necesidad de hacer prototipos físicos y pruebas de campo que encarecen el proyecto e incrementan el tiempo de enlazamiento del producto.

La aplicación del análisis de esfuerzos se realiza mediante un proceso rápido en cinco etapas. Debe seleccionar el tipo de material, las restricciones de movimiento y las cargas, además de ejecutar el análisis y finalmente de visualizar resultados.

COSMOSXpress emplea análisis elástico, basado en el método de elementos finitos, con el fin de determinar los desplazamientos, deformaciones unitarias y las tensiones del modelo en función de las cargas, restricciones y tipo de material.

La herramienta MoldflowXpress es una aplicación exclusiva de SolidWorks de validación de diseño que permite predecir mediante la Simulación por elementos finitos al igual que el COSMOSXpress, su aplicación servirá para conocer si la ubicación del punto de inyección es la correcta en función de la geometría de la pieza, el tipo de polímero seleccionado y las condiciones de procesamiento (temperatura de fusión, temperatura de moldeo y tiempo de llenado).

## CAPÍTULO V

### 5. DISEÑO Y CÁLCULO DEL MOLDE DE TAPAS DE GAS DE USO DOMÉSTICO

#### 5.1 Análisis de resistencia mecánica

Antes de empezar con el cálculo del molde, debemos considerar tres puntos fundamentales:

Forma y configuración de la pieza.

Material del molde más adecuado.

Diseño y economía del molde.

La producción de cualquier objeto moldeado con material plástico siempre relaciona y asocia el molde con la máquina de moldeo.

A continuación se realiza el cálculo de la fuerza total que se ejerce en molde

*Datos:*

<b>Presión de la máquina de inyección</b>	<b>100 bares</b>
<b>Presión de inyección</b>	<b>75 bares</b>
<b>Peso del molde</b>	<b>40 kg</b>
<b>Área del molde</b>	<b>306 cm<sup>2</sup></b>

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

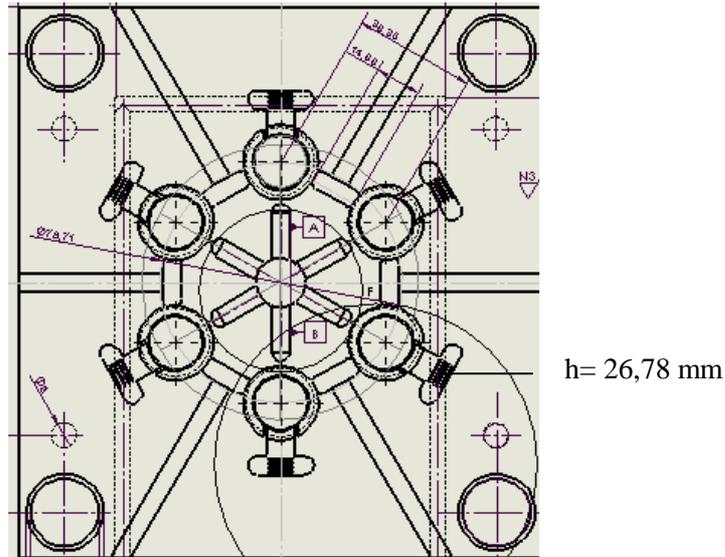
$$F = P * A$$

$$F = 75 \text{ bar} * 306 \text{ cm}^2 * \frac{14,5 \text{ lb}}{1 \text{ bar} * \text{plg}^2} * \frac{1 \text{ plg}^2}{6,452 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ lb}}$$

$$F = 23444,10 \text{ kgf}$$

#### Deflexión máxima de la placa

La deflexión se calculó en la placa porta hembras debido a que las cavidades de las mismas están sometidas a grandes presiones y son las más propensas a fisuras a causa de la presión de inyección.



**Figura 5.1** Distribución de la placa porta molde

La presión interna de las cavidades está dada por:

$$P_{interna} = \frac{F}{A}$$

$$Fuerza = L * b * P \quad (2)$$

De donde  $h = 26,78$  mm es la distancia de la cavidad al borde de la placa,  $b = 41$  mm es el espesor y  $L$  es el perímetro de la cavidad y está dada por:

$$L = 2 * \pi * r \quad (3)$$

$$L = 69,11 \text{ mm}$$

La presión de inyección del molde alcanza 75 bares, por lo cual sobre la pared interna de la cavidad existe una fuerza total de:

$$F = 69,11 \text{ mm} * 41 \text{ mm} * 7,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F = 21,25 \text{ kN}$$

Se considera como una viga estáticamente indeterminada a más de las condiciones de equilibrio estático se necesita las deformaciones, como la presión se reparte uniformemente se puede encontrar el momento máximo de flexión y la flecha en el centro de la viga:

$$M_f = \frac{P * L}{24} = \frac{21,25 \text{ kN} * 69,11 \text{ mm}}{24} \quad (4)$$

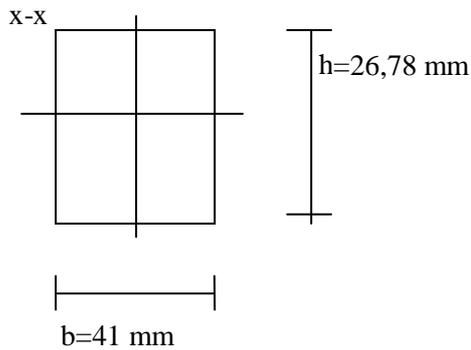
$$M_f = 61,19 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

Flecha

Módulo elástico del acero AISI =  $210 \text{ kN/mm}^2$

$$f_c = \frac{1}{384} * \frac{P * L^3}{E * J} \quad (5)$$

El momento de inercia para una viga de sección rectangular respecto al eje neutro es:



$$J = \frac{b * h^3}{12} \quad (6)$$

$$J = \frac{41 \text{ mm} * 26,78^3 \text{ mm}^3}{12}$$

$$J = 787436,55 \text{ mm}^4$$

Remplazando los datos en la ecuación (5) tenemos:

$$f_c = \frac{0,0026 * 21,25 \text{ kN} * 69,11^3 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^2}{210 \text{ kN} * 787436,55 \text{ mm}^4}$$

$$f_c = 0,00011 \text{ mm}$$

La comprobación de los esfuerzos aquí realizados sobre las placas con la cavidad rectangular cuando se inyecta el material fundido, se completa calculando el esfuerzo de tensión a la flexión en la pared ya considerada en los cálculos anteriores.

El módulo de resistencia de la sección transversal está dada por:

$$W = \frac{b * h^2}{6} = 490 \text{ mm}^3 \quad (7)$$

El esfuerzo máximo ocurre en los puntos más alejados del eje neutro y está dada por:

$$\sigma = \frac{Mf}{W} \quad (8)$$

Mf en la mitad de la viga: 61,69 kN.mm

Mf en A y B = 2 \* 61,69 kN=123,38 kN.mm

En la mitad de placa:

$$\sigma = \frac{61690 N \cdot mm}{490 mm^3} = 125,8 N/mm^2$$

En los extremos fijos:

$$\sigma = \frac{123,38 kN \cdot mm}{490 mm^3} = 251,8 N/mm^2$$

Si se considera que el acero especial M238 utilizado para fabricar la placa de las cavidades tiene un esfuerzo de tensión a la rotura de 950 – 1100 N/mm<sup>2</sup>, el valor del esfuerzo calculado nos permite tener el siguiente margen de seguridad:

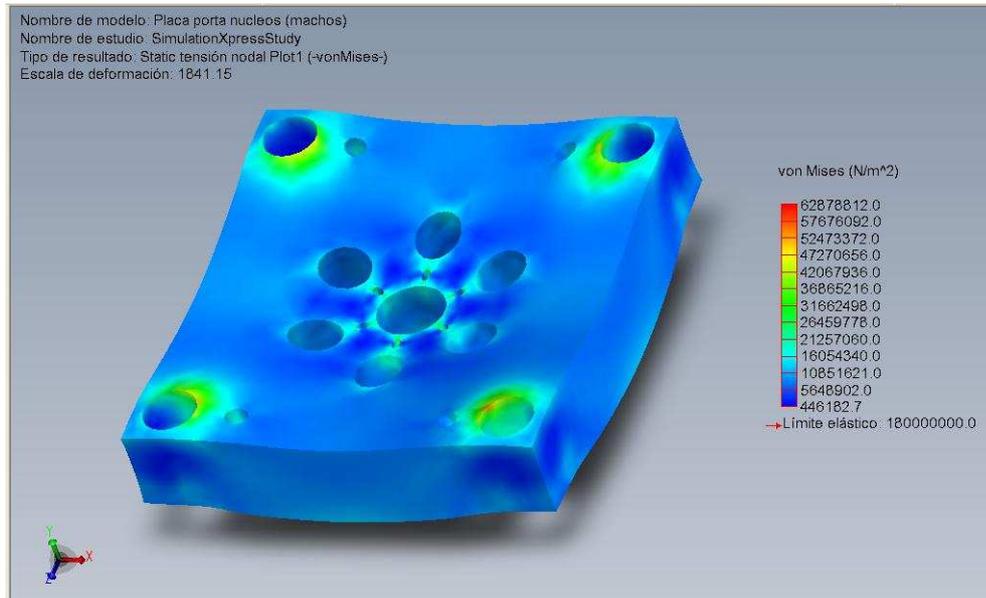
$$\text{Factor de seguridad en C} = \frac{\sigma_b}{\sigma} = \frac{950}{125,8} = 7,5 \quad (9)$$

$$\text{Factor de seguridad en los extremos} = \frac{\sigma_b}{\sigma} = \frac{950}{251,8} = 3,77$$

En realidad, la placa de la cavidad no está sometida a una flexión estática sino a una flexión alternada debido a que en cada ciclo de moldeo la placa se flexiona cuando el material fundido se inyecta a presión, para después adquirir la dimensión original.

Esta flexión se repite muchas veces al día en función del ciclo por lo que se puede considerar un esfuerzo a la fatiga. A continuación mediante la aplicación de COSMOSXpress podemos analizar a cada una de las placas para observar las zonas críticas que presentan las mismas a continuación:

### Distribución de Tensiones en Placa porta Machos



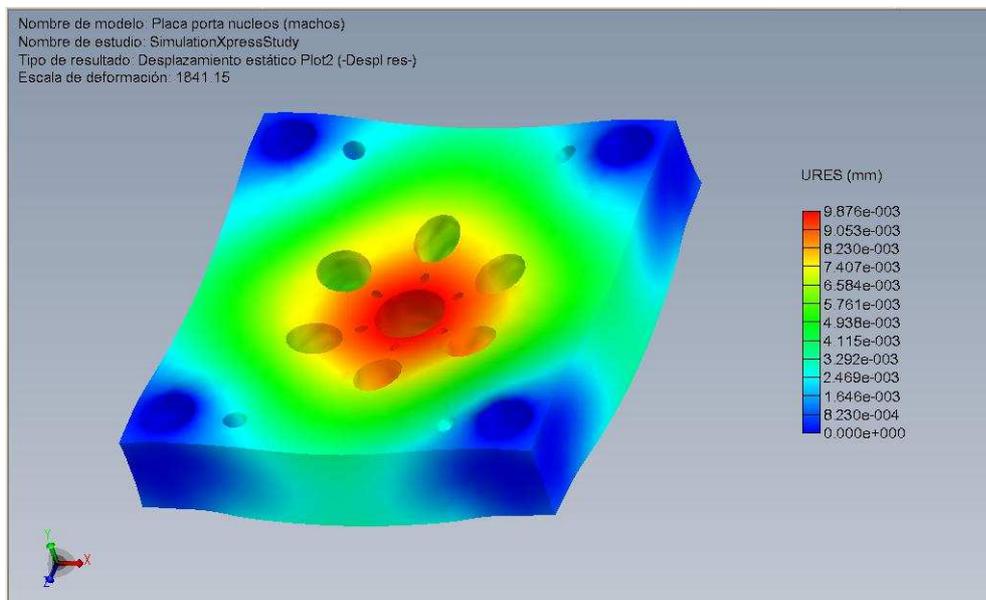
Distribución de tensiones en el molde, material AISI 1010 Limite elástico 180000000.0 N/m<sup>2</sup>.

Máximo valor de tensión 62676612 N/m<sup>2</sup>

Factor de seguridad 3,52

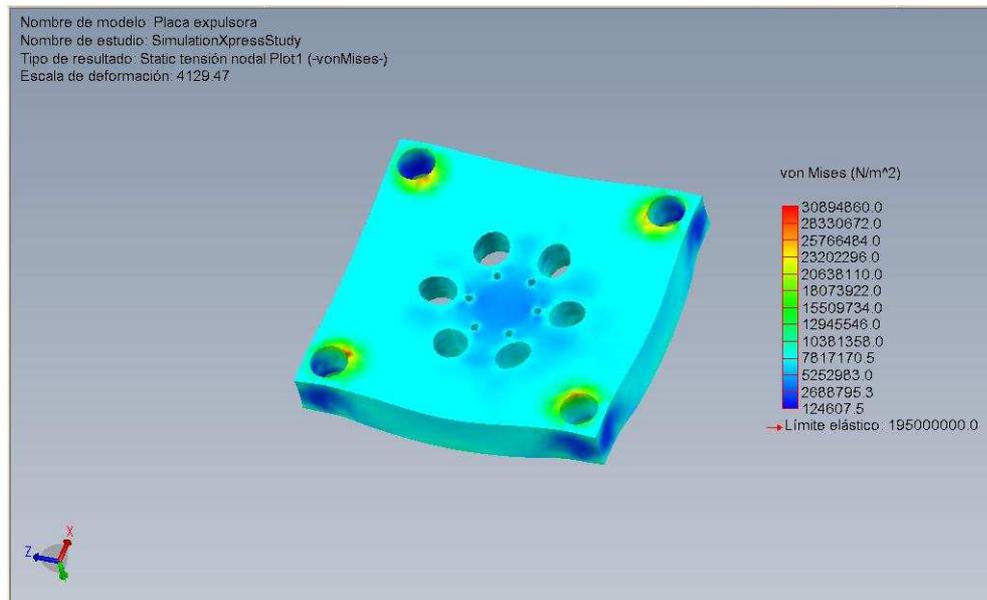
El comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke.

### Distribución de desplazamiento en Placa porta Machos



Distribución del desplazamiento en el molde flecha máxima 0.0098mm. Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas.

### Distribución de Tensiones en Placa Expulsora



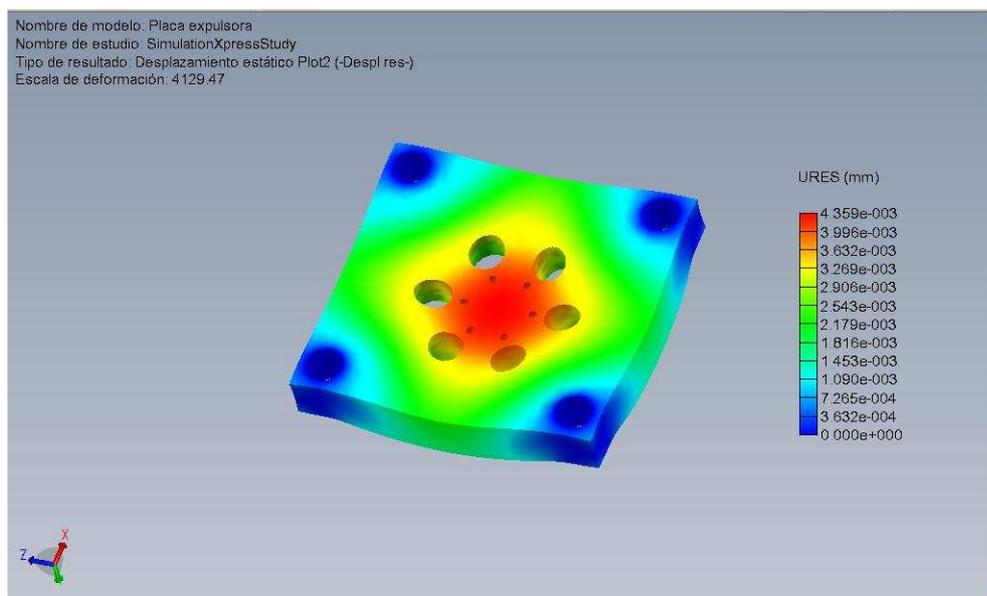
Distribución de tensiones en el molde, material M238 Límite elástico 195000000.0 N/m<sup>2</sup>.

Máximo valor de tensión 30894860 N/m<sup>2</sup>

Factor de seguridad 5,82

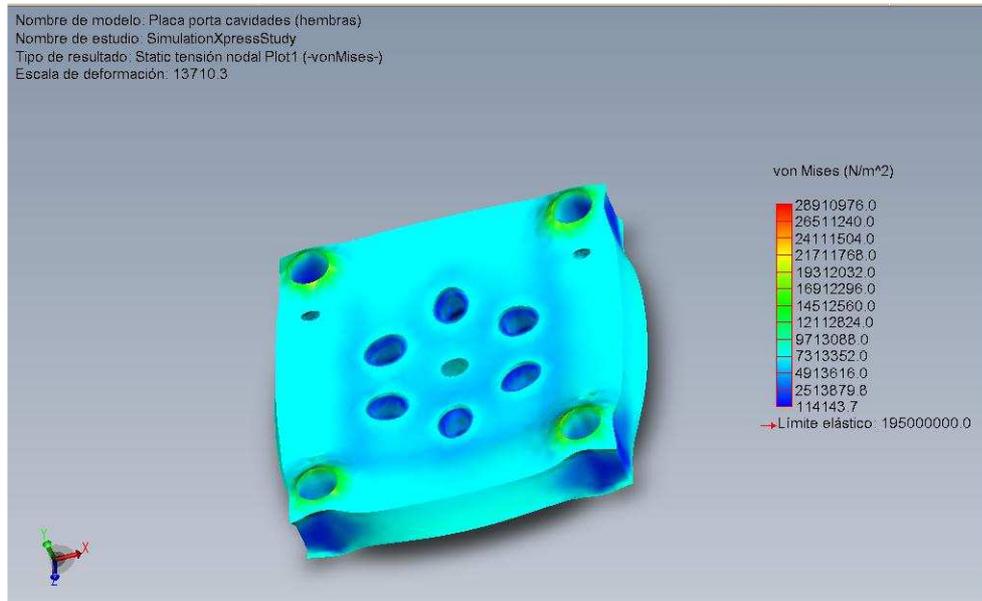
El comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke.

### Distribución de desplazamiento en Placa Expulsora



Distribución del desplazamiento en el molde: Flecha máxima 0.0043mm. Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas.

### Distribución de Tensiones en Placa porta cavidades



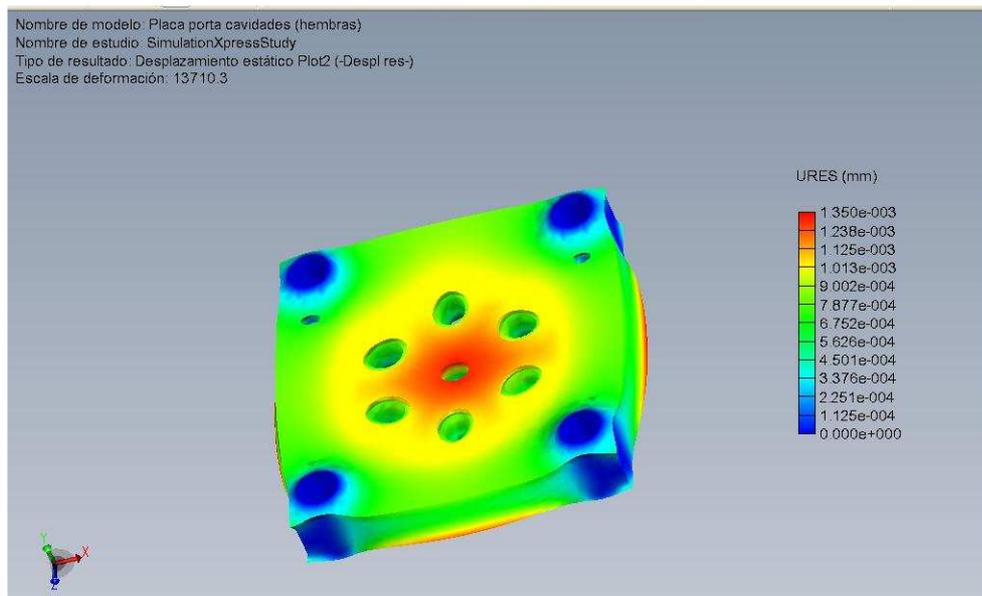
Distribución de tensiones en el molde, material M238 Limite elástico 195000000.0 N/m<sup>2</sup>.

Máximo valor de tensión 28910976 N/m<sup>2</sup>

Factor de seguridad 6,62

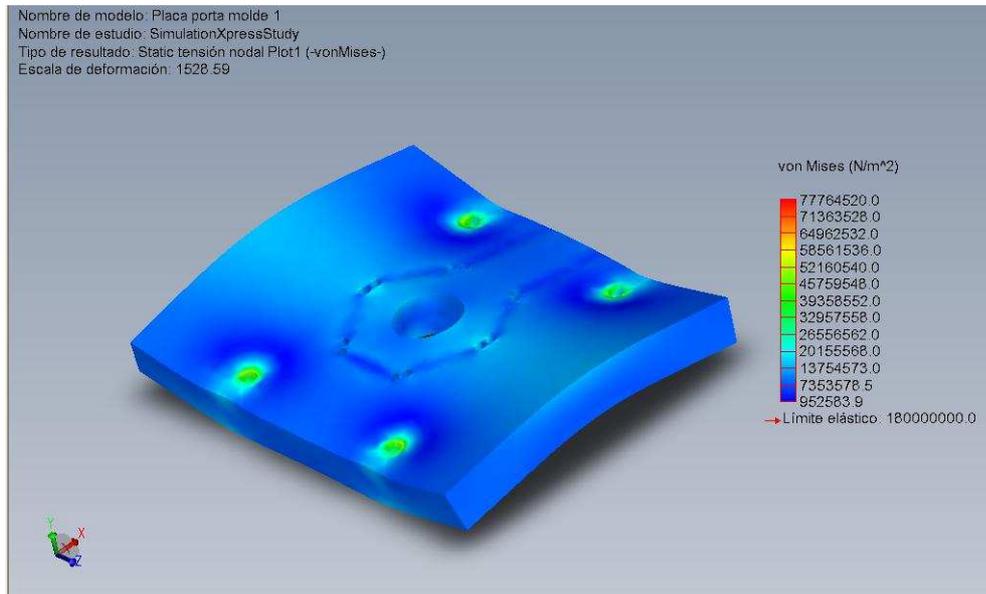
El comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke.

### Distribución de desplazamiento Placa porta cavidades



Distribución del desplazamiento en el molde: Flecha máxima 0.0013mm. Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas.

### Distribución de Tensiones en Placa porta molde 1



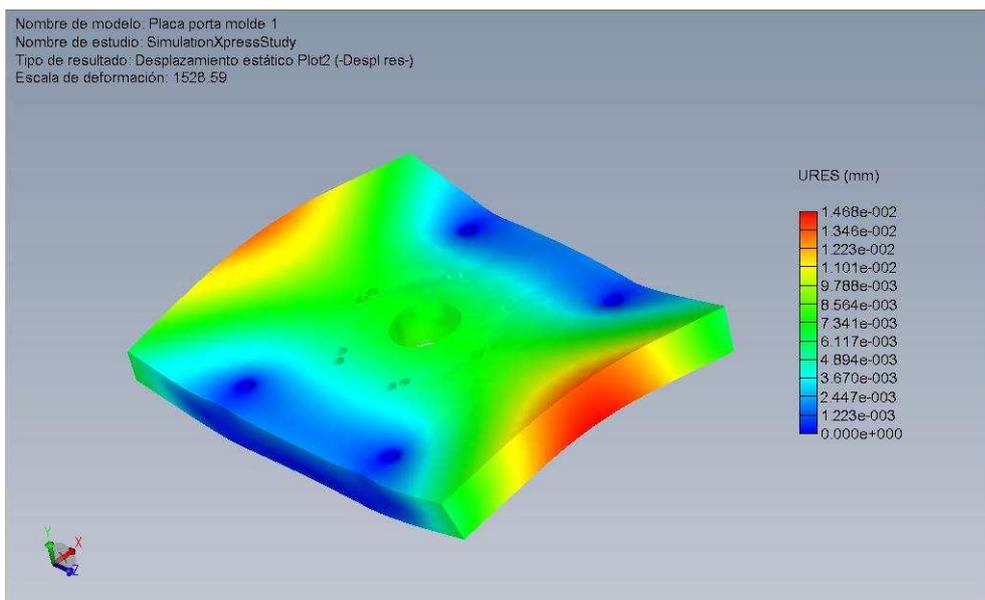
Distribución de tensiones en el molde, material AISI 1010 Limite elástico 180000000.0 N/m<sup>2</sup>.

Máximo valor de tensión 77764520 N/m<sup>2</sup>

Factor de seguridad 2,32

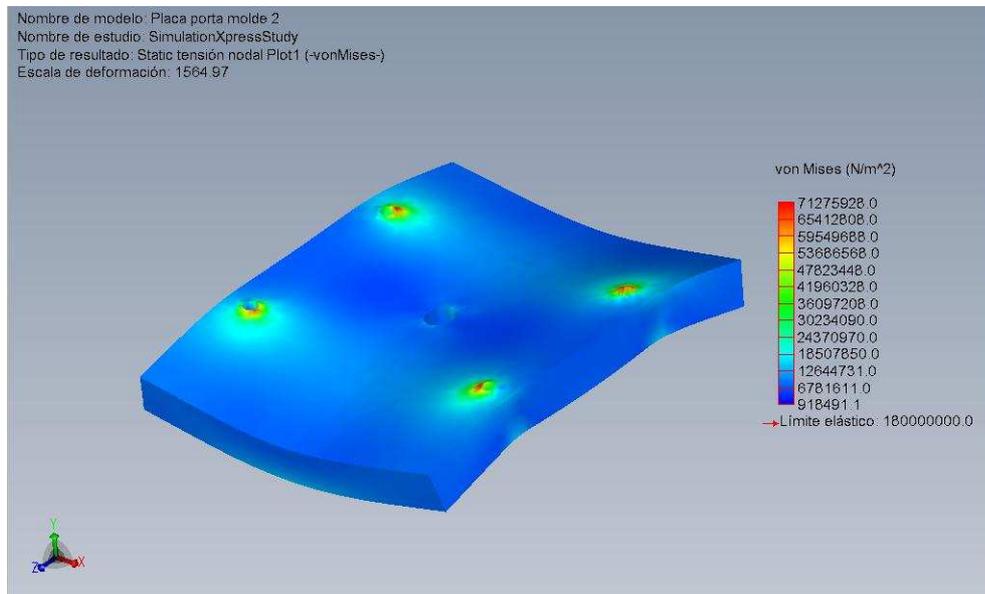
El comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke.

### Distribución de desplazamiento en Placa porta moldes 1



Distribución del desplazamiento en el molde flecha máxima 0.014mm. Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas.

### Distribución de Tensiones en Placa porta molde 2



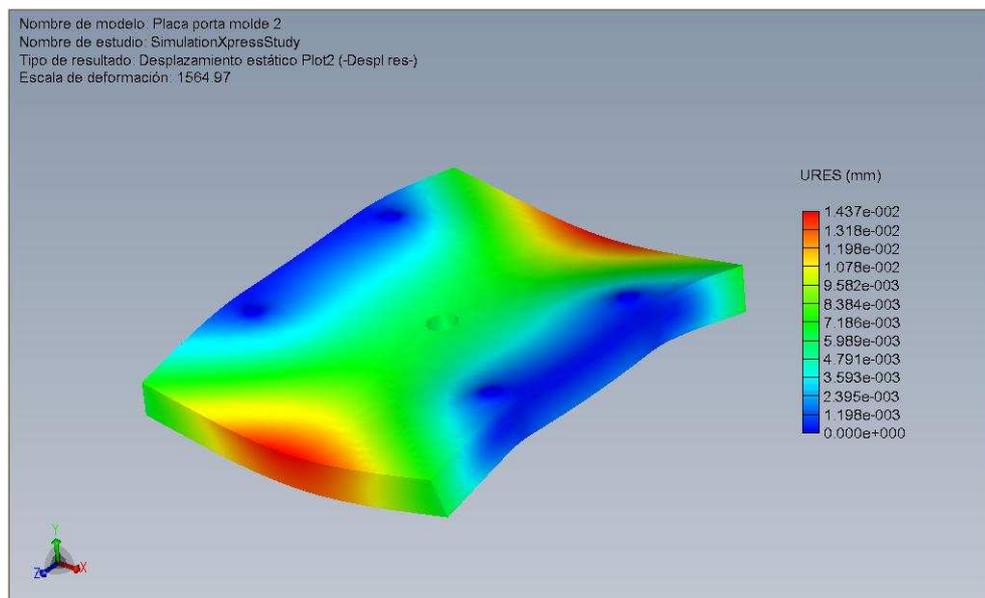
Distribución de tensiones en el molde, material AISI 1010 Limite elástico 180000000.0 N/m<sup>2</sup>.

Máximo valor de tensión 71275926 N/m<sup>2</sup>

Factor de seguridad 2,51

El comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke.

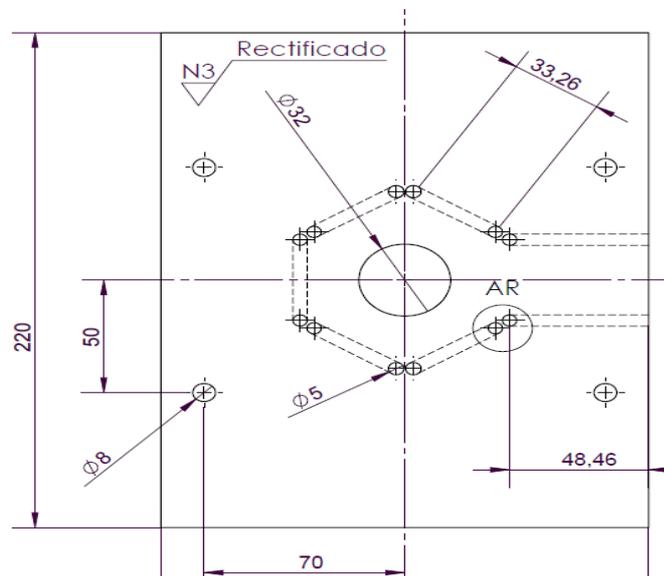
### Distribución de desplazamiento en Placa porta molde 2



Distribución del desplazamiento en el molde flecha máxima 0.014mm. Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas.

### ***Pernos sometidos a corte:***

A continuación se calcula la máxima fuerza que soporta los pernos sometidos a corte que sujetan el molde con la máquina de inyección, los mismos que va a estar sujetos a tracción y corte parámetros que debemos tomar en consideración para los cálculos respectivos.



**Distribución de un grupo de pernos mostrando las fuerzas cortantes primarias y secundarias.**

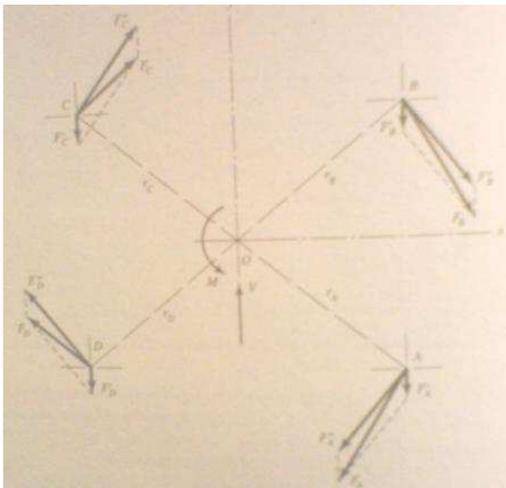
Se determina la distancia desde el centroide hasta el centro cada perno:

$$r = \sqrt{50^2 + 70^2} = 86,02 \text{ mm} \quad (10)$$

La carga primaria por perno corresponde:

$$F' = \frac{V}{n} = \frac{392\text{N}}{4} = 98\text{N} \quad (11)$$

$$F'' = \frac{M}{4r} = \frac{392\text{N} \cdot 140\text{mm}}{4 \cdot 86,02\text{mm}} = 159,49\text{N} \quad (12)$$



Las fuerzas cortantes primarias y secundarias se grafican, así como las resultantes obtenidas mediante la regla del paralelogramo, obteniendo los siguientes resultados:

$$R^2 = 98^2 + 159,5^2 - 2 \cdot 98 \cdot 159,5 \cdot \cos 140$$

$$F_A = F_B = 231 \text{ N}$$

$$F_C = F_D = 190 \text{ N}$$

La longitud del perno será 30 mm más la altura de la tuerca, en la tabla E-28 del libro de Shigley proporciona la altura de la tuerca de 14.8 mm, lo que totaliza una longitud de 48,4 mm, se necesitara un perno de unos 50 mm de longitud. De la tabla 8-11 del libro de Shigley se calcula la longitud de la rosca  $L_T = 22\text{mm}$ . Así el área del esfuerzo cortante del perno será:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 8^2}{4} = 50,26 \text{ mm}^2 \quad (13)$$

El esfuerzo cortante está dado por:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{231 \text{ N}}{50,26 \text{ mm}} = 4,6 \text{ Pa} \quad (14)$$

El esfuerzo de aplastamiento esta dado por:

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{aplastamiento}}} = \frac{231 \text{ N}}{(28 \text{ mm} * 8 \text{ mm})} = 1,03 \text{ Pa} \quad (15)$$

### ***Pernos sometidos tracción:***

El área que posee es perno es pequeña se procede a encontrar  $k_b$ :

$$k_b = \frac{A_t * E}{l_t} \quad (16)$$

$A_t = 0,226 \text{ plg}^2$  área del esfuerzo a tensión

$S_p = 85 \text{ kpsi}$  resistencia de prueba mínima

$E = 30 \cdot 10^6 \text{ lb/plg}^2$  módulo de elasticidad

$l_t = 0,75 \text{ plg}$  longitud de la parte roscada

$$k_b = \frac{0,226 * 30 \cdot 10^6}{0,75} = 9 \text{ M lb/plg}$$

Como los elementos de unión tiene similar módulo de Young , la rigidez efectiva de los elementos será:

$$k_m = \frac{0,577 * \pi * E * d}{2 * \ln\left(5 \frac{0,577 * l + 2,5 * d}{0,577 + 2,5 * d}\right)} = \frac{0,577 * \pi * 12 * 10^6 * 0,625}{2 * \ln\left(5 \frac{0,577 * 1,5 + 0,5 * 0,625}{0,577 * 1,5 + 2,5 * 0,625}\right)}$$

$$k_m = \frac{135952422,1}{1,79} = 7,6 \text{ M lb/plg} \quad (17)$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (18)$$

$$C = 0,5$$

El par de apriete de precarga del perno será:

$$T = 1200 \text{ lb/plg}^2$$

$$\varepsilon_1 = \frac{T}{k_d * S_p * A_t * 10^{-30}} \quad (19)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1200}{0,2 * 0,625 * 85000 * 0,226} = 0,49$$

$$F_1 = \varepsilon * S_p * A_t \quad (20)$$

$$F_1 = 0,49 * 85000 * 0,226 = 9421 \text{ lbf}$$

Fracción de fuerza en cada perno:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \frac{C * F_{perno}}{S_p * A_t} \quad (21)$$

$$\varepsilon_2 = 0,49 + \frac{9421/4}{85000 * 0,26} = 0,6$$

El factor de seguridad de la carga será:

$$n = \frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = 4,63 \quad (22)$$

## 5.2 Espesor de pared [8]

Debemos considerar el material que vamos utilizar tanto para la elaboración del molde así como el material a inyectar. Cada tipo de material plástico tiene sus características tanto en lo que se refiere a las que poseen, una vez transformadas como las relativas a sus condiciones de procesado.

En general hay que tener en cuenta que la elección del material requiere del estudio de los puntos favorables y desfavorables de cada uno de ellos en función del producto final. Las propiedades que debemos tener en consideración son las siguientes:

Elasticidad

Estabilidad dimensional

Transferencia de calor

- Resistencia mecánica
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia a la humedad del moldeo
- Resistencia a los agentes químicos
- Resistencia al medio ambiental
- Fluencia
- Limitaciones del diseño
- Precio

Además hay que tomar en cuenta las características de la pieza en uso:

- Densidad
- Cristalinidad
- Peso molecular
- Distribución de pesos moleculares
- Comportamiento reológico (polímero)
- Temperatura de transformación
- Presiones de procesos
- Contracción de moldeo
- Facilidad de compresión en estado fundido

El material que vamos a tomar en consideración es el polietileno de alta densidad, este polímero posee alta flexibilidad y baja dureza superficial, además la temperatura de fusión es de 130° C y temperatura de procesado es 220° y 230°, su contracción va de 1,5 • 3 %.

Para la construcción del molde, debemos seleccionar adecuadamente el material que cumpla con las propiedades mecánicas necesarias para alta producción. De esta manera mencionaremos los aceros idóneos para la manufactura del molde.

AISI 1010 acero con bajo contenido de carbono según la norma SAE, por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para estructuras de baja resistencia. Se recomienda el uso de este acero para la construcción de moldes por sus propiedades mecánicas y por su costo accesible. Siendo utilizado para las placas porta moldes y porta machos.

**Tabla 5.1** CARACTERÍSTICAS AISI 1010

NORMAS EQUIVALENTES		RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
AFNOR (Fr)	XC 10	CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
BS (Ingl)	040X10	C	S	P	Si	Mn
DIN (Alem)	10301	0.08 - 0.13	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.15 - 0.35	0.30 - 0.60
JIS (Jap)	S10C	CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
UNI (Ital)	C10	Cr	Ni	Mo	V	W
Grado Thyssen	XC 10					

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Acero Estructural de bajo Carbono</li> <li>● Alta ductilidad</li> <li>● Excelente Soldabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Acero de gran aplicación como Acero Estructural en la fabricación de tuberías estructuras metálicas soldadas, etc.</li> <li>● Se aplica también como Acero de Construcción de maquinarias cuando está endurecido superficialmente mediante tratamientos de cementación o Carbonitrurado seguido de Temple y Revenido.</li> <li>● También se aplica en estado cementado o Carbonitrurado como Acero de Construcción de Máquinas.</li> </ul>

Acero M238 para moldes plásticos suministrado en estado bonificado el cual no disminuye la dureza del núcleo respecto a la superficie en espesores superiores a 400 mm debido a su aleación de níquel. Su tecnología de fundición ofrece una buena maquinabilidad y excelente pulido, ideal para ser nitrurado lo que mejora su resistencia al desgaste. Es utilizado para la placa porta hembras y placa expulsora.

Tabla 5.2 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO M238

<b>238</b>	<b>Normas</b> AISI:~P20 Mej	<b>DIN:</b> 1.2738 4				
<b>Tipo Aleación (%)</b>	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>
	0.4	2	0.3	1.5	0.2	1.1
<b>Propiedades</b>	Acero especial aleado al cromo níquel - manganeso - molibdeno con bajo contenido de azufre. Acero de alta pureza especialmente desarrollado para la industria del plástico. Buena maquinabilidad y máxima aptitud para el pulido y foto grabado. Apto para la electroerosión. En su estado de suministro presenta dureza uniforme a través de toda su sección, aún en grandes dimensiones. Buena resistencia a altas temperaturas. Apto para ser nitrurado, cementado o cromado duro.					
<b>Aplicaciones</b>	Moldes para plástico medianos y grandes, también para portamoldes, para la industria del plástico y de inyección de metales. Generalmente este acero no requiere de un tratamiento térmico adicional, pero en caso de altas exigencias abrasivas, se recomienda nitrurar.					
<b>Tratamiento Térmico</b>	<p><b>Recocer</b> Blando: 720- 740 °C. Enfriamiento lento y controlado en el horno, 10 - 20°C/h, hasta 600°C aprox., enfriamiento posterior al aire. Dureza después del recocido blando: máx. 240 HB. De distorsión: Aprox. 650°C/ en estado templado y revenido aprox. 30 - 50°C por debajo de la temperatura de revenido/después de un calentamiento a fondo, permanencia al mismo nivel de temperatura durante 1-2 horas en atmosfera neutral. Enfriamiento lento en el horno.</p> <p><b>Templar</b> 840- 860°C aceite, 860- 880°C aire. Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 15 - 30 minutos.</p> <p><b>Revenir</b> Calentamiento lento a temperatura de revenido.</p>					

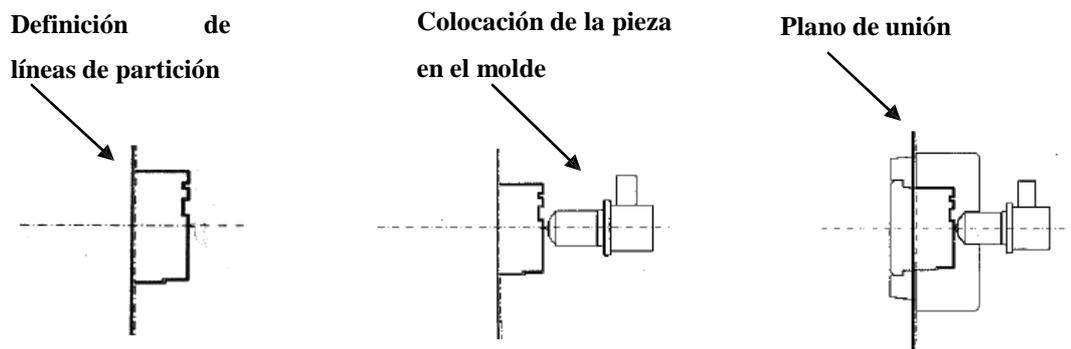
El acero 705 que contiene Cr, Ni, Mo de gran templabilidad y tenacidad, con tratamiento térmico, para ejes, cigüeñales, ejes diferenciales y cardanes, engranajes y piezas de mando. Este acero es utilizado para la elaboración de guías, maguitos, casquillos y machos.

Tabla 5.3 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO 705

<b>Aceros Bonificados</b>					
<b>Normas</b>		<b>Características Técnicas y Aplicaciones</b>	<b>Composición Química %</b>	<b>Dureza Entrega HB</b>	
<b>USA/ SAE/AISI</b>	<b>Alemania W.St.N°</b>	Acero al Cr, Ni, Mo de gran templabilidad y tenacidad, con tratamiento térmico, para ejes, cigüeñales, ejes diferenciales y cardanes, engranajes y piezas de mando.	C:0,34 Mn:0,55 Cr : 1,55	Mo:0,2 5 Ni : 1,55	
4340	6582				299
<b>Código Color</b>					353

### 5.3 Líneas de partición

Evidentemente la unión de las dos mitades del molde por perfecta que sea y aunque no permita la salida de rebaba dejará su huella en la pieza moldeada. Por esta causa el plano de unión deberá situarse de tal forma que las marcas que se produzcan sean lo menos vivibles y en el caso de formación de rebaba puedan ser eliminadas fácilmente. En general para la colocación del plano de unión o línea de partición debemos estudiar la geometría de la pieza y situarla en función de la misma.



**Figura 5.2** Líneas de partición

### 5.4 Agujeros [12]

Se debe tomar en consideración los agujeros de las placas porta moldes, ya que estas no deben interferir en las funciones del molde y permitan al mismo la seguridad de fijación a las guías (casquillos y manguitos), para lo cual existe la normalización respectiva de acuerdo al tamaño del molde. Para nuestro caso hemos tomado la normalización del catálogo de INTECH EDM que presentamos a continuación:

Tabla 5.4 NORMALIZACIÓN INTERCH EDM

formintech™  
Qualitäts-Normalien

Formplatten  
196 x 196

196 x 196		Bestellbeispiel: 196x196-F1-D-Material		Mat.: 1730, 2767, 2311, 2312 Lieferung ab Lager					
F1- F1U	D	Material (EUR/1)							
		1730	2162	2767	2311	2312	2343		
	17	58,00	71,00	82,00	71,00	71,00			
	22	63,00	78,00	94,00	79,00	78,00			
	27	70,00	86,00	104,00	87,00	86,00	107,00		
	36	82,00	102,00	126,00	104,00	102,00	130,00		
	46	94,00	118,00	147,00	120,00	118,00	152,00		
	56	107,00	135,00	170,00	138,00	135,00	176,00		
	66	121,00	153,00	194,00	156,00	152,00	201,00		
	76	135,00	171,00	218,00	174,00	171,00	227,00		
	86	148,00	189,00	241,00	192,00	188,00	251,00		
	96	162,00	206,00	265,00	211,00	206,00	276,00		
Mat. F1U: 2162, 2767, 2343									
F3	D	Mat. (EUR/1)		F4	D	Mat. (EUR/1)			
	46	33,00			27	68,00	84,00		
	56	36,00			36	80,00	100,00		
	76	43,00							

Aquí nos muestra las distancias que deben tener los agujeros de las placas, para que en lo posterior no existan problemas por rotura de las mismas.

### 5.5 Ángulos de desmoldeo

Para facilitar la expulsión de la pieza del molde, se le da un ángulo a partir de la medida nominal de la pieza, la misma que varía entre 1° a 3°. En nuestro caso se optó por 1° de ángulo de desmoldeo, para que la medida nominal de la boca de la tapa no varíe demasiado, ya que se requiere una buena sujeción entre la tapa y la boquilla del cilindro de gas.

### 5.6 Tolerancia [15]

La tolerancia es un factor muy importante en la construcción de moldes, ya que es determinante en el momento de acoplar diferentes piezas en la construcción y en el montaje del molde.

A continuación se realiza el cálculo para la selección de la tolerancia apropiada:

$$i = 0,45 * \sqrt[3]{D + 0,001} * D$$

$$i = 0,45 * \sqrt[3]{(17) + 0,001} * 17$$

$$i = 19,67\mu$$

Obteniendo  $i$  en micras, se busca en la tabla de tolerancias la que corresponda y como resultado se tiene la serie IT-7 consignación H7 (+25). Aplicándose en la construcción de columnas, casquillos y machos.

**Tabla 5.5 TOLERANCIAS**

AGUJERO	EJE	AJUSTE DE PRECISIÓN
<b>H7</b>	<b>s6</b>	Asiento forzado duro: montado y desmontado con gran esfuerzo
<b>H7</b>	<b>k6</b>	Asiento forzado medio: montado y desmontado con martillo si gran esfuerzo. Necesita seguro contra el giro.
<b>H7</b>	<b>h6</b>	<b>Asiento deslizante: en piezas lubricadas deslizamiento a mano.</b>
<b>H7</b>	<b>g6</b>	Asiento giratorio estrecho: piezas móviles sin juego apreciable
<b>H7</b>	<b>f7</b>	Asiento giratorio: piezas móviles con juego apreciable.

## 5.7 Diseño para la manufactura

### 5.7.1 Cálculo del número de cavidades [8]

La determinación del número de cavidades en un molde depende de una gran cantidad de factores como son:

La forma y el volumen de las partes que serán moldeadas y las características de la máquina seleccionada para moldearlas.

Los principales factores que influyen técnica y económicamente para la selección son los siguientes:

- la pieza por moldear: material, dimensión, volumen, viscosidad del plástico fundido
- características del molde (producción total requerida, cantidad de piezas producidas en un determinado tiempo, número de cavidades, sistema de alimentación, costo y rentabilidad).

- especificaciones de la máquina (capacidad de inyección, frecuencia de los ciclos de trabajo, fuerza del cierre del molde, superficie de moldeo proyectada, etc.)
- costo por hora de la máquina (rentabilidad, consumo de energía, mantenimiento y costo de operación, salarios y otros gastos directos, etc.)

Para hacer un cálculo correcto es preciso evaluar diversas posibilidades. Es obvio que la productividad de un molde de cavidades múltiples siempre será mayor que la de un molde de una sola cavidad. Sin embargo debe tomarse en cuenta que un molde de cavidades múltiples tiene un costo muy elevado y deberá usarse una máquina de mayor capacidad, desde luego con un costo mayor por hora.

Todas estas consideraciones pueden influir en la elección que permita una buena solución tanto técnica como económica. El primer paso para definir las características de un molde y el número de cavidades consiste en examinar la pieza que va a ser moldeada:

- Naturaleza del material de plástico que se va a usar y su viscosidad en estado fluido, haciendo una evaluación de la presión específica requerida a fin de llenar el molde en función del espesor de la pieza y de la longitud del flujo en los canales de alimentación hasta llegar a la cavidad.
- La características del molde que se fabricará se decide considerando la figura de la pieza a moldear y la cantidad de piezas para producir en una unidad de tiempo determinada.
- La selección de la máquina de moldeo adecuada, dependerá obviamente de las decisiones anteriores. De hecho, las especificaciones de la unidad de inyección (presión específicas de inyección, volumen y capacidad real de inyección) y la correspondientes al grupo de cierre de moldes (fuerza de cierre, tamaño de platinas, porta moldes) están condicionadas a las características del material plástico que se inyectarán y al tipo de molde que se fabricará.

A continuación procedemos al cálculo de cavidades:

Por la relación entre el peso o volumen máximo del material correspondiente que pueda inyectar la máquina y el peso o volumen del artículo, según ello la cantidad máxima teórica de cavidad será:

$$F1 = \frac{\text{gramaje máximo de inyección de la máquina, } S_v, \text{ en cm}^3}{\text{gramaje de la pieza+mazarota, } A_v, \text{ en cm}^3} \quad (11)$$

***Datos para cálculo de cavidades:***

$S_v$	35 gr
$W_{pieza}$	1,56 gr
$W_{mazarota}$	3,2 gr
$\delta_{polietileno}$	<b>0,941 gr/cm<sup>3</sup></b>

$$F1 = \frac{37,2 \text{ cm}^3}{(1,66 + 3,4)} = 7,3 \approx 7 \quad ; \quad \delta = \frac{m}{V} = \frac{35 \text{ gr cm}^3}{0,941 \text{ gr}} = 37,2 \text{ cm}^3$$

$V_{pieza} = 1,65 \text{ cm}^3$   
 $V_{mazarota} = 3,4 \text{ cm}^3$

Por la relación entre rendimiento de plastificación del cilindro inyector y el producto del número de inyecciones por el volumen del artículo referido al material correspondiente:

$$F2 = \frac{\text{rendimiento de plastificación } L \text{ en cm}^3/\text{min}}{\text{número de inyecciones, } Z/\text{min} \times (\text{gramaje pieza} + \text{gramaje mazarota}, A_v, \text{cm}^3)} \quad (12)$$

$$F2 = \frac{9,36 \text{ gr} \times \text{min}}{4 \text{ min} \times (4,76)} = 0,50$$

$$F2 \leq F1 \quad (13)$$

$$F2 = 0,8 \times F1$$

$$F1 = \frac{S_v}{A_v} = \frac{37,2}{4,96} = 7,5$$

$$F2 = 5,84 \approx 6$$

Por diseño, distribución seleccionamos 6 o 8 cavidades. Por costo se selecciona 6 cavidades.

### Capacidad de inyección:

$CIPS$	35 gr
$\delta_{Polietileno}$	0,941 gr/cm <sup>3</sup>
$\delta_{Poliestireno}$	1,07 gr/cm <sup>3</sup>

$$CIB = \frac{CIPS * \delta_{Polietileno}}{\delta_{Poliestireno}} \quad (14)$$

$$CIB = \frac{35 \text{ gr} * 0,941 \text{ gr} * \text{cm}^3}{\text{cm}^3 * 1,07 \text{ gr}}$$

$$CIB = 30,79 \text{ gr}$$

$$CIB = 0,72 \text{ gr/seg}$$

### Tiempo de ciclo

$$T = \frac{P_{pieza}}{CIB} = \frac{6 \cdot 1,56 \text{ gr} \cdot \text{seg}}{0,72 \text{ gr}} \quad (15)$$

$$T = 13 \text{ segundos}$$

En un minuto se puede alcanzar 4 ciclos de inyección, lo que nos garantiza un funcionamiento óptimo para la producción de piezas de gran demanda.

### 5.7.2 Contracción [6]

Al diseñar un objeto de plástico hay que considerar dos tipos de contracciones que mencionaremos a continuación. Una contracción inicial llamada de moldeo que tiene lugar mientras se enfría la pieza en el procesado y otra llamada contracción de pos-moldeo que ocurre las 24 horas siguientes al moldeo de la pieza. Los valores de ambas depende no solo del tipo de material sino también las condiciones de procesado, presión de temperatura y tiempo de enfriamiento del molde.

**Tabla 5.6** CONTRACCIONES DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

<b>MATERIALES TERMOPLASTICOS CON ESTRUCTURA CRISTALINA</b>			
	<b>Símbolo</b>	<b>T de Fusión C</b>	<b>Contracción en Moldeo</b>
	ISO		
Polietileno (alta densidad)	<b>PE</b>	130	1 a 3
Polietileno (baja densidad)	<b>PE</b>	110	1.5 – 4
Polipropileno	<b>PP</b>	165	1 - 2.5
Poliamida 66	<b>PA 66</b>	255	1.2 - 2.5
Poliamida 6	<b>PA 6</b>	220	0.8 – 2
Poliamida 610	<b>PA 610</b>	220	0.8 – 2
Poliacetal homopolímero	<b>POM</b>	175	1.5 - 3.5
Poliacetal copolímero	<b>POM</b>	165	1.5 - 3.5
Polibutileno -tereftalato	<b>PBTP</b>	225	1.2 - 2.8
Polietileno- terftalato	<b>PETP</b>	255	1.2 – 2
Fluorotileno	<b>FEP</b>	270	3.5 – 5
Etileno	<b>ETFE</b>	270	3.5 – 5

### 5.7.3 Canales de distribución [8]

Los canales de distribución constituyen la parte del sistema de llenado, que en los moldes múltiples, unen las cavidades del molde con el cono de entrada. Tiene la misión de conseguir que el material penetre en todas las cavidades simultáneamente y a igual presión y temperatura. La masa plastificada penetra a gran velocidad en el molde refrigerado. La distribución del calor enfría y solidifica rápidamente la masa que fluye tanto a las paredes exteriores. Al mismo tiempo, la masa que fluye por el centro queda aislada respecto a la pared del canal, originándose así un núcleo plástico, por la que pueda fluir la masa necesaria para el llenado del molde.

Este núcleo debe conservarse hasta que la pieza este totalmente solidificada, de este modo adquiere plena eficacia la presión residual necesaria para compensar la contracción del volumen que ocurre durante el proceso de solidificación. De esta exigencia deriva la geometría de los canales de distribución, teniendo en cuenta las razones de ahorro del material y en virtud de las cuestiones de refrigeración, se saca la consecuencia de que la relación superficie/volumen debe ser lo menor posible.

La calidad de la superficie de los canales depende de la masa que se va a elaborar. Por lo general, puede partirse de la base de que es más favorable no pulir los canales ya que así el anclaje de la película solidificada junto a la pared es mejor, evitándose que sea arrastrada por el núcleo. El modo más sencillo de conseguir un llenado simultáneo, consiste lógicamente en hacer de igual longitud las vías de flujo hacia las cavidades y el no modificar la sección de los canales de distribución y estrangulamiento.

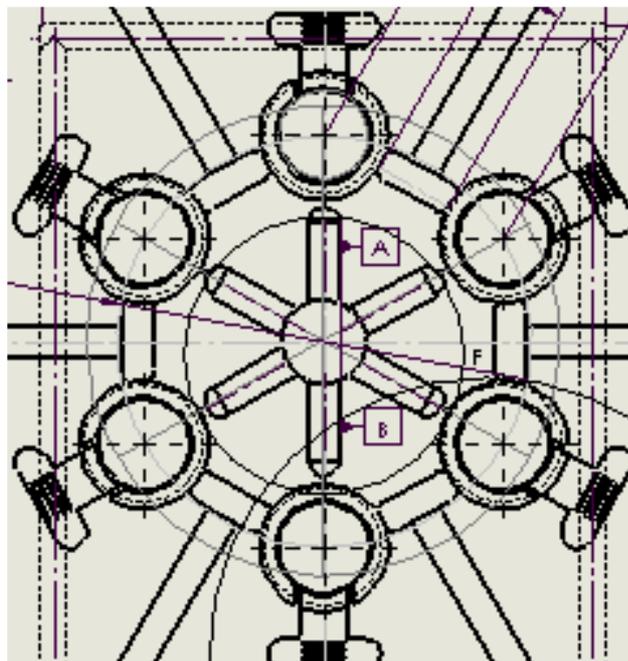


Figura 5.3 Distribución de las cavidades del molde

### 5.7.4 Punto de inyección [8]

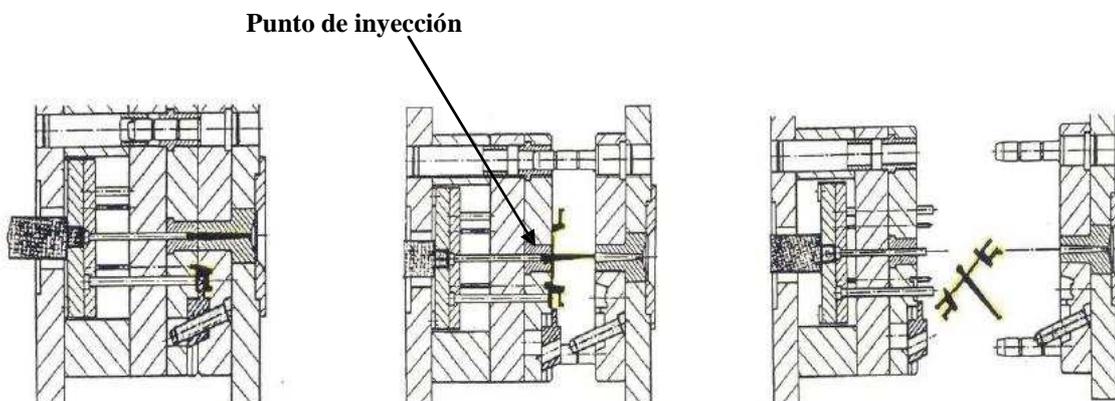
Para los polímeros termoplásticos, la posición del punto de inyección debe satisfacer los siguientes requisitos:

Dirigir el flujo del polímero contra la pared de la cavidad o contra el corazón.

Dirigir el aire hacia las ventanas de salida para evitar que sea atrapado.

Injectar el material de la sección más gruesa hacia la sección más delgada.

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



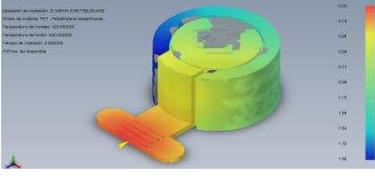
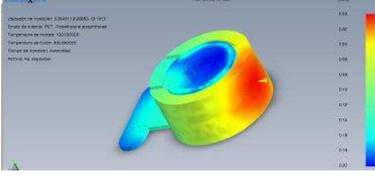
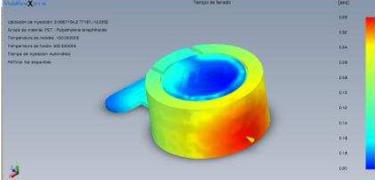
**Figura 5.4 Punto de inyección**

Parámetros para la disposición de los puntos de inyección

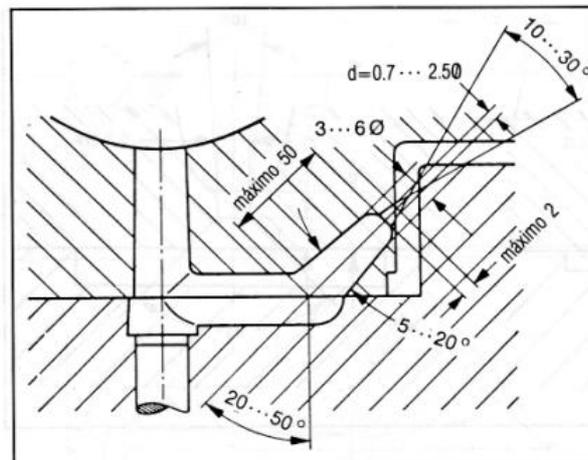
- El punto de inyección debe situarse en las cercanías de la superficie de la pieza.
- La colocación se realizará en zonas que permitan un flujo fácil.
- Salida del aire atrapado en la cavidad.
- El punto de inyección se colocará de forma que el material avance según un frente continuo.

Para la determinación del punto de inyección se utilizó la aplicación MoldflowExpress de SolidWorks, la cual permite simular el llenado de la pieza y establecer tiempos de inyección.

**Tabla 5.7** PUNTO DE INYECCIÓN

	<p>Ubicando el punto de inyección en la oreja de la tapa, esta no se llena completamente por lo cual se descarta esta opción.</p>
	<p>Al ubicar en el frente de la tapa, en su parte media, la tapa se llena casi por completo mostrando problemas de llenado en las ranuras por lo cual también se descarta esta opción.</p>
	<p>Desplazando el punto hacia abajo a la mitad de la anterior medida, la tapa llena por completo y no presenta ninguna complicación en el llenado. Así esta es la opción elegida para la ubicación del punto de inyección.</p>

Para el molde, luego de un análisis, se ha decidido seleccionar el punto de inyección submarino porque es un molde de alta producción y necesitamos darle funcionalidad al mismo

**Figura 5.5** Inyección submarina

### 5.7.6 Sistema de refrigeración [8]

Es necesario hablar de las diferentes temperaturas que el molde va adquiriendo ya sea por la transmisión de calor por parte de las niquelinas de la máquina de inyección y del material fundido, las mismas variaciones que se transmiten directamente a las paredes del molde, las que adquieren un incremento de temperatura, la misma que puede ocasionar defectos en las piezas a producir. Además para el diseño del sistema de enfriamiento se debe considerar lo siguiente:

La temperatura media del molde debe mantenerse en un rango lo más reducido como sea posible.

La temperatura debe ser lo más uniforme posible.

El tiempo de ciclo debe ser lo más corto posible.

La temperatura del molde en un punto determinado varía a lo largo del ciclo de inyección.

Se puede empezar tomando en consideración la energía térmica del polímero

$$Q_f = \frac{m \cdot \Delta h}{t} \quad (16)$$

$$Q_f = \frac{1,52 \text{ gr} * 200 \text{ kJ}}{\text{Kg} * (13) \text{ seg}}$$

$$Q_f = 0,024 \frac{\text{kJ}}{\text{seg}}$$

Donde:

m= Masa del polímero  
 $\Delta h$ = Incremento de entalpia  
 t= Tiempo del ciclo

Se considera que el molde contiene conductos por los que pasa el líquido que refrigera o calienta el molde durante el proceso de moldeo. El uso de este sistema se basa en la necesidad de absorber el calor de la masa fundida para que alcance su fase sólida y la estabilidad dimensional.

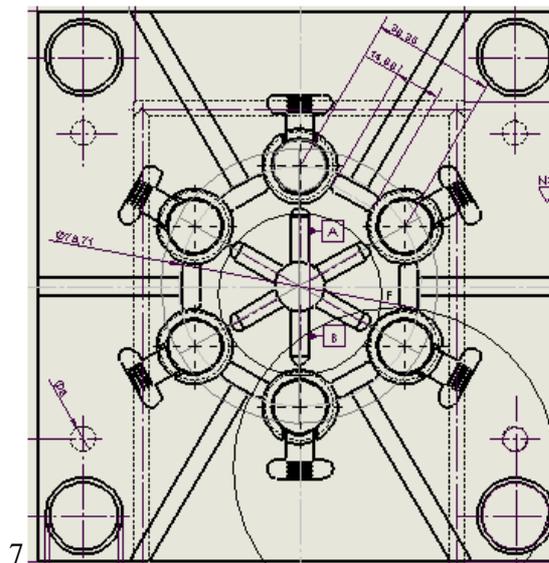
La unión del control de temperatura del molde, la del fluido, la presión de inyección y el aporte extra de material para contrarrestar la contracción del material hace que el fluido llegue a todas las partes del molde, llenándolo y produciendo una pieza homogénea y sin defectos. Una temperatura de molde muy frío puede provocar la solidificación demasiado rápida del material sin alcanzar la parte más alejada del punto de inyección y produciendo rechupe, o una temperatura demasiado caliente produciría, por el contrario, rebabas. Así que se debe llegar a un acuerdo entre todos los factores para producir piezas perfectas, reducir el tiempo de ciclo y aumentar la producción.

Los refrigerantes utilizados son agua y aceite. La absorción es más rápida en el agua, teniendo el aceite una mayor inercia térmica, lo que produce que un mayor control de la temperatura. Sin embargo, su coste es mayor. Con este sistema, a una temperatura dada del líquido refrigerante y trabajando la máquina de forma continuada a un ciclo dado, se establecerá un equilibrio entre la cantidad de calor que suministramos al molde con el plástico fundido, y la cantidad de calor que le

quitamos al molde con el líquido refrigerante. El ciclo tiene que ser el menor posible que mantenga las piezas con la calidad requerida.

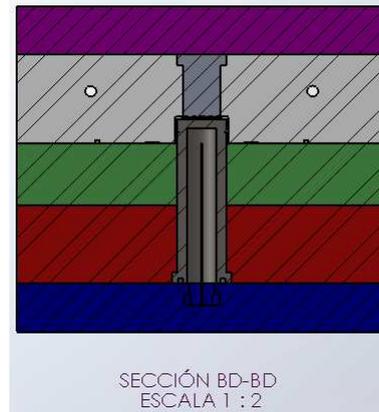
El sistema de refrigeración del molde se divide en dos partes:

Para los canales de refrigeración en la placa porta hembras se considera un sistema rectilíneo, porque las hembras necesitan ser refrigeradas para que no se produzca rechupe en el producto final, estos canales cruzan el molde en forma recta por tratarse de piezas simétricas, pero de este modo no se puede garantizar una distribución uniforme de la temperatura, por lo que también se emplea el sistema de refrigeración en paralelo para lograr el enfriamiento necesario.



**Figura 5.6** Distribución del sistema de refrigeración en la placa porta hembras

Al ser un molde de alta producción se debe enfriar los machos, estos están en contacto directo con el material fundido así como las cavidades de la placa porta hembras, estos canales de refrigeración son en paralelo, puesto que circula por cada macho, de esta forma garantiza la calidad de la piezas, evitando así el rechupe por la distribución casi uniforme de la temperatura.



**Figura 5.7** Sistema de refrigeración en machos

### 5.7.7 Guías y componentes [8]

Los moldes de inyección se montan para su ajuste, sobre los platos portamoldes de la unidad de cierre de la máquina. Esta unidad de cierre tiene la misión de abrir o cerrar el molde dentro del ciclo general de trabajo.

Las guías de los moldes han de cuidar de que los elementos de moldeo coincidan exactamente y de que el molde se cierre herméticamente. Si los elementos de moldeo no coinciden, pueden chocar mutuamente y deteriorarse bajo la influencia de las elevadas fuerzas de cierre. Además con los moldes descentrados, la pieza presentaría distintos espesores de pared, no



*Modelos corrientes de pernos guía*

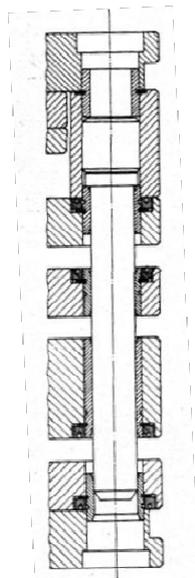
*Casquillos de guía con las tolerancias frecuentes*

**Figura 5.8** Guías

Para alcanzar la máxima precisión, el molde necesita una guía y unos elementos de centrado propio. En moldes pequeños y particularmente planos, se emplea pernos de guía. Se trata de pernos que sobresalen de una de las mitades del molde cuando éste está abierto y al efectuar el cierre, se introducen con un ajuste perfecto en los orificios de los casquillos y manguitos de acero templado previstos en la otra mitad. En los moldes planos se garantiza una posición relativa permanente y

exacta de ambas superficies externas durante el proceso de inyección, así como la obtención de piezas externas de desplazamiento.

En el comercio puede encontrarse casquillos y manguitos, las tolerancias de ajuste prescritas varían según el fabricante, se obtiene una guía suficiente y un centrado adecuado de los moldes cuando los pernos de guía se han acabado con una tolerancia h6 en la zona de la guía o espiga, una tolerancia k5 en la zona del vástago y una tolerancia f7 en la zona de centrado. Si el perno de guía está asegurado contra el deslizamiento, el agujero de recepción del molde ha de tener una tolerancia H7. La longitud de los pernos depende de la profundidad de los vaciados del molde. Para los casquillos, las tolerancias han de ser H7 en el agujero de la zona de la guía, k5 en el diámetro exterior. La longitud de los casquillos depende del diámetro de los agujeros, en el agujero para alojar el casquillo en el molde tendrá una tolerancia H7.



*Unidad de guía casquillo de guía y manguito de centrado de piezas*

**Figura 5.9** Casquillos y manguitos

### **5.7.8 Sistema de expulsión [7] [8]**

Este sistema está condicionado a la forma de la pieza moldeada, lo cual puede tener barrenos laterales, rebajes, roscas y todo aquello que requiere sistemas o diseños especiales, la variedad de soluciones empleadas para extraer o expulsar piezas hace imposible detallar estos mecanismos ya que depende de la geometría de la pieza.

Nuestro molde cuenta con una placa expulsora, la misma que es accionada mecánicamente, en combinación con la carrera de apertura de la máquina de inyección. Se debe analizar el sistema de

expulsión adecuada, debido a que si se emplea fuerzas grandes a piezas delicadas puede producir el deterioro de las mismas, por ello, las que no pueden soportar esfuerzos de choque se desmoldean muchas veces por accionamiento hidráulico de las placas expulsoras.

Este método es caro, por exigir un sistema hidráulico especial, pero funciona sin sacudidas y puede accionarse a voluntad. En general el buen diseño de un molde, no requiere de muchas explicaciones, debe ser interpretado por personas conocedoras del tema, ya que una mala interpretación del diseño puede causar costosas modificaciones y retrasos en la construcción.

## CAPÍTULO VI

### 6. MODELACION, SIMULACIÓN CONSTRUCCIÓN, Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MATRIZ

#### 6.1 Estrategias de mecanizado.

La metodología de mecanizado es aplicable en máquinas CNC, por lo que en la propuesta de mecanizado para el molde solo se modifican las operaciones que se realizan en dichas máquinas y quedan sin cambio las operaciones que se hacen en máquinas convencionales, como lo fueron los tres primeros procesos: el encuadrado en la fresadora convencional, el ajuste en el banco de trabajo para eliminar los filos cortantes y el rectificado de las caras de la pieza en la rectificadora. Posterior a estas operaciones se mecaniza los agujeros de las placas en la CNC, previo la generación de programas en BobCAD-CAM y VisualMill5.0.

En una mecanización óptima el molde se debería mecanizar en su totalidad en la CNC pero debido a los detalles que tienen la tapa, (marca, ranuras y oreja), y sus dimensiones tan pequeñas no es posible ya que al utilizar herramientas muy pequeñas al momento del primer contacto con la placa se romperían.

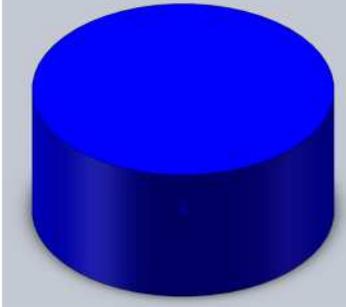
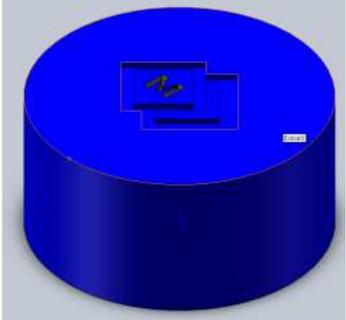
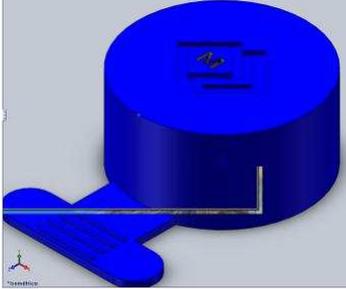
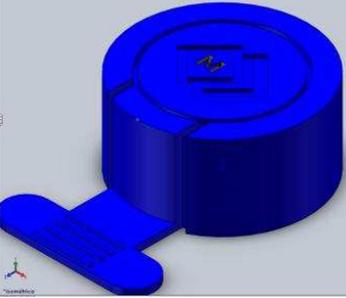
Por esta razón los detalles se realizan mediante la electroerosión, utilizando electrodos de grafito. Estos electrodos si serán mecanizados en la CNC debido a las propiedades mecánicas de este material.

#### 6.1.1 Modelación mediante software del molde

Para la elaboración del producto de la presente tesis, se recopiló varios modelos de tapas de gas a nivel nacional, se analizó y se diseñó una nueva tapa de gas que cumpla con los requerimientos del consumidor como son, el ajuste a la válvula del cilindro sin que al momento de su colocación esta se rompa y que garantice la inviolabilidad del sello de seguridad.

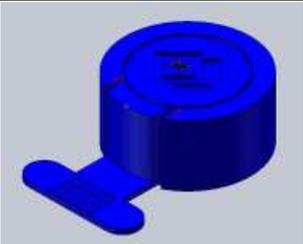
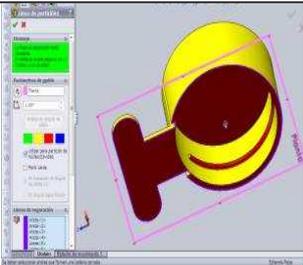
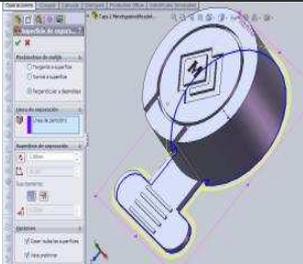
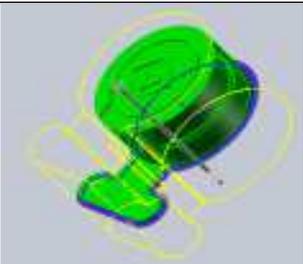
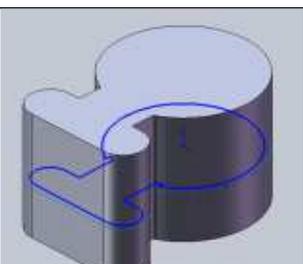
A continuación se realiza un resumen de la modelación de la misma aplicando el software utilizado en la Escuela de Ingeniería Mecánica:

**Tabla 6.1** MODELACIÓN DE LA TAPA DE GAS

	<p>Del croquis realizamos Extrusión.</p>
	<p>Realizamos Corte/ Extruir</p>
	<p>Agregamos el mango a la tapa.</p>
	<p>Colocamos los nervios y es el producto final.</p>

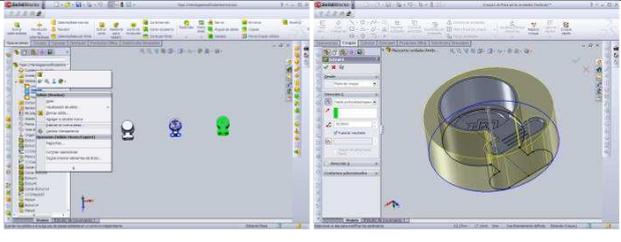
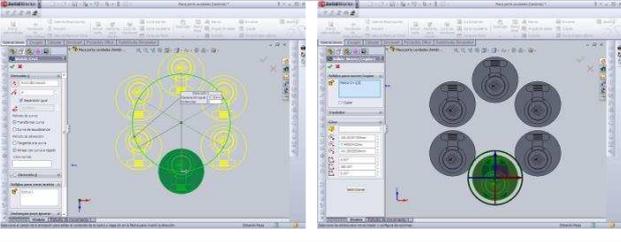
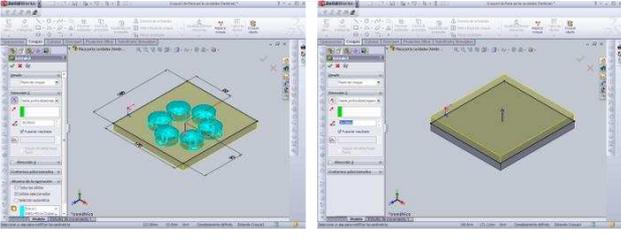
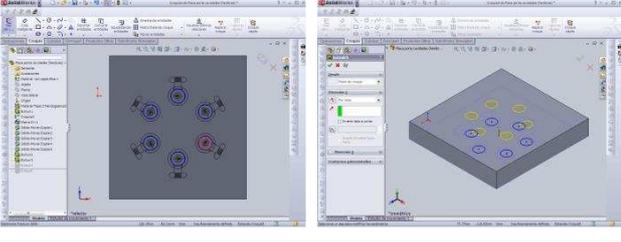
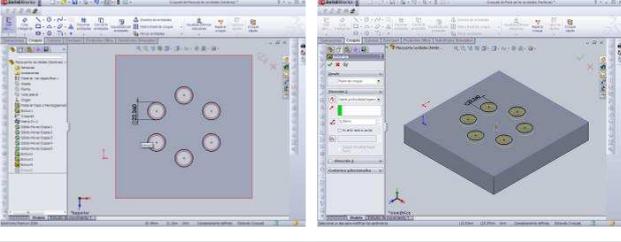
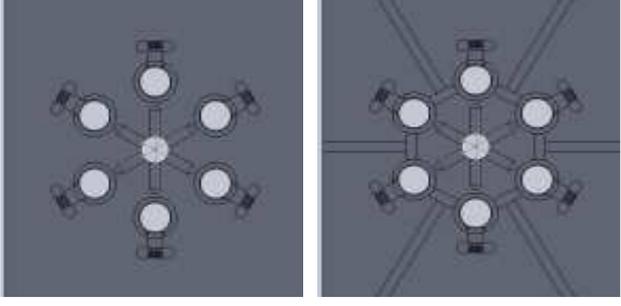
## Generación del Molde Base

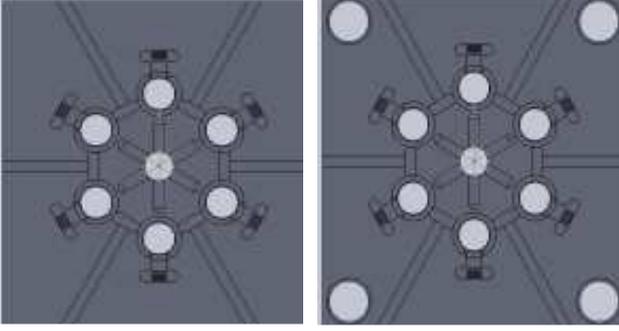
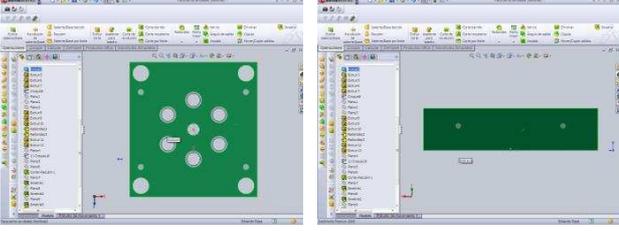
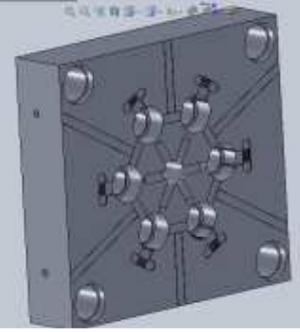
**Tabla 6.2** GENERACIÓN MOLDE BASE

		<p>Abrir el archivo a moldear y posteriormente, seleccionar el comando línea de partición.</p>
		<p>Seleccionar el perfil interior de la tapa, para que se genere la línea de partición.</p>
		<p>Generada la línea de partición, utilizar el comando superficie de partición. En el casillero línea de partición, marcar la línea de partición y en el casillero, superficie de separación, en la casilla de distancia, asignar un valor de 1mm.</p>
		<p>seleccionar el comando nucleo-cavidad, se abra un ambiente de croquis en el cual se debe marcar el perfil de la superficie de separación y con el comando convertir entidades se transformara en croquis.</p>
		<p>Aceptar y dar la altura tanto de la cavidad como del nucleo (15mm).</p>
		<p>Utilizando el comando mover solido desplazar la cavidad y el nucleo quedando en el centro la tapa original</p>

**Modelación de la Placa porta Hembras**

**Tabla 6.3 MODELACIÓN DE LA PLACA PORTA HEMBRAS**

	<p>En el gestor de diseño insertar en una pagina nueva el solido cavidad.          Marcar el perfil del molde y transformarlo en croquis.          Extruir el croquis 15mm.</p>
	<p>Realizar matriz polar del solido.          Rotar los solidos de tal manera que todas las tapas se encuentren de frente una a la otra.</p>
	<p>Dibujar un rectangulo de 180 X 170, dibujar circulos del mismo diametro de los solidos, Extruir el croquis 15mm.</p>
	<p>Dibujar circulos de igual diametro de la circunferencia interna alrededor de la marca.          Extruir corte del croquis anterior por todo el solido.</p>
	<p>En la cara superior del molde dibujar circunferencias concentricas al corte anterior de diametro 22,260.          Extuir corte de profundidad 5mm</p>
	<p>Modelar los canales de alimentacion de 3mm de radio mediante la funcio extruir corte          De la misma manera las salidas de aire.</p>

	<p>Mediante <b>corte con recubrimiento</b> trazar un cono de 1mm a 0.5mm el cual sera el punto de inyeccion submarina. Perforar los agujeros de las guias de 22mm y las cabezas para la sujecion del castillo de 25mm.</p>
	<p>Trazar los agujeros para el amarre de la placa porta hembras con la placa porta molde. Realizar los agujeros para los canales de refrigeracion.</p>
	<p>Placa terminada.</p>

### 6.1.2 Planos

Ver en anexos 1

### 6.1.3 CAM utilizado

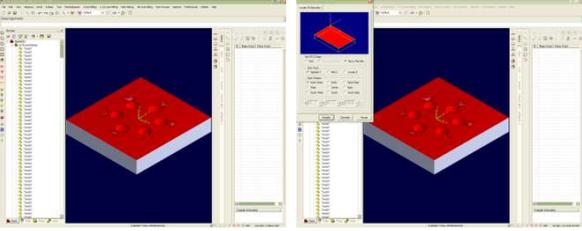
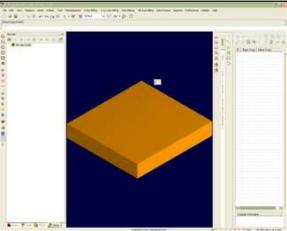
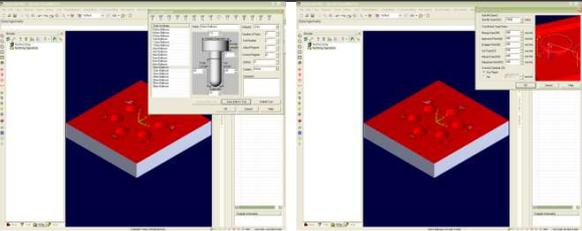
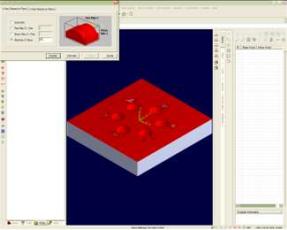
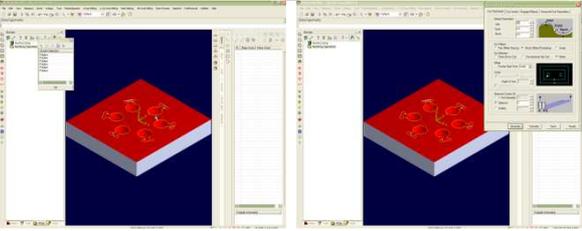
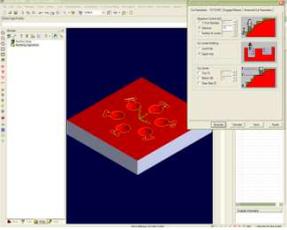
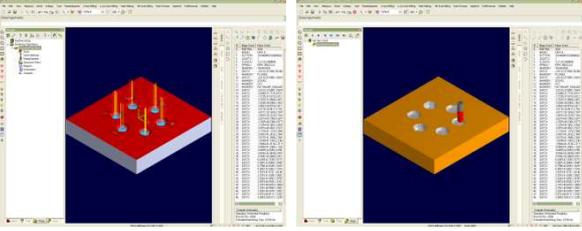
Los programas utilizados para el CAM en la construcción del molde fueron VisualMill 5.0 para la generación de programas y simulación de las geometrías más complejas como los electrodos y la placa porta hembras.

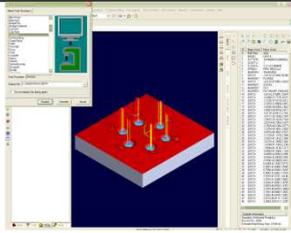
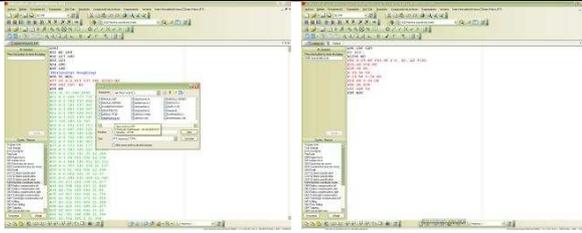
Para los vaciados de las placas se utilizo el software BodCAD-CAM.

## 1.4 Procesos de simulación y generación de programas

### 6.1.4.1 Programa generado mediante VisualMill

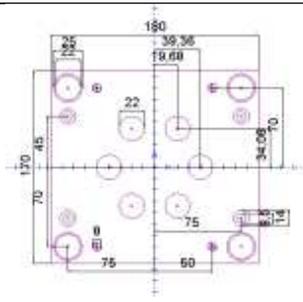
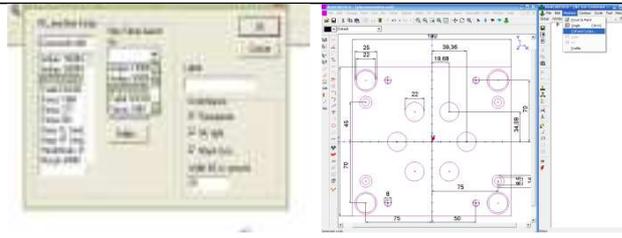
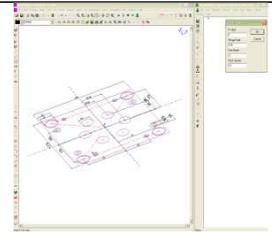
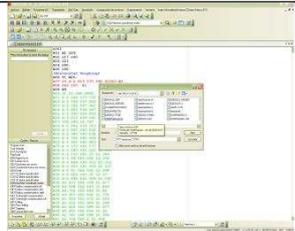
**Tabla 6.4** PROGRAMA GENERADO POR VISUALLMIL

	<p>Abrir el archivo de la placa a realizar el CAM. Y ubicar el centro geométrico.</p>
	<p>Generar la placa a mecanizar.</p>
	<p>Seleccionar la harramienta a utilizar y asignar los valores de velocidad de corte y del husillo.</p>
	<p>Ubicar el punto de seguridad de recorrido de la herramienta</p>
	<p>Seleccionar las regiones a mecanizar. Asignar parametros de exesos, trayectorias y distancia de corte que debe seguir la herramienta.</p>
	<p>Establecer lel valor de la distancia que penetrara la herramienta en cada ciclo.</p>
	<p>Generar el programa de mecanización. Correr la simulación para comprobar el correcto avance de la herramienta.</p>

	<p>Post procesar el programa para transformarlo en código G. Y seleccionar el procesador para el cual se generara el programa.</p>
	<p>Mediante el programa <b>CIMCO</b> abrir el archivo del programa antes generado Una vez abierto el programa transferimos los datos a la CNC, en ese momento la maquina empieza a mecanizar la pieza.</p>

### 6.1.4.2 Programa generado mediante BobCAD-CAM

**Tabla6.5** PROGRAMA GENERADO MEDIANTE BOBCAD-CAM

	<p>Dibujar la placa y los orificios que se vaya a mecanizar. Señalar el centro de cada circulo a mecanizar y seleccionar la función insert an NC-object in to the drawing.</p>
	<p>Seleccionar el tipo de ordenador para el cual se realizara la programación (<b>Cetroid M-400</b>). Seleccionar <b>machine</b> para escoger la estrategia de mecanizado.</p>
	<p>Asignar los parámetros de velocidad.</p>
	<p>La transferencia hacia la CNC se la realiza de la misma forma que con VisulMill, atreves de CIMCO</p>

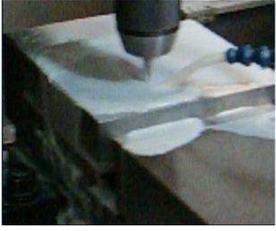
### 6.1.5 Procesos de construcción

Para la construcción del molde de tapas para inyección plástica, el material que primó en la construcción es el AISI 1010 y el acero M238, cumpliendo con las características necesarias y contando con su disponibilidad en el mercado. Las partes constitutivas del modelo se muestran a continuación.

#### 6.1.5.1 Construcción placas porta moldes

**Tabla 6.6** CONSTRUCCIÓN DE PLACA PORTA MOLDES

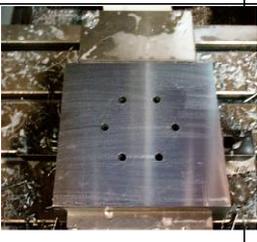
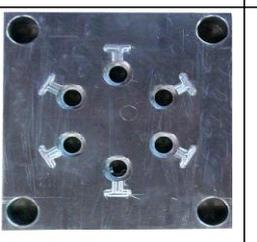
Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
1		Recepción material en bruto			AISI 1010	
2		Planeado	Fresa Madre	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	1.5
3		Encuadrado	Cuchilla de vidia	Fresadora	AISI 1010	2
4		Rectificado	Piedra Abrasiva	Rectificadora	AISI 1010	2
5		Alineación	Reloj Palpador	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5

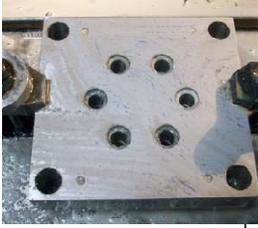
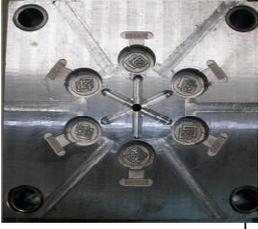
6		Centrado	Palpador de cantos	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5
7		Punteado	Broca de centros	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5
8		Perforado de amarres	Broca d=8,5 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	1
9		Perforado agujero central placa inferior	Broca d=16,5 mm Broca d= 33 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	1.5
10		Perforado agujero central placa superior	Broca d=16 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5

### 6.1.5.2 Construcción placa porta cavidades (hembras)

Tabla 6.7 CONSTRUCCIÓN DE PLACA PORTA CAVIDADES

N°		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
11		Alineación	Reloj Palpador	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5

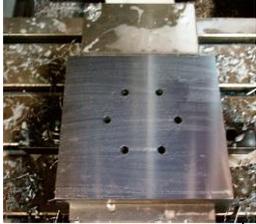
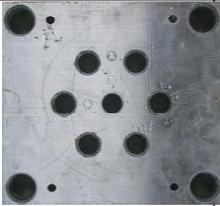
12		Centrado	Palpador de cantos	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
13		Punteado	Broca de centros	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
14		Perforado avidades	Broca d=10 mm Broca d=15 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	2
15		Perforado de guías	Broca d=10 mm Broca d= 15 mm Broca d= 21 mm Rima d= 22 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	2.5
16		Fresado Agarradera	Fresa d= 5 mm, h= 1 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	1
17		Cavidad para bebedero	Broca d= 10mm Broca d=15,5 mm Rima d= 16 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	3

18		Perforado de amarres	Broca d=6,8 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
19		Cavidad para postizos	Fresa d=10 mm, h=5 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	1
20		Erosión cavidad, orejas y punto de inyección.	Electrodos de grafito	Electroerosionadora	M238 Grafito	4
21		Mecanizado de salidas de aire y canales de alimentación.	Broca de 6mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	1

### 6.1.5.3 Construcción placa porta núcleos (machos)

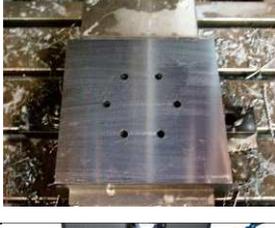
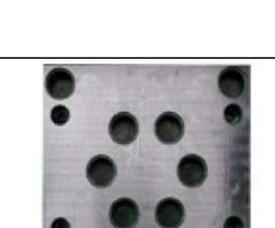
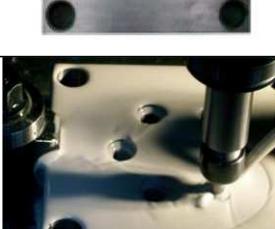
**Tabla 6.8** CONSTRUCCIÓN DE PLACA PORTA NÚCLEOS

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
22		Alineación	Reloj Palpador	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5
23		Centrado	Palpador de cantos	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5

24		Punteado	Broca de centros	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	0.5
25		Perforado de cavidad	Broca d=15 mm Broca d=21 mm Rima d= 22 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	2
26		Perforado de guías	Broca d=15 mm Broca d=21 mm Rima d= 22 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	2
27		Fresado de cabezas	Fresa d=10 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	1
28		Perforado de amarres	Broca d=6,8 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
29		Perforado pernos tope	Broca d=8,5 mm Fresa d=14 mm h=23 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	1

### 6.1.5.3 Construcción placa expulsora

**Tabla 6.9** CONSTRUCCIÓN DE PLACA EXPULSORA

N°		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
30		Alineación	Reloj Palpador	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
31		Centrado	Palpador de cantos	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
32		Punteado	Broca de centros	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
33		Perforado Para cavidades	Broca d=10 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
34		Perforado para guiado	Broca d=15 mm Broca d= 21 mm Rima d= 22 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	2
35		Perforado para pernos tope	Broca d=6,8 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	0.5
36		Fresado de cabezas	Fresa d= 10 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	M238	1,5

### 6.1.5.4 Construcción de machos

**Tabla 6.10** CONSTRUCCIÓN DE MACHOS

N°		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
37		Cilindrado de desbaste	Cuchilla de vidia	Torno	Acero 705	2
38		Cilindrado de acabado	Cuchilla de vidia	Torno	Acero 705	2
39		Perforado de refrigeración y cavidad para o ring	Broca d=14 mm h= 70 mm	Torno	Acero 705	2
40		Temple en aceite		Horno eléctrico	Acero 705	1
41		Ajuste cilíndrico	Buril de carburo	Torno	Acero 705	2
42		Erosión de dñalle	Electrodo de grafito	Electroerosion adora	Acero 705	2

### 6.1.5.5 Construcción canales de refrigeración

**Tabla 6.14 CONSTRUCCIÓN DE REFRIGERACIÓN**

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
43		Perforado de canales en la placa porta hembras	Broca de 5mm	Fresadora	M238	1
44		Perforado de canales en la placa porta moldes	Broca de 5mm	Fresadora	AISI 1010	1
45		Mecanizado agujeros en la placa porta moldes para refrigeración machos	Broca de 5mm Fresa de 5mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	AISI 1010	2

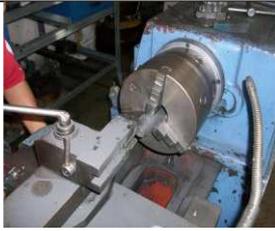
### 6.1.5.6 Construcción de electrodos

#### Electrodo para Postizos

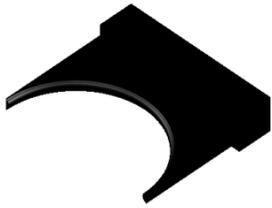
**Tabla 6.11 Construcción de electrodos para postizos**

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
46		Cilindrado del material	Cuchilla de HSS	Torno	Grafito	2
47		Grabado del logotipo	Fresa HSS	Centro de mecanizado vertical (CNC)	Grafito	0.5
48		Electrodo terminado			Grafito	

**Electrodo para Cavidad placa porta hembras****Tabla 6.12 CONSTRUCCIÓN DE ELECTRODO PARA CAVIDADES**

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
49		Cilindrado de desbaste	Cuchilla de HSS	Torno	Grafito	2
50		Cilindrado de acabado	Cuchilla de HSS	Torno	Grafito	2
51		Mecanizado de ranura circular	Cuchilla de 0.5	Torno	Grafito	1
52		Fresado de ranuras	Fresa d=0,8 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	Grafito	1
53		Electrodo Terminado			Grafito	

**Electrodo para ranura machos****Tabla 6.13 CONSTRUCCIÓN DE ELECTRODO PARA MACHOS**

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
54		Fresado de forma	Fresa d=8 mm	Fresadora	Grafito	1

**Electrodo para orejas de la tapa****Tabla 6.14 CONSTRUCCIÓN DE ELECTRODO PARA OREJAS TAPA**

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
55		Mecanizado de forma	Fresa d=1.5 mm Fresa d=0.5 mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	Grafito	2

**6.1.5.7 Construcción de postizos****Postizos para Marca****Tabla 6.15 CONSTRUCCIÓN DE POSTIZOS MARCA**

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
56		Cilndrado de desbaste	Cuchilla de vidia	Torno	705	2
57		Cilndrado de acabado	Cuchilla de vidia	Torno	705	1
58		Erosión de logotipo	Electrodo de grafito	Electroerosi onadora	705	2

**6.1.5.8 Construcción de guías y bujes**

**Tabla 6.16** CONSTRUCCIÓN DE GUÍAS Y BUJES

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
59		Cilindrado de desbaste	Cuchilla de vidia	Torno	705	2
60		Temple en aceite	Horno eléctrico, recipiente con aceite		705	1
61		Cilindrado de acabado	Cuchilla de Carburo	Torno	705	2

### 6.1.5.9 Construcción del bebedero

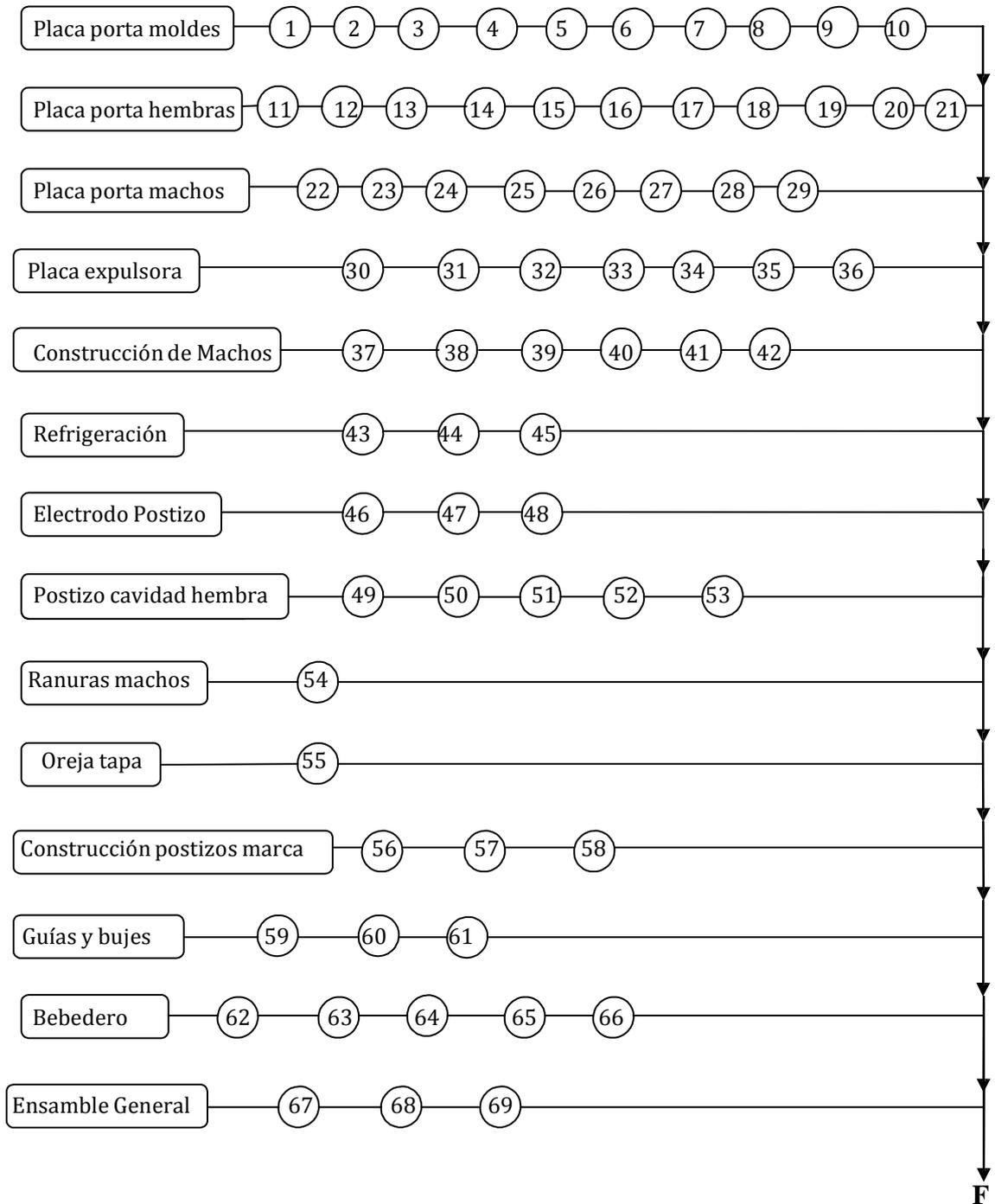
**Tabla 6.17** CONSTRUCCIÓN DE BEBEDERO

Nº		Proceso	Herramienta	Maquinaria	Material	Horas
62		Cilindrado de desbaste	Cuchilla de vidia	Torno	705	0.5
63		Cilindrado de acabado	Cuchilla de vidia	Torno	705	0.5
64		Perforado agujero de alimentación	Broca de 5mm de diámetro	Torno	705	0.5

65		Cilindrado cónico de agujero de alimentación	Rima cónica de 5 a 6 mm	Manual	705	0.5
66		Mecanizado de canales de alimentación hacia la placa porta hembras	Fresa de 6mm	Centro de mecanizado vertical (CNC)	705	0.5

Nº	Ensamble general	Operación Tecnológica	Horas
67		Ensamble placa porta moldes y placa porta cavidades	2.5
68		Ensamble placa porta machos, placa expulsora y placa porta moldes	3
69		Pruebas de funcionamiento	2
<b>TOTAL</b>			<b>85.5</b>

## Flujograma de construcción



## 6.2 Montaje del molde

### 6.2.1 Montaje en sitio. Normas de seguridad

Para el montaje del molde se debe procurar, utilizar una inyectora que satisfaga la cantidad del gramaje total de inyección, que necesita el molde para un llenado total de las piezas el mismo que va de la mano con la presión de inyección.

En este caso la maquina utilizada es una inyectora ARBURG 221-55-250 de 100 bares de presión y máximo 35 gramos de inyección, con una distancia entre columnas de 200mm.



**Figura 6.1 Inyectora ARBURG 221-55-250**

**Proceso de montaje del molde.**

**Tabla 6.19 PROCESO DE MONTADO DEL MOLDE**

	<p>Se coloca las placas porta molde, porta machos y expulsora previamente amarradas en el lado del CLAM, que es el lado móvil de la maquina inyectora y las sujetamos por medio de los pernos de sujeción de la maquina.</p>
	<p>Como segundo paso, una vez amarradas la placa porta molde y la placa porta hembras se procede a colocarlas sobre las guías de las placas anteriormente colocadas.</p> <p>Se hace uso de un bloque de bronce para colocar las placas en su sitio.</p>
	<p>Serramos las puertas del CLAM y se lleva el molde hacia el husillo para su posterior centrado y sujeción de las placas porta molde y porta hembras que conforman la parte fija de la maquina.</p>

	<p>Una vez bien asegurado el molde procedemos a abrirlo y cerrarlo para comprobar su correcto cierre.</p>
---	---

#### 6.4 Pruebas en producción

Previo a la construcción del molde de 6 cavidades, se construyó un molde pequeño de una sola cavidad, el cual se montó en un Mayal, que es una máquina inyectora manual.

Con el objetivo de comprobar el correcto ajuste de la tapa a la válvula y las dimensiones de la oreja.

**Tabla 6.20 PRUEBAS**

	<p>La primera tapa de prueba no se llenó, debido a que el mayal es una máquina de inyección manual, y depende mucho de la fuerza de la persona que opera la misma para que se inyecte correctamente el polímero en la cavidad del molde.</p>
	<p>Es necesario que el molde de prueba se encuentre lo más caliente posible para que el polietileno fundido fluya por el molde de prueba. Por ello se realizaron varias inyecciones hasta que el molde se calentó.</p>
	<p>Al proseguir con las inyecciones la tapa se llenó satisfactoriamente. Pero se observó que la ranura para la ruptura de la tapa era muy gruesa, se determinó que el espesor de la ranura debe ser de una décima.</p>

	<p>Una vez mecanizado el molde con las correcciones y detalles previamente dichos. Se procede a las pruebas en la máquina inyectora, la cual necesita un precalentamiento de unos 30 minutos aproximadamente hasta que las niquelinas lleguen a la temperatura deseada.</p> <p>Utilizando una mezcla de polietileno de alta con polietileno de baja en una proporción de 50-50</p>
	<p>La primera inyección se realizo con un parámetro de 50 bares.</p> <p>Como se observa la tapa no se llena en su totalidad.</p>
	<p>Luego se aumento la presión hasta 55 bares pero el resultado es casi el mismo.</p>
	<p>Se sigue variando la presión hasta que se llene por completo la tapa. Siendo 65 bares la presión de trabajo.</p> <p>Pero el resultado obtenido no es satisfactorio ya que este material hace que la tapa no se pueda romper fácilmente, ya que presenta un comportamiento elástico.</p>
	<p>Se procede a cambiar la mezcla y ahora se trabajará con un 70% de polietileno de alta y un 30% de polietileno de baja.</p>
	<p>Hay que esperar que el material se homogenice.</p>

	<p>Se empieza a obtener el color deseado y con la resistencia mecánica adecuada.</p>
	<p>Se obtiene un producto final de buena calidad. Se procede a realizar las pruebas en el cilindro de gas.</p>
	<p>Cumple satisfactoriamente con lo requerido.</p>

## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS DE COSTOS Y MANTENIMIENTO

#### 7.1 Costos

##### 7.1.1 Costo directo

**PROYECTO:** Construcción de un molde para inyección plástica

**FECHA :** 28-04-2009

**ITEM :** 01

**UNIDAD:** Kg

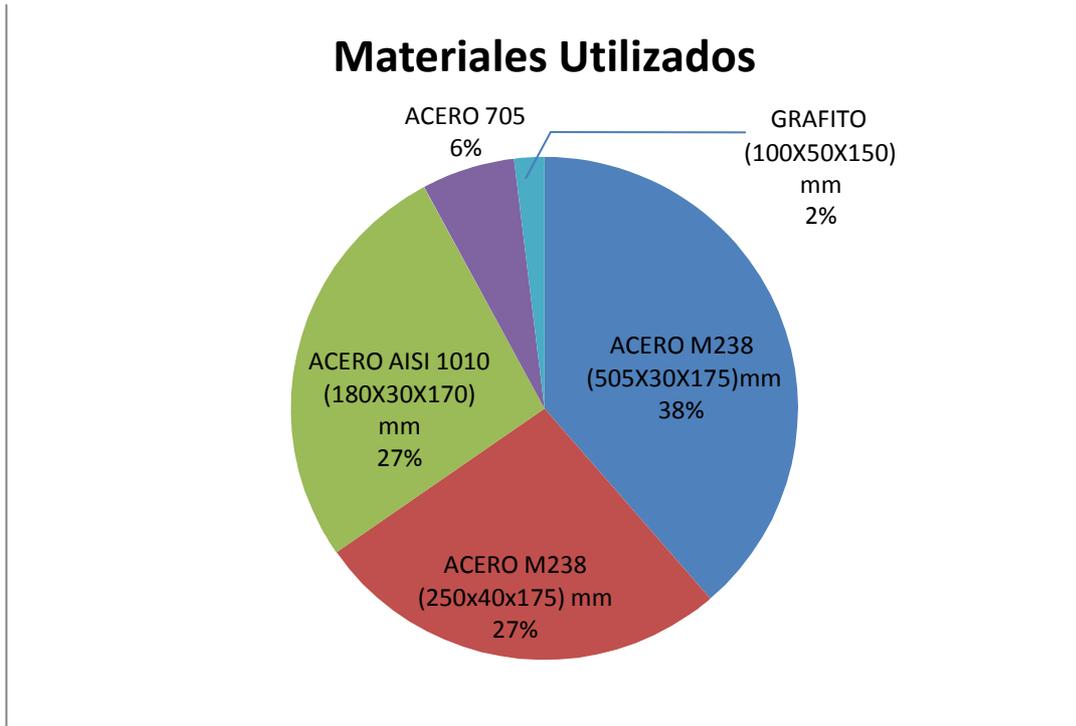
INSUMOS	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Total + IVA (USD)
ACERO M238 (505X30X175)mm	Kg	21,6	10,2	246,76
ACERO M238 (250x40x175) mm	Kg	14,9	10,2	170,22
ACERO AISI 1010 (180X30X170) mm	Kg	15	5,55	93,24
ACERO 705	mm	7	6	47,04
GRAFITO para Electrodo 50X35 mm	plg <sup>3</sup>	2	3,8	8,51
GRAFITO Electrodo para el Macho 8X40 mm	plg <sup>3</sup>	1	3,8	4,26
GRAFITO Electrodo para Marca 20X20 mm	plg <sup>3</sup>	1	3,8	4,26
<b>Subtotal Insumos</b>		<b>62,50</b>		<b>574,28</b>

\*Nota: El valor del transporte de los materiales está incluido en el precio final de los mismos.

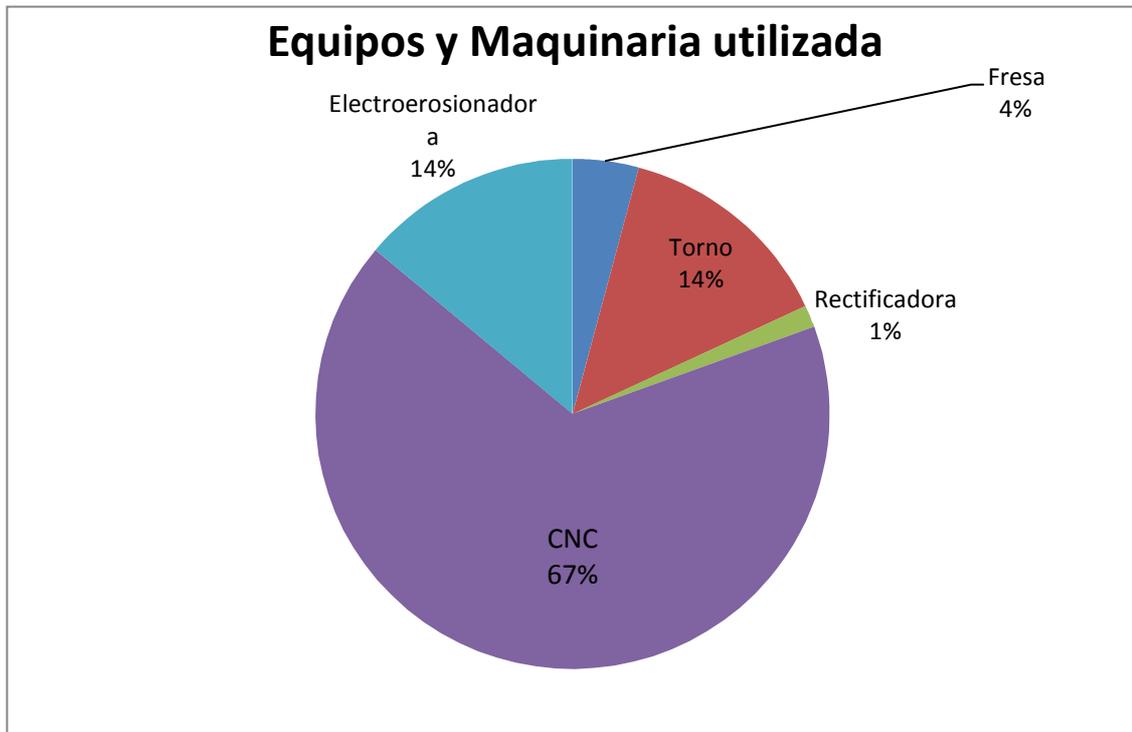
EQUIPO Y MAQUINARIA	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Total (USD)
Fresadora	h	5,00	20	100,00
Torno	h	20,00	20	400,00
Rectificadora	h	8,00	20	160,00
Centro de mecanizado vertical CNC	h	15,00	20	300,00
Electroerosionadora	h	30,00	20	600,00
<b>Subtotal Maquinaria</b>		<b>78,00</b>		<b>1560,00</b>
MANO DE OBRA	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Total (USD)
Técnico en manufactura CAM	h	30,00	6,2	186,00
Operadores MH convencionales	h	40,00	1,6	64,00
<b>Subtotal de mano de obra</b>				<b>250,00</b>

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 3099,56</b>
----------------------	-------------------

Tabla 7.1 COSTOS DIRECTOS



**Figura 7.1** Material utilizado



**Figura 7.2** Equipo y maquinaria utilizada

#### 7.1.2 Costos indirectos

**Tabla 7.2** COSTOS INDIRECTOS

<b>MOVILIZACIÓN</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Riobamba – Pelileo	pasajes	192,00	1,50	288,00
<b>Subtotal de transporte</b>				<b>288,00</b>

<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS Y DE OFICINA</b>				
Resmas de papel		2,00	3,75	7,50
Cartucho BN		1,00	22,00	22,00
Cartucho Color		1,00	24,00	24,00
Empastado Tesis		5,00	7,00	35,00
Planos	A4	60,00	0,45	27,00
Gastos Varios				30,00
<b>Subtotal de gastos administrativos</b>				<b>145,50</b>
<b>COSTO INDIRECTO</b>				<b>433</b>

**UTILIDAD 0**

## 7.2 Costo total

**Costo total (USD)**= Costo directo + Costo indirecto

**Costo total (USD)**= 3099,56 + (433)

**Costo total (USD)**= 3533,06

### Costo de unidad por cada tapa de cilindro de gas

Se analiza el costo necesario para la producción de las tapas de cilindro de gas, tomando en cuenta los elementos que intervienen para la producción sacando el costo total mensual de los mismos para luego proceder a sacar los costos unitarios.

Cada tapa pesa 1,56 gr, por cada ciclo de inyección obtengo 6 tapas y por cada hora se tiene idealmente 1440 tapas, trabajando 10 horas diarias se tiene 14400 tapas de cilindro de gas. Si idealmente se tiene una demanda de 100000 tapas mensuales se puede obtener este valor en una semana.

En cuanto a peso por las seis tapas se consume un promedio de 12, 56 gr de polietileno de alta densidad, y cada tapa incluyendo la mazarota pesa 2,10 gr de PET. Con 1Kg.se produce 475 tapas /kg

y para la producción de 100000 tapas necesitamos 147 Kg, de tal forma que mensualmente se tiene el siguiente costo:

**Tabla 7.4** COSTOS MENSUAL DE IMPLEMENTOS

	<b>Materia Prima virgen</b>	<b>Materia prima reciclada</b>
<b>Costo mensual</b>	<b>Precio Mensual (USD)</b>	<b>Precio Mensual (USD)</b>
Materia prima (x 147 Kg)	514,5	367,5
Energía (10 horas diaria)	200,00	200,00
Costo por hora de inyección	20,00	20,00
Mano de obra	218,00	218,00
Arriendo de local	150,00	150,00
<b>COSTO TOTAL MENSUAL</b>	<b>1102,5</b>	<b>955,5</b>

Para sacar el precio unitario dividimos el costo mensual o el costo unitario de cada implemento que se necesita para la producción para el número de tapas que se producen mensualmente, obteniendo así lo siguiente:

**Tabla 7.5** COSTOS UNITARIO

		<b>Materia Prima Virgen (USD)</b>	<b>Materia prima Reciclada (USD)</b>
<b>Variables de Costo/hora</b>	<b>Cantidad/hora</b>	<b>Precio/ tapa</b>	<b>Precio/ tapa</b>
Costo de materia prima PET (Precio x 2,1 Kg)	10	0,01	0,012
Costo de Energía / tapa	1	0,001	0,001
Costo por hora inyección	0,015	0,00001	0,00001
Costo de mano de obra	1,1	0,0008	0,0008
Arriendo del local	0,75	0,001	0,001
	<b>TOTAL</b>	<b>0,02</b>	<b>0,014</b>

Si se comercializa la tapa a \$0,025 se tiene los siguientes datos:

**Tabla 7.6** COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN Y GANANCIAS

	<b>Con Materia Virgen (USD)</b>	<b>Con Materia Reciclada (USD)</b>
<b>Ingresos por venta/100000</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>
<b>Costo de producción</b>	<b>2000</b>	<b>1700</b>
<b>Ganancia aproximada por venta de tapas</b>	<b>500</b>	<b>800</b>

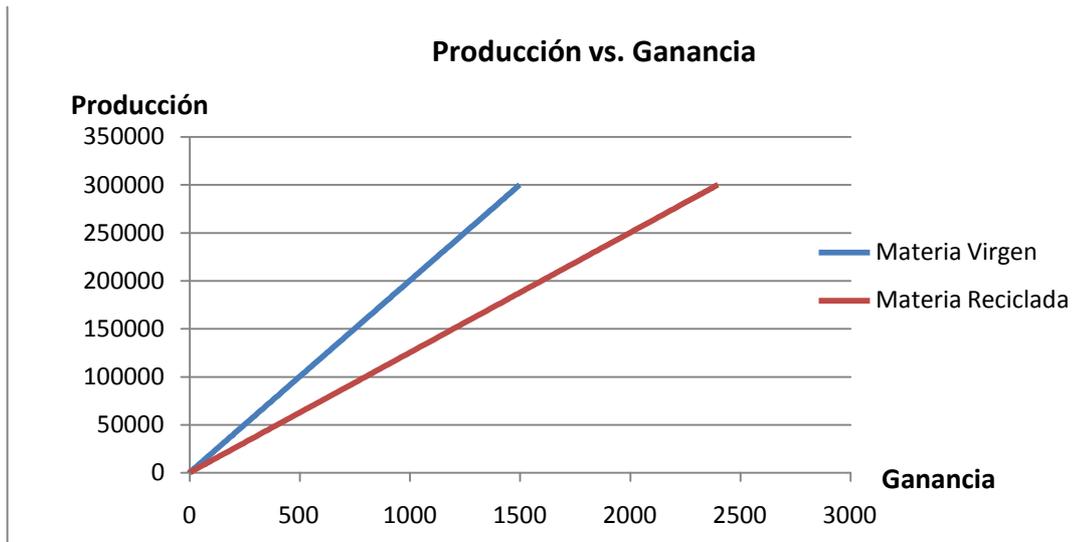


Figura 7.3 Producción vs. Ganancias

El rendimiento ideal de nuestro producto es  $n=1,25$  el cual garantiza que el posible proyecto que se presenta tiene viabilidad.

Se invirtió \$3533,06 dólares, la inversión se recupera en:

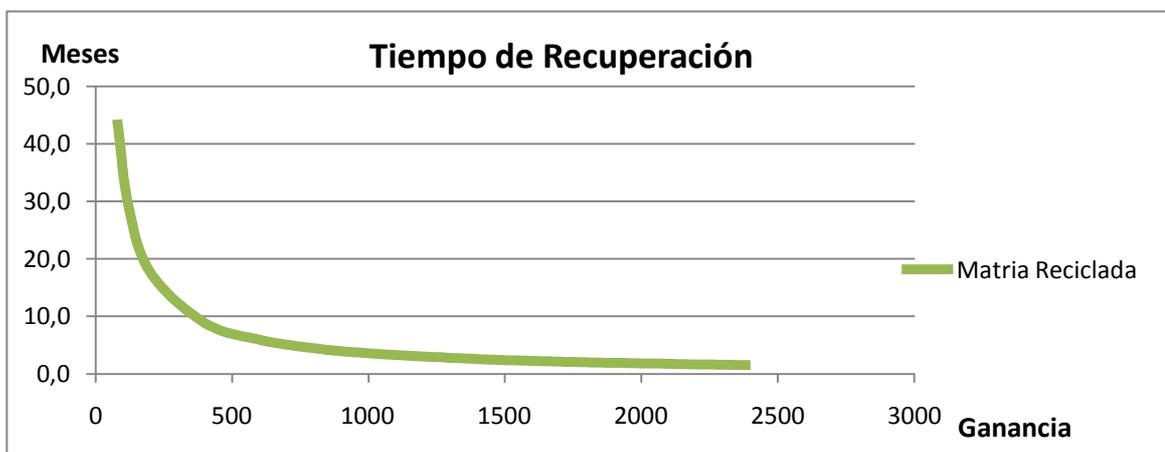


Figura 7.4 Tiempo de recuperación.

### 7.3 Mantenimiento [7]

Como hemos dicho antes el molde es la parte más delicada y costosa del proceso de inyección., por lo tanto tenemos que utilizar el máximo cuidado en su manejo y utilizar los sistemas de mantenimiento preventivo necesarios para evitar roturas y aumentar la vida útil del mismos. Los mantenimientos preventivos a realizar en el molde pueden ser:

1. Cuando ésta montado en la máquina de inyección
2. Cuando está fuera de máquina.

#### Montado en la máquina de inyección

Los trabajos de mantenimiento que podemos hacer en máquina, tienen que ser aquellos que son rápidos y que evitaren deterioros en el molde a corto tiempo. Estos podrían ser:

- a) Limpieza de la partición del molde: la zona de ajuste del molde se suelen ir quedando restos de material, pequeñas partículas producidas en el desmoldeo. (Nota: Desmoldeo, acción por la cual la pieza solidificada sale de las partes del molde, bien sea en la abertura de las dos mitades del molde o por la acción de la expulsión de la máquina). También los gases de la transformación del plástico suelen licuarse/solidificarse parcialmente en esta zona y principalmente en aquellas que corresponden a la última zona de llenado de la pieza. La limpieza se suele hacer con alcohol u elemento similar.
- b) Limpieza de las salidas de gases: las salidas de gases practicadas en el molde en las zonas de terminación de la pieza, suelen ir tapándose progresivamente. Es necesario limpiarlas y dejarlas efectivas para evitar defectos en las piezas y deterioro en la superficie del molde en dichas zonas.
- c) Engrasar columnas o guías del molde y alojamientos: dado que estas zonas están muy ajustas es necesario que estén bien lubricadas con grasas especiales para guías. Si no se realiza, el gripado de las columnas y alojamientos pueden aparecer y con mayor seguridad en aquellos casos en que tenemos temperaturas diferentes (dilataciones diferentes) en ambas mitades del molde. (Nota: gripamientos, cuando dos elementos metálicos con una calidad superficial, se desplazan uno contra otro, un numero alto de veces y sin elemento lubricante, se produce un deterioro progresivo de las superficies, dependiendo de la dureza de las mismas, que hace que el rozamiento sea mayor y el deterioro según progresan los desplazamientos).
- d) Eliminar arrastres/negativos: el portaje del molde, o zona de ajuste que corresponde a la parte más próxima a la pieza, pueden aparecer pequeños negativos (nota: Llamamos negativo en el molde a aquellas zonas del mismo que no llevan exactamente la misma

dirección de desmoldeo de la pieza). Estos pequeños negativos ocasionan los arrastres de material en la pieza. Estos arrastres son pequeños restos de material plástico sólido, que suele quedarse en la zona de ajuste que hace el negativo. Cuando cierra el molde nuevamente, la zona de ajuste del mismo, pisa el resto de material, deformando el acero del molde y a su vez creando mayor negativo, lo que ocasiona que en el próximo ciclo de inyección se cree mayor arrastre. Vemos que a medida que se trabaja se va deteriorando más el molde, por lo tanto la intervención tiene que ser rápida.

- e) Engrase de otros elementos móviles del molde: pueden existir otros elementos móviles del molde, que tengan fácil acceso como son las correderas y guías de corredera. Como concepto podemos decir que cualquier elemento móvil de un molde que no tenga sistema de engrase o utilice elementos autolubricantes (por ejemplo casquillos de grafito), tienen que ser engrasados periódicamente.
- f) Ruidos en molde anormales: es necesario conocer los ruidos normales del molde cuando está trabajando, para detectar cualquier ruido anormal del mismo, síntoma de que algo no funciona correctamente. El solo acercase al molde y sin parar la máquina observar cómo trabaja y los sonidos que tiene, es un mantenimiento que puede detectar averías que en principio son pequeñas, pero que si no se solucionan pueden ser de gran envergadura.
- g) Comprobación del atemperador del molde: la comprobación del atemperador del molde o del sistema de refrigeración del mismo, puede detectar anomalías del mismo que además de incidir directamente en la calidad de las piezas, puede perjudicar seriamente al molde (roturas de expulsores...) por un sobrecalentamiento excesivo.
- h) Pulido rápido: es posible que aparezca en la superficie del molde alguna zona mate o defecto superficial, que con un poco de diamante líquido y algodón, se puede eliminar rápidamente. (Nota: Diamante líquido-pastoso, elemento utilizado para sacar el brillo espejo a un molde en la última fase de pulido).
- i) Cuando se termina la serie: cuando se ha terminado la serie y se va a cambiar el molde, hay que tener la precaución de limpiar ambas superficies del molde y proteger con líquido protector (es como un aceite especial que no gotea). De aquí puede ir al almacén de moldes o al taller para revisión o reparación.

Los moldes pueden ser abusados por las presiones excesivas de la abrazadera, altas presiones de la inyección, over-packing/flashing de la pieza, moviendo de un jalón al molde abierto y cerrado, no lubricar apropiadamente los componentes, la eyección múltiple, todo esto puede causar a su molde un desgaste excesivo. La clase de mantenimiento que usted puede darle al molde es reducir el abuso interno de la herramienta.

- Tener una operación limpia, utilizando las maquinas con mantenimiento
- Inspección. Cada 20,000 ciclos, o cada 10 días de producción
- Mantenimiento. Cada 100,000
- Mantenimiento importante. Cada 250,000 ciclos

### **Cuando esta desmontado el de la máquina de inyección**

El mantenimiento preventivo mejora la vida de su molde por lo tanto antes de retirar el molde se deben tomar en cuenta algunos aspectos:

- El molde debe de estar a temperatura ambiente, ya que el molde se enfrentaría a cambios de temperatura lo cual haría una condensación y esta causa moho y oxido.
- Todas las líneas de agua se deben drenar
- Las superficies, la base y la cavidad se deben de limpiar con un solvente y toallas para quitar cualquier acumulación de gases, grasas y otras resinas que se acumulen. Este procedimiento de limpieza no debe de tomar más de 10 minutos.
- El sistema eyector debe ser movido para rociar ambas mitades del molde con el lubricante (comoWD-40).
- Compruebe y asegure que estén en su lugar todos los pernos, placas, etc.
- Cuando el molde se prepara de almacenaje y se alista para su funcionamiento de producción, abra el molde y limpie de nuevo las superficies, la base y la cavidad.

Las superficies altamente pulidas del molde no se deben limpiar con una toalla. En lugar de eso rocíe las superficies con el solvente y límpielas con aire ya que el polvo o la suciedad en sus dedos o con las toallas podrían dañar la superficie.

El mantenimiento preventivo debe ser hecho cada vez que el molde entra a funcionar y cada vez que se quita. La inspección es observar problemas pequeños y programarlos para las reparaciones. Esta clase de mantenimiento se debe realizar por un operador o una persona experimentada, después de 20,000 ciclos, de 10 días de producción, o al final de una producción.

- Examine el molde y busque el daño de menor importancia o si se requiere algún trabajo de retoque.
- El molde se debe de limpiar con un solvente para quitar el barniz y el acumulo de material del proceso de moldeado
- Los pernos doblados, usados o rotos del eyector deben ser revisados y en caso de que se requiera sustituidos

Este nivel se debe realizar solamente por constructores de moldes expertos.

- Se separan todas las placas y se limpian sus caras.
- Todos los componentes se revisan para saber si hay algún desgaste. Se observa cualquier desgaste excesivo ya sea para reparación, sustitución o para continuar utilizándolo.
- Cualquier área de detalle de la cavidad con tallones, abolladuras u otras muestras del desgaste o del abuso se debe considerar críticas y debe ser analizada cuidadosamente antes de que procedan cualquiera de otros reemplazos o reparación.
- Todas las piezas móviles deben ser lubricadas. Utilice poco lubricante en todas las piezas móviles que hagan contacto con las piezas plásticas.
- Los anillos y los sellos se deben revisar para si hay integridad.
- Todas las líneas de agua deben ser probadas a presión para checar los escapes y la capacidad de flujo.
- El sistema eyector se debe checar para la alineación, al igual los pernos guía para ver su desgaste si pueden continuar o deben de ser sustituidos.
- Si los componentes de repuesto no están disponibles hay que ver los nuevos componentes contruidos e instalar de acuerdo a los diseños originales.
- Si los pernos principales, bujes y todas las superficies móviles se encuentran desgastadas según las especificaciones deben de ser sustituidas.

## CAPÍTULO VIII

### 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

Al diseñar un molde para una pieza obtenida por inyección plástica, es importante tomar en consideración que el objetivo es producir piezas con la mejor calidad, en un ciclo de inyección tan corto como sea posible.

El diseño y fabricación del molde con tecnología CAD/CAM/CAE, permitieron la modelación, la manufactura y la validación del diseño desarrollado, sin embargo, es importante anotar que todo está respaldado en un conocimiento de la Ingeniería Mecánica.

En este trabajo, se ha pretendido dar a conocer las características más importantes del mecanizado mediante CNC, de acuerdo a las posibilidades de su aplicación en sectores como la industria mecánica, especialmente en moldes y matrices. Ésta es la tendencia del mundo industrializado que busca las vías tecnológicas para satisfacer las exigencias del mercado en cuanto a calidad, rapidez y costos de los productos mecanizados.

Para la manufactura de los componentes del molde, se utilizó máquinas herramientas con control numérico (CMV). Para el mecanizado de superficies pequeñas en materiales duros, se optó por realizarlas en materiales de menor resistencia mecánica como el grafito, que son electrodos utilizados para la electroerosión de los detalles en los materiales duros. Para los elementos estandarizados se construyeron en máquinas herramientas convencionales.

Para el diseño de cavidades se concluyó que el número de las mismas va en función del costo de fabricación del molde, el número de piezas a producir (Demanda) y por la capacidad de inyección de la maquina disponible.

La selección de materiales para cada placa del molde es importante, puesto que cada una tiene una función mecánica diferente y están sometidas a distintos esfuerzos. El material óptimo para todo el molde diseñado es el acero M238, pero por costos de fabricación se optó también por los aceros AISI 1010 para la placas porta moldes y porta machos y el acero 705 para guías, columnas y machos.

La fabricación del molde y accesorios, se construyó en la ciudad de Pelileo en la empresa AUPLATEC, porque ésta cuenta con máquinas herramientas con control numérico, valioso personal técnico bajo la acertada dirección del Ing. Carlos Cruz Ayala.

El sistema de refrigeración diseñado fue el más óptimo, dándonos buen desempeño del molde que garantiza la correcta relación entre la inyección y la refrigeración, ya que un molde

demasiado frío no permitiría el correcto llenado de la pieza y un molde demasiado caliente produciría que se quemara el material y por ende deformaciones en la pieza.

La presión se controla en el momento de la calibración de la máquina, mediante inyecciones de prueba ya que esta es un parámetro muy importante tanto en el diseño como en la producción de las piezas inyectadas, puesto que una presión baja no permite el llenado total del molde y una presión elevada generaría rebabas en la pieza.

El producto final es de buena calidad y cumple con las exigencias del consumidor, ya que permite su correcta colocación en la válvula del cilindro de gas sin presentar rupturas y garantiza la inviolabilidad del sello de seguridad, ya que solo se puede retirar la tapa de la válvula rompiendo la misma.

## **8.2 Recomendaciones**

Para un correcto diseño y manufactura de una matriz para inyección plástica los recursos necesarios (humanos, instalaciones, equipos, materiales, herramientas, etc.) debe ser previamente localizados para llevar a cabo la fabricación del molde.

Realizar un estudio previo del molde, donde se pueda verificar la geometría de la pieza y viabilidad del mismo, para generar una oferta para su diseño y construcción.

Tomar en cuenta las características del polímero con el cual se piensa trabajar, ya que las temperaturas y presiones de trabajo varía según el polímero, más aún si se trabaja con material reciclado.

Si se trabaja con material reciclado se debe utilizar únicamente material que haya sido inyectado y evitar en su totalidad material que haya sido soplado, puesto que al utilizar material de soplado originaría problemas de llenado de piezas y descalibración de las máquinas de inyección por falta de homogeneidad.

En la Facultad de Mecánica se debería adquirir nuevos softwares para CAD/CAM, debido que en nuestra formación profesional se contempla como materia optativa la Matricería, siendo estos una herramienta necesaria para la elaboración visual del producto.

# PLANOS