

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**MICROMOLDEO**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**PRESENTA:**

**RAUL ABELARDO PUENTE ESPINOZA**



**CENTRO DE INFORMACIÓN**

**13 OCT 2006**

**SALTILLO, COAHUILA**

**RECIBIDO**

**AGOSTO 2006**

# **CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



## **MICROMOLDEO**

### **CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**PRESENTA:**

**RAUL ABELARDO PUENTE ESPINOZA**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. RAFAEL AGUIRRE**

**SALTILLO, COAHUILA**

**AGOSTO 2006**

# **CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



## **MICROMOLDEO**

### **CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**PRESENTA:**

**RAUL ABELARDO PUENTE ESPINOZA**

**EVALUADORES**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Luisa López Q.', written over a horizontal line.

**M.C. MARIA LUISA LÓPEZ .Q.**

**PRESIDENTE**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Quiroz López', written over a horizontal line.

**M.C. JESÚS G. QUIROZ LÓPEZ**

**VOCAL**

**SALTILLO, COAHUILA**

**AGOSTO 2006**

---

## TABLA DE CONTENIDO

<b>I.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II.- REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>II.1.- Proceso de Moldeo por Inyección.....</b>	<b>4</b>
II.1.1 Principales componentes de una máquina inyectora. ....	5
II.1.2 Ciclo de inyección. ....	9
II.1.3 Variables del proceso de moldeo por inyección. ....	12
<b>II.2.- Micromoldeo.....</b>	<b>15</b>
II.2.1 Características de los equipos de micromoldeo. ....	16
II.2.2 Equipos comerciales actuales de micromoldeo. ....	17
II.2.3 Áreas de aplicación de micromoldeo.....	21
<b>III.- ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO. ....</b>	<b>23</b>
<b>IV.- ÁREAS FUTURAS DE OPORTUNIDAD .....</b>	<b>32</b>
<b>V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>VI.- NOMENCLATURA .....</b>	<b>34</b>
<b>VII.- REFERENCIAS .....</b>	<b>35</b>

---

## I.- INTRODUCCIÓN


El desarrollo de nuevos materiales, como son los materiales modificados con mezclas de materiales nanométricos, a facilitado la tarea de desarrollar sistemas mecánicos reproducibles de tamaño micrométrico y submicrométricos. Debido a los costos que se manejan en el mercado de los nanomateriales, una aplicación costeable de los mismos es el micromoldeo. El principal problema que se plantea en el micromoldeo es la repetitividad de las piezas, debido a la contracción de los materiales en la etapa del enfriamiento.

Un estado del arte dedicado a micromoldeo escrito por el instituto de microtecnología de Mainz GMBH (IMM)<sup>1</sup>, a demostrado la gran variedad de aplicaciones en las que estos sistemas son utilizados por mencionar algunos ejemplos, sistemas de engranajes para micromotores, utilizados en endoscopios de aplicación medica, transmisión de datos y sonido, microbombas, utilizadas en biotecnología, etc.

La característica central del micromoldeo es la transferencia de precisión de micrones y en algunos casos submicrones de material plástico a cavidades metálicas, en este contexto una buena cantidad de problemas deben de ser sobrellevados y solucionados.

En primera instancia las máquinas usadas en moldeo por inyección convencionales, son poco recomendadas para el proceso, debido a la cantidad de material que como mínimo pueden plastificar, además el control que tienen de la masa plástica es muy malo para estas aplicaciones, de hecho las recomendadas en capacidades de plastificación entre 1 y 2 gramos son las que se encuentran en rangos de utilidad. El proceso más recomendado para el moldeo de microcomponentes es la compresión y la transferencia ya que se puede tener un control más correcto de las cantidades, el único problema existente es que el sistema y los elementos por obiedad no permiten que existan excesos (flash).

Las máquinas deberán contar con un control de calentamiento variotermico, que permita inducir transferencia de calor a las zonas requeridas para realizar la fusión exacta, en caso de ser necesaria la existencia de canales de alimentación éstos o los orificios necesarios deberán



---

contar con las características exactas de relación de encogimiento de las secciones ya que al quedarse amarradas, impedirían el siguiente ciclo y obligarían a someter la pieza a choques *térmicos* para liberar las secciones.


El tipo de proceso de microfabricación seleccionado para la realización de los moldes insertos depende de los requerimientos de los productos. Moldes para la compresión utilizados en la elaboración de piezas moldeadas de funcionalidad óptica difractiva requieren que las secciones de las piezas sean con enfriamientos muy similares por lo que el sistema utilizado para la elaboración de las microcavidades es UV-litografía, ya que no modifica el tratamiento térmico superficial del herramental.

El moldeo de productos a partir de un gránulo de resina es un reto que muchos procesadores desean enfrentar. Se está fomentando el desarrollo de nuevas tecnologías en las máquinas de inyección, moldes, manejo de partes y control de calidad.

El moldeo por inyección de piezas que pesan sólo una fracción de gramo, está dando la oportunidad para que los transformadores de plástico puedan atender nuevos mercados en la electrónica, medicina, telecomunicaciones y el sector automotor. Las nuevas aplicaciones están llevando el límite de lo que se considera el moldeo de una pieza y la producción de partes con las especificaciones del polvo, piezas que pesan únicamente 0.0003 gramos y que tienen un espesor de 0.0004 pulgadas; con tolerancias en el orden de +/- 0.0005 pulgadas.

Algunas de las piezas del tamaño de una semilla pequeña tienen la forma de engranajes, carcasas para engranajes, ayudas auditivas, aparatos moldeados interconectados, bobinas, obturadores, sensores, lentes, catéteres, empaquetaduras, rodamientos y componentes de fibras ópticas. Estas partes minúsculas, tienen dimensiones delgadas aun más críticas, tales como huecos de alfiler, pasadores, canales y sistemas de enganche<sup>2</sup>.

El micromoldeo presenta un número de retos que se adicionan a los del moldeo tradicional. Las prensas requieren mayores velocidades y presiones de inyección para empujar la resina fundida a través de boquillas y canales de flujo tan delgados. Las mayores velocidades de



---

inyección ayudan a reducir la viscosidad por efecto del esfuerzo cortante, por lo que se puede garantizar que la resina llene las cavidades antes de que se enfríe.

El moldeo de piezas de estas dimensiones no se hace en máquinas de más de 20 toneladas, por la dificultad en el control de volúmenes de inyección de ese tamaño. También, los tiempos de residencia grandes y la degradación del material pueden ocurrir en barriles de mayor tamaño.

En la producción de partes pequeñas, cualquier variación en el proceso o en el material significa la fabricación de productos defectuosos.

La idea general en esta área, es que los productos elaborados por micromoldeo que fácilmente pueden ser para aplicaciones de nanomateriales.



## II.- REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### II.1.- Proceso de Moldeo por Inyección.

El moldeo por inyección de plásticos es un proceso que depende del adecuado funcionamiento de una *Máquina*, la cual utiliza un *Material* plástico para producir una pieza moldeada mediante su inyección en un *Molde*. Cada uno de estos tres elementos juega un papel muy importante debido principalmente a la estrecha dependencia que existe entre ellos.

Cuando se aplica calor a un material termoplástico para fundirlo se dice que se plastifica. El material ya fundido o plastificado por calor puede hacerse fluir mediante la aplicación de presión y llenar un molde donde el material solidifica y toma la forma del molde. Este proceso se conoce como Moldeo por Inyección

El principio básico del moldeo por inyección comprende las 3 operaciones básicas siguientes:

A.- Elevar la temperatura del plástico a un punto donde pueda fluir bajo la aplicación de presión. Esto se hace normalmente calentando y masticando los gránulos sólidos del material hasta formar una masa fundida con una viscosidad y temperatura uniforme. Actualmente esto se hace dentro del barril de la máquina mediante un tornillo el cual aporta el trabajo mecánico (fricción) que en conjunto con el calor del barril funden (plastifican) el plástico. Es decir el tornillo **TRANSPORTA, MEZCLA Y PLASTIFICA** el material plástico.

B.- Permitir la solidificación del material en el molde cerrado. En esta etapa el material fundido ya plastificado en el barril de la máquina se transfiere (se inyecta) a través de una boquilla que conecta el barril hacia varios canales del molde hasta llegar a las cavidades donde toma la forma del producto final.

C.- Apertura del molde para la extracción de la pieza. Esto se hace después de haber mantenido el material bajo presión dentro del molde y una vez que el calor (el cual se aplicó para plastificarlo) es removido para permitir solidificar el material en la forma deseada.



---

### II.1.1 Historia del desarrollo de las máquinas inyectoras.

El desarrollo de la máquina para el moldeo por inyección se ha visto influido, sin duda, no solo por el creciente número de materiales y tipos de los mismos, capaces de ser moldeados por inyección, sino también por la demanda creciente de artículos de plástico por parte de la sociedad.

Las primeras patentes para una máquina de inyección, registradas a finales del siglo pasado y principios de éste, describían una máquina de inyección por pistón para el moldeo de materiales celulósicos. Así, estas patentes, las cuales en principio describían el proceso de vaciado sobre un dado metálico, se enfocaban principalmente al moldeo de materiales termoplásticos celulósicos.

En 1930 se patentó la máquina de inyección de pistón con sistema de pre-plastificación en dos fases y en 1951 se desarrolló la máquina de inyección con tornillo recíprocante o alternativo la cual fue patentada en 1956 y representó uno de los más grandes desarrollos en la historia del moldeo por inyección.

La velocidad de crecimiento que ha experimentado la industria de inyección de plásticos a partir de 1945 ha sido ciertamente sin precedentes, aún para aquellos que tenían un punto de vista de lo más optimista del futuro de esta industria. Sin embargo, el desarrollo de la maquinaria en los últimos años no ha dado como resultado cambios fundamentales, sino que más bien ha proporcionado perfeccionamientos que han contribuido a mejorar la eficacia de los equipos, hasta llegar a equipos tan completos como los de micromoldeo por inyección.

Entre las principales mejoras en las máquinas de inyección durante los últimos años destacan: el incremento en la capacidad en peso de los moldes para piezas mayores, el diseño de moldes y piezas por computadora mediante herramientas de software (CAD/CAM), el uso de software para el análisis de flujo y enfriamiento en el molde así como para la capacitación y análisis económico del proceso en sí, mayor eficacia en el calentamiento del barril de inyección, mejoras considerables en el control de la presión, temperatura y velocidad de



inyección. El control y automatización cada vez más capaces de controlar el proceso así como el uso de sistemas más sofisticados para la extracción de las piezas (bandas transportadoras, ordenadores de piezas por tamaños, brazos mecánicos o robotizados, etc.) lo cual ha permitido ahorrar mano de obra y controlar mejor la calidad del producto.

Así, por más de 60 años, el moldeo por inyección de termoplásticos ha crecido desde 7 gramos hasta varios kilogramos de capacidad con que se cuenta actualmente. En general se puede considerar que el desarrollo de la parte ingeniería de este proceso ha ido de la mano con el desarrollo de los materiales poliméricos.

El moldeo por inyección comparado con otros procesos de transformación de plásticos, presenta una serie de aspectos tanto favorables como desfavorables que lo caracterizan. Las piezas pueden producirse a altas velocidades, permitiendo alcanzar altos volúmenes de producción; el costo de operario por unidad es relativamente bajo, sobretodo en procesos automatizados; las piezas requieren poco o ningún acabado, pudiéndose elaborar piezas que serían casi imposible de fabricar en gran cantidad por otros métodos; se pueden obtener diferentes tipos de superficies, acabados y colores moldeándose diferentes materiales, sin necesidad de cambiar de máquina o molde en algunos casos; Permite mantener buena tolerancia dimensional; moldear piezas con inserciones, etc.

Por otro lado algunos aspectos desfavorables que lo caracterizan son: costos de moldes y equipo auxiliar relativamente altos; el proceso es susceptible a los rendimientos del operario en máquinas manuales y semiautomáticas y en algunos casos la calidad de la pieza es difícil de determinar inmediatamente entre otros.



## II.1.2 Principales componentes de una máquina inyectora.

En una máquina inyectora para plásticos se pueden identificar diferentes partes fundamentales, las cuales normalmente se agrupan dentro de las siguientes unidades:

### *a) Unidad de cierre.*

Consta de los dispositivos necesarios para la colocación, accionamiento y funcionamiento de las dos mitades del molde. La función principal de esta unidad es sujetar el molde de inyección, suministrar el movimiento y la fuerza necesaria para mantener cerradas y abrir las dos mitades del molde. Sus principales partes son las columnas guías, platinas porta-moldes fijas y móviles y el mecanismo para apertura y cierre del molde.

La platina estacionaria frontal se encuentra fija a la base de la máquina normalmente ocupando la parte central de la misma y conectando, por un lado, la unidad de inyección y, por otro lado, la unidad de cierre. Esta platina es la que soporta una de las mitades (la parte fija) del molde. La platina móvil soporta la otra mitad del molde. Esta se mueve axialmente (hacia adelante y hacia atrás) sobre las columnas guía permitiendo que el molde cierre y abra. Mientras que la platina estacionaria trasera soporta el mecanismo de cierre de esta unidad y es sobre la cual se ejerce la fuerza de cierre para cerrar el molde.

El mecanismo de cierre es el encargado no solo de abrir y cerrar las partes del molde sino de ejercer la fuerza de cierre necesaria para que el molde no abra durante la etapa de inyección. Existen básicamente dos diseños diferentes en los sistemas de cierre utilizados:

- Sistema mecánico con palancas acodadas.
- Sistema hidráulico.

### *b) Unidad de inyección.*

Comprende las partes de la máquina necesarias para la carga, plastificación (fusión) e inyección del plástico. La unidad de inyección realiza las funciones de cargar y plastificar el material sólido mediante el giro del tornillo, mover el tornillo axialmente para inyectar el



material plastificado hacia las cavidades del molde y mantenerlo bajo presión hasta que sea eyectado.

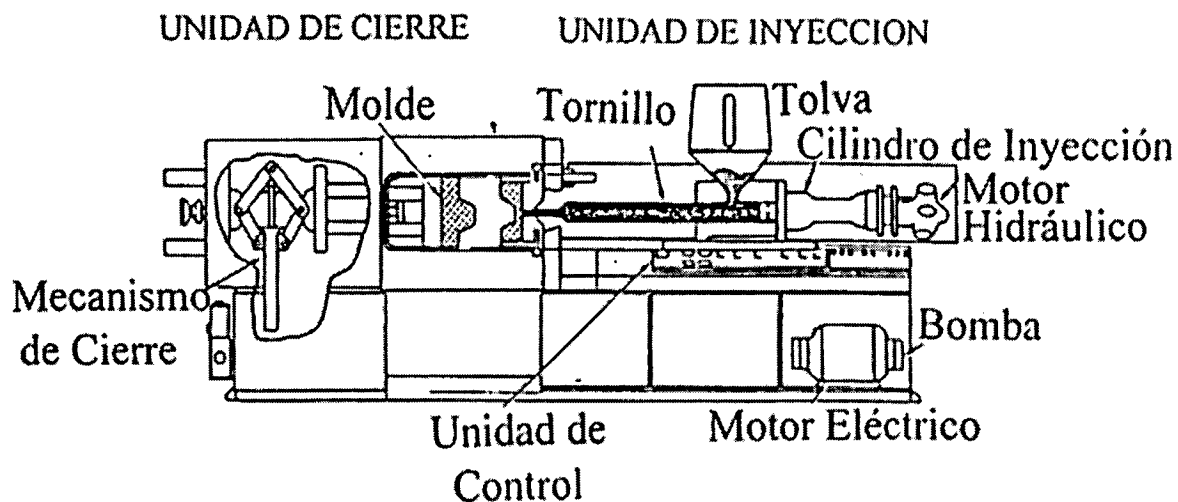



Figura 1. Partes principales de una máquina de inyección.

La unidad de inyección consta de un barril (o cilindro) de acero capaz de soportar altas presiones. Este va cubierto con bandas calefactoras para calentar y fundir el material mientras avanza por el tornillo. El calentamiento del tornillo se hace por zonas y el número de zonas dependerá del tamaño del barril (normalmente se divide en 3 zonas). Dentro del barril se encuentra un tornillo de un acero muy duro, el cual normalmente está pulido o cromado para facilitar el movimiento del material en su superficie. Este se encarga de recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y alimentarlo en la parte delantera hasta que se junta la cantidad suficiente para luego inyectarlo hacia el molde.

### c) Unidad de potencia.

Comprende el conjunto de dispositivos de la máquina necesarios para transformar y suministrar la fuerza motriz a las unidades de inyección y de cierre. Una gran parte de la energía necesaria para la plastificación del plástico es debida al calor de fricción suministrado hacia el material por el motor del tornillo a través del giro de este. Por tanto, durante la etapa



---

de alimentación se consume una gran cantidad de energía; requiriendo un motor adecuado para generar el alto torque inicial.

*d) Unidad de control.*

Es la parte de la máquina necesaria para que el proceso se realice de una forma predeterminada y puede variarse a voluntad, si fuera preciso. El sistema de control esta ligado íntimamente al de potencia, a través del cual las distintas señales se convierten en movimientos de las unidades de inyección y cierre. Existe una gran diversidad de sistemas de control que permiten realizar el proceso desde una forma manual, semi- automática hasta totalmente automatizada.

Cada una de estas partes realizan un cierto número de funciones, que pueden interaccionar tanto como lo requiera el proceso de inyección, si bien la relación de unas con otras no esta determinada por el proceso.

La unidad de inyección y la unidad de cierre son las partes más importantes para definir una máquina inyectora <sup>(3-5)</sup>.

### **II.1.3 Ciclo de inyección.**

El ciclo de inyección es la secuencia de operaciones para la producción de una pieza y comprende las siguientes etapas:

**1. Se cierra el molde vacío,** figura 2, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido, que se va a inyectar, dentro del barril de la máquina. El molde normalmente se cierra en varias etapas: primero con alta velocidad y baja presión deteniéndose antes de que hagan contacto las platinas, posteriormente se mueve a baja velocidad y baja presión hasta hacer contacto las platinas y por último a alta presión hasta alcanzar la fuerza de cierre necesaria para que el molde no se abra durante la inyección.

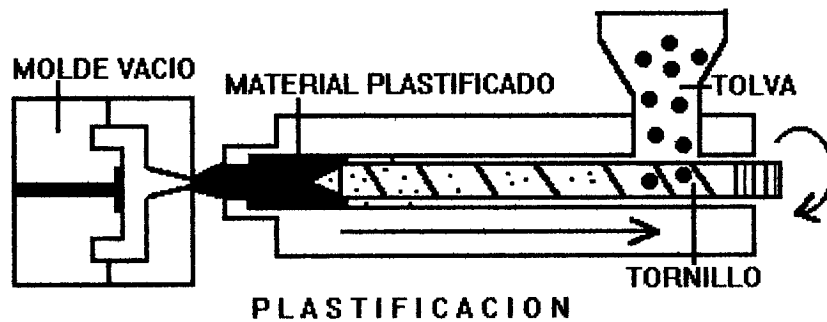


Figura 2. Cierre del molde y comienzo de la inyección.

2. Figura 3. Inyección del material mediante el tornillo, el cual actúa como un pistón (sin girar) forzando el material a pasar a través de la boquilla, hacia las cavidades del molde, con una determinada velocidad y presión de inyección.

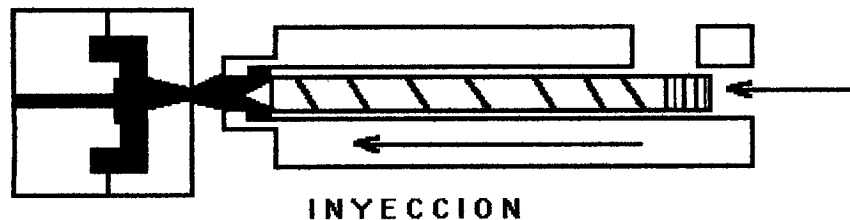


Figura 3. Inyección del material hacia el molde

3. Figura 4. Una vez terminada la inyección, se mantiene la presión sobre el material inyectado en el molde, antes que solidifique, para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento, esto se conoce como aplicar la presión de sostenimiento o post-presión (también conocida como presión de compactación o de recalque) y normalmente se aplican valores menores a los de inyección. Una vez que comienza a solidificar la pieza se puede liberar la aplicación de esta presión.

Aplicación de la presión de sostenimiento

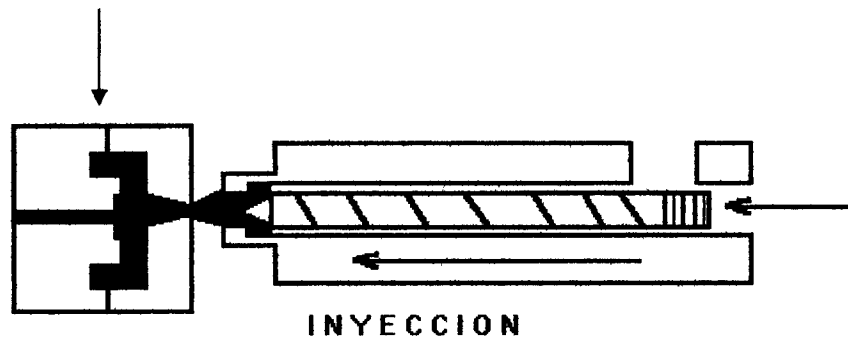


Figura 4. Aplicación de la presión de sostenimiento.

4. Figura 5. Se inicia el giro del tornillo. Al ir girando va tomando gránulos sólidos de la tolva y los va fundiendo (plastificando) con el calor generado por la fricción al girar el tornillo y por el suministrado de las bandas calefactoras. Posteriormente hace pasar el material fundido a la parte delantera del tornillo por lo que comienza a desarrollarse presión contra la boquilla cerrada, orillando a que el tornillo se retraiga (se mueva hacia atrás) mientras sigue girando hasta acumular (dosificar) en su parte delantera, la cantidad de material fundido necesaria para la siguiente inyección. Al término de esta dosificación, el material puede descomprimirse retrocediendo ligeramente el tornillo para evitar que el material se tire por la boquilla, antes de ser inyectado.

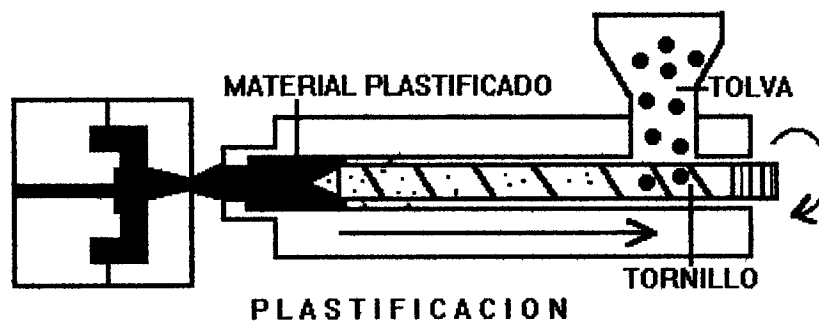


Figura 5. Plastificación del material para la siguiente inyección.

5. Figura 6. El material dentro del molde continúa enfriando, transfiriendo su calor hacia el molde de donde es disipado por el líquido de enfriamiento. Una vez que ha terminado el tiempo de enfriamiento, se abren las dos partes del molde y el mecanismo de expulsión extrae la pieza.

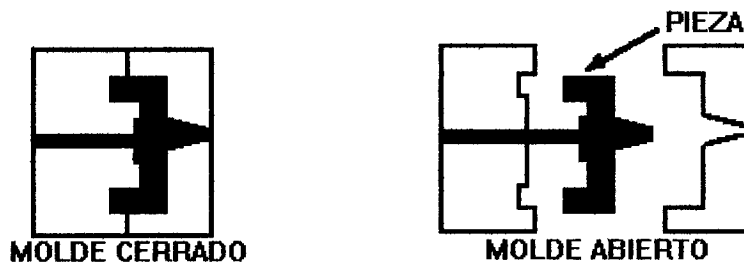


Figura 6. Enfriamiento y extracción de la pieza.

6. El molde cierra de nuevo y el ciclo se repite.

### II.1.3 Variables del proceso de moldeo por inyección.

Presión de inyección: La presión de moldeo tiene que ser proporcionada por la unidad de potencia de la maquina para vencer la resistencia al flujo del material en la boquilla, el sistema de corredores y la cavidad. Esta generalmente incrementa en un periodo corto de tiempo, a una presión mínima y una magnitud que corresponde con la resistencia al flujo del fundido desde la boquilla hasta la cavidad.

Se recomiendan mediciones de la presión de inyección en su variación con el ciclo de moldeo ya que son simples de realizar y nos proporcionan información importante sobre las etapas de plastificación e inyección. La capacidad de controlar realmente la unidad de plastificación durante las etapas importantes del proceso es la recompensa por un esfuerzo pequeño.



Presión de la cavidad. El análisis del proceso de molde por inyección ha contribuido substancialmente a progresar en el control del proceso. La presión en la cavidad juega un papel central en este sentido sobre todo para procesos tan susceptibles a cambios como el micromoldeo. El método de registro de la presión ha logrado un mayor nivel con el uso de transductores de presión basados en láminas de tensión o cristales piezoeléctricos. El registro bajo condiciones de producción severas se ha hecho posible y son conocidos ciertos requisitos; para evitar daños, todos los sensores en el molde deben ser instalados de tal forma que ningún conector quede fuera del contorno de la línea de partición.

En la información proporcionada por la curva de presión de la cavidad es posible diferenciar tres etapas fundamentales: llenado de la cavidad (etapa de inyección), compresión del fundido (etapa de compresión) y llevar a cabo la solidificación del material bajo presión (etapa de sostenimiento) (Figura 7).

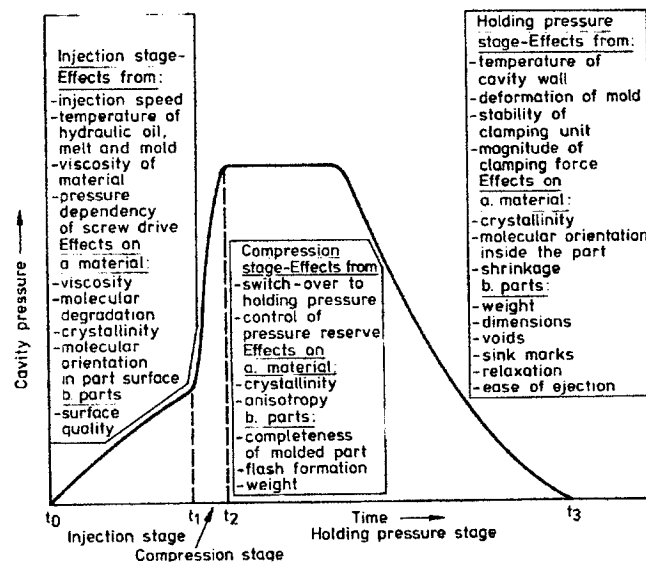


Figura 7. Curva de presión/tiempo en función cualidades del ciclo

Presión de sostenimiento. La presión de sostenimiento es la presión ejercida en la pieza moldeada durante una etapa secundaria de presión. Como ya se ha mencionado, raramente se encuentra una relación entre la programación de la presión hidráulica y la presión efectiva en el molde.

---

Temperatura. Las propiedades termodinámicas de plástico fundido como viscosidad, entalpía y volumen específico, cambian de forma simultánea con la temperatura del fundido. Veamos principalmente que es lo que pasa en el molde, la presión en el molde disminuye con el aumento de la temperatura del fundido, la solidificación de la entrada cambia a periodos de tiempo mas cortos, esto significa que el tiempo durante el cual la formación de la pieza puede ser influenciada es acortado, pero esto también significa una reducción en el tiempo de ciclo. Dependiendo de la viscosidad del fundido se puede dar un incremento en el tiempo de inyección, si esto puede ser evitado, podría ser usado un incremento automático o controlado de la presión hidráulica. Este ejemplo debería soportar la necesidad de una temperatura del fundido constante, aun si solo se puede encontrar un pequeño efecto con plásticos cristalinos.

La temperatura de la pared de la cavidad es de mayor importancia para la calidad de la pieza moldeada, la economía del proceso, la exactitud de las dimensiones y la repetitibilidad. Es esta temperatura la que, además de las características térmicas del material, determina el tiempo de enfriamiento; cabe mencionar que la temperatura de la superficie de la pared del molde es la que se toma en cuenta cuando se menciona la temperatura del molde. Con piezas delgadas menores a 2.5 mm de espesor de pared, se nota un claro incremento en la presión de forma temprana durante la etapa de inyección, esto se puede atribuir a un incremento en la viscosidad por el efecto del enfriamiento de la pared de la cavidad y la disminución del espesor del núcleo caliente del fundido. La magnitud de la presión máxima de la cavidad cerca de la entrada es altamente afectada por la temperatura del molde, pero la presión de sostenimiento es como un resultado de los cambios en el proceso de enfriamiento.

Velocidad. La única velocidad que es importante en el proceso de moldeo por inyección es la velocidad de avance del tornillo, la velocidad axial del tornillo, la cual solo es efectiva durante la etapa de inyección. Las diferentes reacciones entre de las presiones hidráulica y de la cavidad nos hacen ver mas claro la poca información que proporciona la presión de hidráulica sobre el proceso. En una curva de presión contra tiempo, a diferentes velocidades del tornillo, se puede observar que el tiempo de inyección es inversamente proporcional a la velocidad del tornillo y también se puede ver que la presión hidráulica incrementa rápidamente con el



aumento de la velocidad del tornillo; esto es debido al aumento de la resistencia al flujo en la boquilla y en la entrada. Por otro lado la pérdida de presión al llenar la cavidad, que es medida cerca de la entrada, incrementa con la disminución de la velocidad de inyección, reflejando el efecto del proceso de enfriamiento, esto último causa un incremento en la viscosidad del fundido en la cavidad durante la inyección y una formación más rápida de la superficie sólida, lo que reduce el espesor de canal disponible; esto a su vez impide la transmisión de presión, lo que se refleja por diferentes niveles de presión máxima en la cavidad. Si esto afecta la adaptación de la superficie de la cavidad, entonces la presión de sostenimiento deberá ser aumentada considerablemente para compensar una inyección lenta.<sup>6</sup>

## **II.2.- Micromoldeo**

El proceso de micromoldeo consiste en la modificación de una máquina de moldeo tradicional, desarrollando una unidad de control térmico para controlar la temperatura del molde y desarrollando una unidad de vacío para evacuar la microcavidad antes del llenado con plástico fundido.

Bajo la tendencia a miniaturizar productos, algunos esfuerzos han estado enfocados tanto en el desarrollo de tecnologías de fabricantes de microcomponentes como también en la mejora de técnicas ya existentes.

La característica central del micromoldeo es transferir el tamaño de la muestra a nivel de micrón o submicrón de microestructuras a moldes metálicos para producir productos plásticos moldeados.

Las primeras máquinas usadas para el moldeo por inyección así como las herramientas tienen que ser modificadas. Esto incluye el uso de sistemas de calefacción, asegurar un apropiado relleno de los canales y de los agujeros pequeños. Otra necesidad es la evacuación de microcavidades porque actúan a menudo como agujeros de bolsillo.

El avance de la tecnología reciente también como la petición del mercado ha conducido a un desarrollo intenso de tecnología de micromoldeo.

---

Estas tecnologías permiten producir microestructuras con exactitud a nivel micrométrico. Sin embargo, los costos de producción para volúmenes grandes resultaron ser demasiados altos en la mayoría de los casos<sup>7</sup>.

### **II.2.1 Características de los equipos de micromoldeo.**

Las máquinas de micromoldeo cuentan con pistones, tornillos reciprocantes y tecnologías de inyección múltiple. También se fabrican máquinas totalmente eléctricas, hidráulicas o híbridas, con motores hidráulicos y eléctricos. A pesar de estas variaciones, existen tres áreas donde se observan tendencias consistentes:

El micromoldeo requiere el uso de tornillos pequeños, proporcionales al tamaño de la cantidad inyectada, pero también hay un límite inferior en este sentido. "Generalmente, un tornillo de 14mm es el menor que se puede emplear", dice Schnee, de Boy. "Cualquier cosa de menor tamaño tiene la probabilidad de provocar una rotura. Un tornillo muy pequeño tampoco puede resistir las presiones que se requieren en la inyección", afirma. Tornillos muy pequeños también presentan problemas en la alimentación de los gránulos de resina. Algunos proveedores recomiendan emplear microgránulos con los tornillos de micromoldeo.

Los sistemas de colada diseñados para el micromoldeo tienden a ser del tipo frío, principalmente porque las coladas calientes no se han diseñado todavía para la fabricación de piezas minúsculas.

Con respecto a los controles de la máquina, hay consenso en el sentido de que los nuevos procesadores de 32 bits ofrecen las mejores posibilidades para lograr un mejor control en micromoldeo<sup>8</sup>.

## II.2.2 Equipos comerciales actuales de micromoldeo.

Como una indicación del crecimiento de este mercado, 11 proveedores de maquinaria en los últimos tres años han desarrollado o refinado los diseños de las máquinas de microinyección en rangos de tonelaje hasta 20 toneladas. Entre ellos están Arburg, Battenfeld, Boy, Demag Ergotech, Ettlinger, Ferromatik Milacron Europe, Nissei, Sodick, Sumitomo, Tomken-Tool y Van Dorn Demag<sup>8</sup>.

Los proveedores de maquinaria están divididos de acuerdo al concepto de; si el mercado de micromoldeo se atiende mejor con equipos de menor tamaño, en base a los diseños correspondientes a las máquinas grandes, o si es necesario desarrollar un tipo diferente de tecnología de inyección para suplir las necesidades de la microinyección.

Una máquina de Battenfeld, de 5 toneladas, totalmente eléctrica, denominada Microsystem, fue uno de los primeros modelos en ser diseñados totalmente para micromoldeo. Fue lanzada en octubre de 1999 y es el único modelo en el mercado que cuenta con una celda robotizada totalmente automática integrada al proceso de inyección. Además de la facilidad de manejo de los productos, cuenta con un sistema de inspección automático en un ambiente de cuarto limpio. Proporciona tamaños de inyección de 0.25 a un gramo, para hacer piezas que pueden pesar menos de 0.008gramos<sup>9</sup>.

Boy Machines prefiere trabajar con un tornillo recíprocante de etapas múltiples de inyección para evitar volúmenes muertos donde se puede acumular el material. El tornillo de micromoldeo de Boy tiene una válvula de bola en lugar del anillo cheque estándar. Para efectuar el micromoldeo, Boy ofrece un sistema totalmente hidráulico, de dos placas: modelos 12 M y 12 A (para 14,2 toneladas). El controlador de alto nivel Procan CT conectado al modelo 12 A está mejor adaptado para micromoldeo, de acuerdo con la compañía. El tornillo de 14 mm, 18:1, recíprocante proporciona volúmenes de inyección desde menos de 0,1 g hasta 5 g. Tornillos de 16 y 18mm de diámetro también están disponibles. El material fundido es inyectado a una velocidad de 9,4 pulgadas por segundo, a una presión de inyección de hasta 26.034 psi. "Se usa un amplificador para precargar las bombas. Se trata de sobredimensionar la presión para cubrir las aplicaciones de micromoldeo<sup>8</sup>.



Ferromatik Milacron Europe desarrolló su línea de máquinas (Micro Injection) para producir partes con pesos desde 0,001 a 3 g. Cuenta con un tornillo de preplastificación colocado en un ángulo de 45° con relación al pistón de inyección. El tornillo de 18mm, 15:1, acomoda gránulos de tamaño estándar. El tornillo dosifica el material a través de una válvula cheque de bola hacia el pistón de inyección. El pistón de inyección se ofrece en tres tamaños para lograr pesos de inyección entre 2,26 y 5,58g. De acuerdo con Ferromatik, el pistón de 7mm de diámetro proporciona una resolución de movimiento que es cuatro veces mejor que lo que se puede obtener con tornillo de 14mm, de tal manera que la exactitud de la inyección es mayor. "El diseño del pistón también proporciona un mejor control del pico de presión durante la transferencia". El diseño de la unidad de inyección evita los filos o codos cortantes para eliminar la degradación de la resina. La unidad puede contar con la posibilidad de inyectar dos componentes.

Entre las partes más pequeñas que puede hacer la máquina es: una pieza médica de acetal de un peso de 0,08g en un molde de ocho cavidades. El peso total del volumen de inyección es de 1,6g.

La serie MCP Minimolder<sup>10</sup>, que supera el rango de Rabbit y Butler, distribuidos por Tomken Tool y West Coast Mold, cuenta con una máquina de 9,9 toneladas y un sistema de inyección de dos etapas con tornillo y pistón. En la máquina se pueden instalar tornillos de 16mm de diámetro y longitudes de 2:1 o de 4:1 y opera con pistones tan pequeños como 7,5mm de diámetro. Se han moldeado partes hasta 0,02g de peso con un amplio rango de resinas de ingeniería, tales como PEEK y PPS. Se han podido dosificar con exactitud cantidades muy pequeñas de materiales empleando tiempos mínimos de residencia, gracias a los transductores sofisticados que manejan el movimiento de inyección." Mencionan que en una producción reciente de dos horas, alcanzó una exactitud de 0,0001 pulgadas y una precisión de 0,23%.

El modelo TR20EH es una nueva máquina de 20 toneladas eléctrica híbrida para micromoldeo de Sodick. Puede enviar volúmenes de inyección de hasta 0,2 g, usando un pistón de 14mm de diámetro. El pistón tiene un recorrido de 5mm, de los cuales, los últimos 1.0 a 1,5mm proporcionan la presión de sostenimiento en el molde. La velocidad de inyección puede llegar a 1500 mm/seg. La prensa es inusual debido a que emplea un motor servo para abrirla y

---

cerrarla y una cantidad pequeña de aceite para el prensado. La unidad de inyección de dos etapas usa un tornillo en la posición axial de inyección. El tornillo está impulsado por un motor servo y un pistón hidráulico.

Un sistema en línea de tornillo y pistón, sin barras de unión, es capaz de producir partes de 0,1 a 5 g. La máquina Direct-Injection Molding, D-I-M, tiene un cilindro de plastificación y un pistón unido a una estación reciprocante. La boquilla de cierre con aguja, patentada, enfrente del tornillo forma una parte integral del sistema de colada caliente. El sistema de colada caliente (raro en la tecnología de micromoldeo actual) y la boquilla hacen posible producir partes sin dejar mazarotas. Otros beneficios reportados son la pérdida de presión reducida, tiempos bajos de residencia y el costo bajo de los moldes.

El moldeo de partes electrónicas de precisión se puede lograr con los nuevos modelos de 45 y 66 toneladas, con prensa hidráulica, de la serie PN de Nissei. Esta serie reemplaza a otra de Nissei, de tonelaje similar, PS aportando una serie de mejoras. Nissei ofrece también modelos de 7 toneladas en su serie HM de unidades ultra compactas para la producción de piezas micromoldeadas.

Sumitomo recientemente extendió su línea estándar de máquinas totalmente eléctricas con un modelo para 20 toneladas, el SE18S. La unidad opera con tornillos de hasta 14mm de diámetro y capacidades de inyección reducidas hasta de  $0.38\text{cm}^3$ . Un motor de acción directa, sin bandas, proporciona 500 mm/seg de velocidad de inyección a presiones que superan las 34.13psi. Otras características estándar incluyen el posicionamiento digital de la abertura y cerrado del molde, con una tolerancia de 0,1mm, y la protección del molde a baja presión, de hasta 0,3mm; un detalle importante en el proceso de micromoldeo, de acuerdo a información del fabricante.

Meiki America ofrece máquinas de 50 toneladas equipadas con acumuladores para volúmenes altos de producción, para micropartes que pueden pesar tanto como 0.1g y con paredes tan delgadas como 0.3mm. La unidad M50C-AS-DM puede moldear 20 partes de un gramo empleando prensas de tonelaje y presiones estándar en las cavidades.



La unidad de 70 toneladas de esta compañía ha sido empleada para hacer conectores electrónicos que pesan menos de un gramo. Esta es una máquina hidráulica de alta presión que también fue probada con éxito en la producción de pares de cajas de 0,3mm en ABS/PC, con ciclos de 7 a 8 segundos. Entre las características de esta prensa más grande está un acumulador asistido, una unidad de inyección con válvula servo, una boquilla larga especial con control muy sensible de temperatura, este es un detalle importante y necesario para lograr precisión en el moldeo de partes pequeñas. La prensa es presurizada en seis etapas permitiendo mejorar la ventilación en la línea de partición durante los ciclos rápidos de operación.

Partes tan pequeñas como de 0,1g se pueden producir con la máquina Microshot de 25 toneladas, producida por Demag Ergotech. Esta prensa hidráulica incluye un tornillo y barril con diseños nuevos y dimensiones de 14mm de diámetro y longitud de 18:1 L/D; un anillo cheque nuevo; y un tamaño de inyección máximo de 0,5oz. Proporciona velocidades de inyección de 10 a 12 pulgadas por segundo a presiones de 30.000psi. La fuerza de la prensa se puede rebajar a 5 toneladas para el moldeo de las piezas más pequeñas. Un sensor ultrasónico proporciona tolerancias de 0,0001pulgadas en la posición de la prensa.

La máquina Allrounder 220 S está siendo usada exitosamente en micromoldeo. Incluye un tornillo y un barril de 15mm de diámetro y generan hasta 36.250psi. Los reportes indican que el tornillo puede dosificar de manera controlada un desplazamiento de inyección hasta de apenas 3mm para proporcionar inyecciones exactas reducidas hasta 0,5cm<sup>3</sup> (50mg). Para micromoldeo también incluye una válvula servo y un control para la posición del tornillo, los cuales aportan respuestas rápidas y exactas en dosificación y control de la presión. Estos parámetros son críticos en micromoldeo.

Van Dorn Demag participa en el mercado de micromoldeo con su nueva máquina hidráulica horizontal de 28 toneladas, Cadence, y su modelo de 30 toneladas vertical y con codos, Newbury. Las dos máquinas tienen una capacidad de inyección reducida hasta de 0,5oz usando tornillos de 14mm, 20:1. La presión de inyección de la prensa horizontal es de 20.000psi en el modelo estándar, o puede llegar a 40.000, empleando el paquete de desempeño opcional. La prensa vertical tiene una capacidad estándar de 30.000psi<sup>11</sup>.



### II.2.3 Áreas de aplicación de micromoldeo.

Los productos generados por la tecnología de micromoldeo, o mas bien los mercados que requieren esta tecnología son:

Electrónica(figura 8), la capacidad de crear elementos plásticos de algunos gramos de peso, fomenta las investigaciones ya que comúnmente estos elementos se manufacturaban de cerámicos o metales, como se puede observar en la imagen 8, las necesidad de tener procesos y materiales que generen una alta repetitibilidad es muy necesaria, ya que esta pieza tiene costillas y refuerzos que no sobrepasan las milésimas de milímetro.

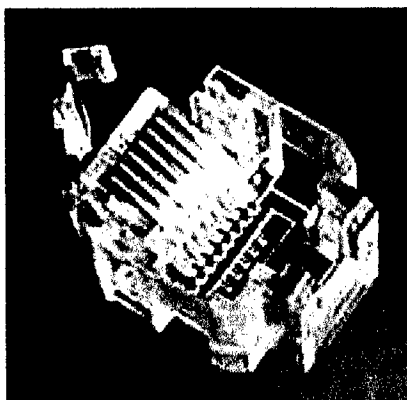


Figura 8. Arnés de cableado para componente electrónico

Medicina (figura 9), Los elementos que se utilizan frecuentemente en el equipo médico y mas aun los que pudieran estar en contacto con tecnologías láser o humano-electrónicas, requieren de ciertas cosas: pero las mas importantes son las que tienen cero defectos, y alta definición pieza a pieza en las propiedades ópticas y de acabado superficial, ya que el material de sufrir cambios como degradación, no solo variaría el desempeño de la pieza sino las características químicas de la misma, pudiendo generar liberación del monómero hacia el ser humano provocando un rechazo del cuerpo humano a la pieza, es muy importante que dichas piezas tengan la confiabilidad para ser aplicadas.

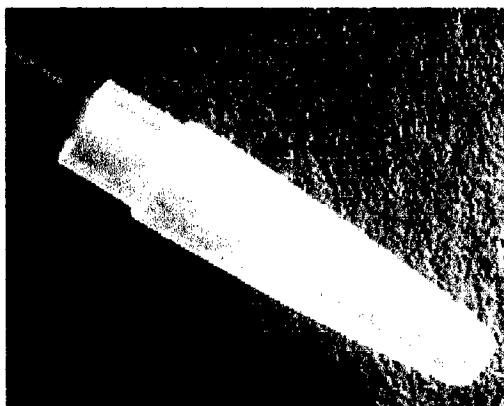


Figura 9. Protección de sonda peso 1.1 gr.

Automotriz(figura 10), dicha área utiliza el sistema de micromoldeo en la inyección de componentes para sensores, tanto térmicos como eléctricos, dichos sensores además de otros componentes en el automóvil son indispensables para el correcto funcionamiento de la unidad, en ocasiones de falla por su dimensión son muy difíciles de detectar y pueden costar pérdidas en reputación de marca a la compañía automotriz.

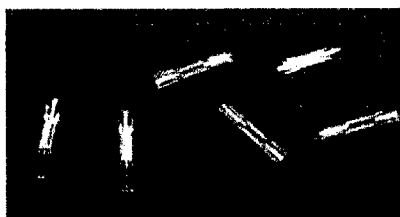


Figura 10, Sensor de temperatura dimensión de 0.001 mm

Militar(Figura 11), la industria militar es una de la pioneras en prácticamente todos los ámbitos del ser humano, la necesidad de crear piezas plásticas para reducir peso en ojivas de proyectiles, fomentó muchas investigaciones al rededor del mundo, y ahora la necesidad de crear esas mismas piezas plásticas de menor tamaño para llevarlo a realizar desarrollos fuertes en el área de micromoldeo de plásticos, un ejemplo de ello son los laboratorios SANDIA en Estados Unidos<sup>12</sup>.

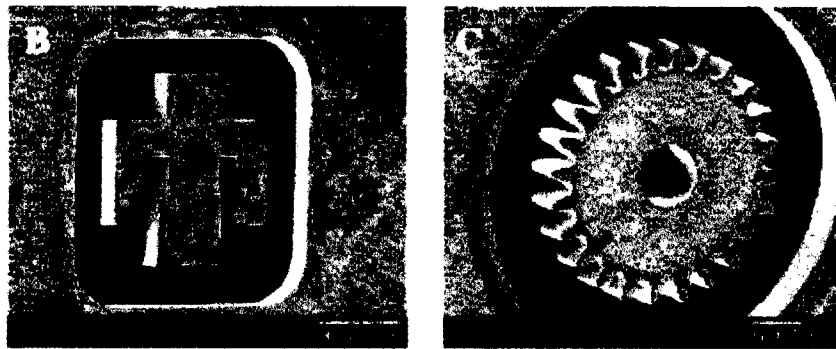


Figura 11, microreplicas.

### III.- ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO.

En el año de 1999, Injection Molding Magazine<sup>13</sup> publicó un artículo titulado, el estado actual del conocimiento para micromoldeo, de eso hace 16 años, en esta publicación describen detalladamente las diferencias del proceso de micromoldeo contra macromoldeo, como lo mencionamos en la etapa introductoria del presente trabajo, uno de los puntos mas importantes que se mencionan en esta publicación es la necesidad de crear un micromolde para producir una micropieza.

En 2003, J.Zhao<sup>14</sup> y colaboradores publicaron una investigación en la que estudiaron el diseño de un micromolde para productos inyectados, para esta investigación usaron un equipo como el que se describe en la figura 12, se trata de un sistema de extrusión/inyección mediante pistón, este tipo de tecnología resulta ser la más estable para generar estabilidad térmica en la masa fundida, además el pistón por la poca cantidad de plástico a transferir, es decir debido al control tan exacto que se debe tener en la temperatura, genera favorables efectos de transmisión de la presión. En este caso dicha maquina muestra una capacidad de inyección de 1 cm<sup>3</sup> de material y una fuerza de cierre de 50 toneladas para una máquina de la marca Battenfeld. En un estudio del diseño del molde de las piezas micromoldeadas se propusieron dos microcomponentes, uno de ellos relativamente de gran volumen y otra de muy pequeño

volumen, información que manejan los autores. Los materiales utilizados son PC o POM ambos materiales de ingeniería.

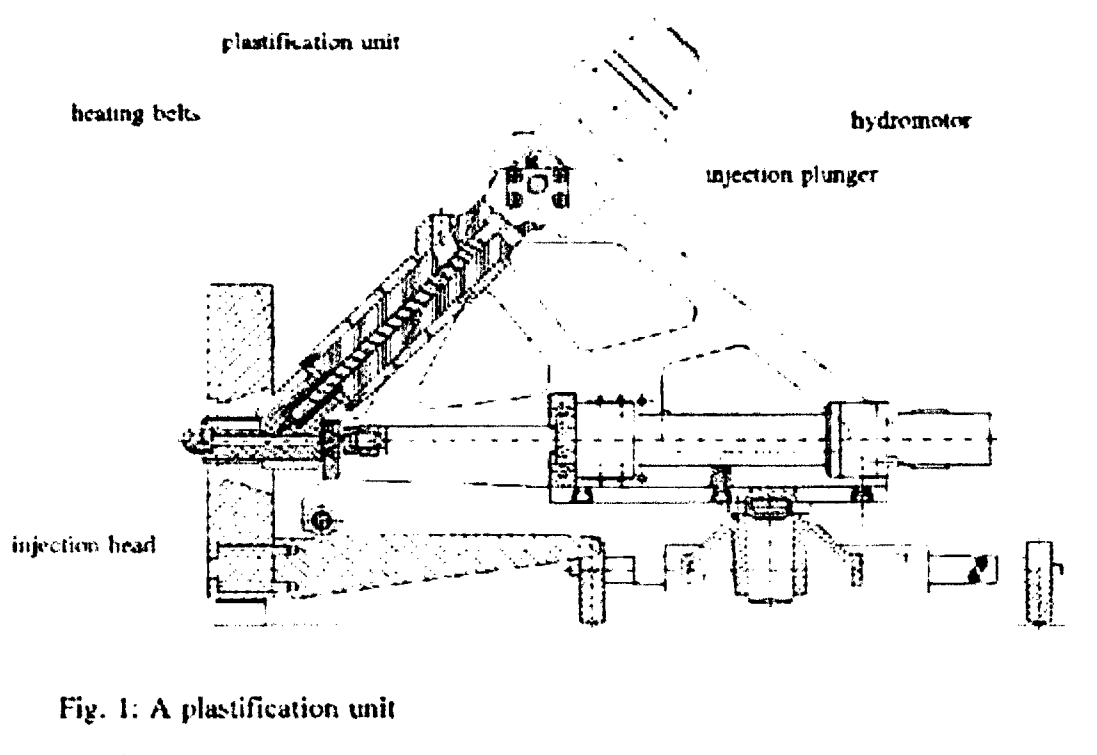


Fig. 1: A plastication unit

Figura 12, Equipo de plastificación e inyección de micromoldeo de plástico

Se debe de mencionar por parte de un servidor que según lo escrito en la parte introductoria la maquina que se uso para esta investigación es la mas grande y tal vez inexacta que ofrece Battenfeld, según información de la misma empresa.

Según los autores se realizaron tres tipos de corridas en las que se variaron la temperatura del molde, la temperatura del fundido, la velocidad de inyección, la cantidad de material dosificado, la presión de sostenimiento y el tiempo de enfriamiento.

El peso de las dos partes es de 90mg y de 8 mg, los autores manejan el concepto de que a la parte pequeña le corresponden corredores de alimentación mas pequeños que a la parte de mayor volumen, y sobre el estudio de esta hipótesis basan el trabajo de investigación.



De los resultados y conclusiones de la investigación manejan que para la pieza de PC la configuración ideal de corredor es de 3:1 en función al peso de la parte, pero cuando el corredor es demasiado grande, generalmente la pieza se fractura. Además que las variables que mas impactan al peso de la pieza son la velocidad de inyección y la temperatura del molde.

En el mismo año 2003, S. Yuan y colaboradores<sup>15</sup>, ellos en este caso se basaron en uno de los problemas principales del micromoldeo que es la repetitibilidad entre componentes, o la replicación del molde con respecto a la pieza plástica usada, en este caso se realizó una invención de un equipo de micromoldeo y se modificó para ajustar a la pieza que fuera repetible, además desarrollaron un sistema de control térmico para la temperatura del molde y el desarrollo de una unidad de vacío de la cavidad a moldear, los moldes utilizados se generaron de tal forma que se cambiara la cavidad exclusivamente, generaron algoritmos de simulación en C-mold para buscar repetir y predecir el comportamiento experimental y evaluaron el tiempo de llenado, la distribución de la presión en la pieza, la contracción volumétrica, la distribución de esfuerzos.

En la parte introductoria de dicho trabajo mencionan una cifra interesante de las ventas que para los estados unidos en el año de 1995 generaron la fabricación de microcomponentes electrónicos, la cifra es de 1.5 billones de dólares en el 2005 sus ventas fueron aproximadamente de 6.7 billones de dólares, esto consolidando a el área de electrónica como una de las más rentables para el proceso de micromoldeo de materiales plásticos.

Se utilizaron dos tipos de cavidades o materiales para la construcción de las mismas, por un lado el silicón, que pese a sus bajas características de resistencia a la abrasión además de sus alta deformabilidad es el que mejor copia las características de las cavidades y por otra parte se utilizó el proceso de LIGA, que según sus siglas en ingles significa sinterizado por láser de polvos, en este caso se utilizó Ni como material por su alta capacidad que presenta de replicación de la superficies y su baja deformación a la tensión.



---

Además se utilizó una aleación de Ni-Be para la elaboración de una cavidad extra, por una parte el Ni ya sabemos sus ventajas y el Be provee de alta capacidad de transmisión de la temperatura lo contrario al Ni.

Como un comparativo entre todos los materiales utilizados se diseñó una cavidad extra de acero inoxidable convencional (4140).

Los componentes que se escogieron fueron un engrane un engrane de cadena, tomándolos como los componentes más complejos debido a los ángulos que presentan cada uno de los dientes de la parte. El comparativo de la partes se evaluó por microscopía electrónica de barrido SEM para visualizar cualitativamente la comparación de las partes.

Los comparativos de las simulaciones contra lo observado experimentalmente mostraron una desviación de lo simulado por 200mg, de lo obtenido experimentalmente. La variabilidad de la microreplicación es más útil con el uso de vacío en el molde.

La temperatura del molde resulta ser una herramienta dramática para la replicación del micromoldeo y llenado del mismo. La asistencia de las aleaciones de Ni-Be ayudó en gran porcentaje a la capacidad y confiabilidad de llenado del molde.

La simulación mediante C-mold, resultó ser una buena aproximación a la realidad del llenado de las piezas plásticas tiene un error del 14%.

En el año del 2005, Rujul B.Majmundar<sup>16</sup> y colaboradores publicaron un trabajo de comparación para predecir experimentalmente el llenado de micropartes, de los resultados críticos que se presentaron en la publicación son: el llenado de la cavidad, resistencia en las líneas de soldadura y el relativo estrés de la parte. La pieza que se evaluó es una dona con el fin de localizar las zonas de soldadura que se generan en la sección contraria del punto de inyección figura 13.

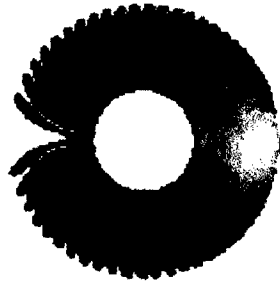


Figura 13, formación de las líneas de soldadura.

Los resultados obtenidos en la investigación para la predicción del micromoldeo fueron mucho más bajos que los obtenidos experimentalmente, según los autores la mejor aproximación del software es la localización de las líneas de soldadura.

En el mismo año 2005 Hiroshi ITO<sup>17</sup>, generaron una investigación en la que desarrollaron dos herramientas para evaluar las condiciones PVT de características de procesabilidad y que se utilizan para desarrollar algoritmos de software Figura 14 .

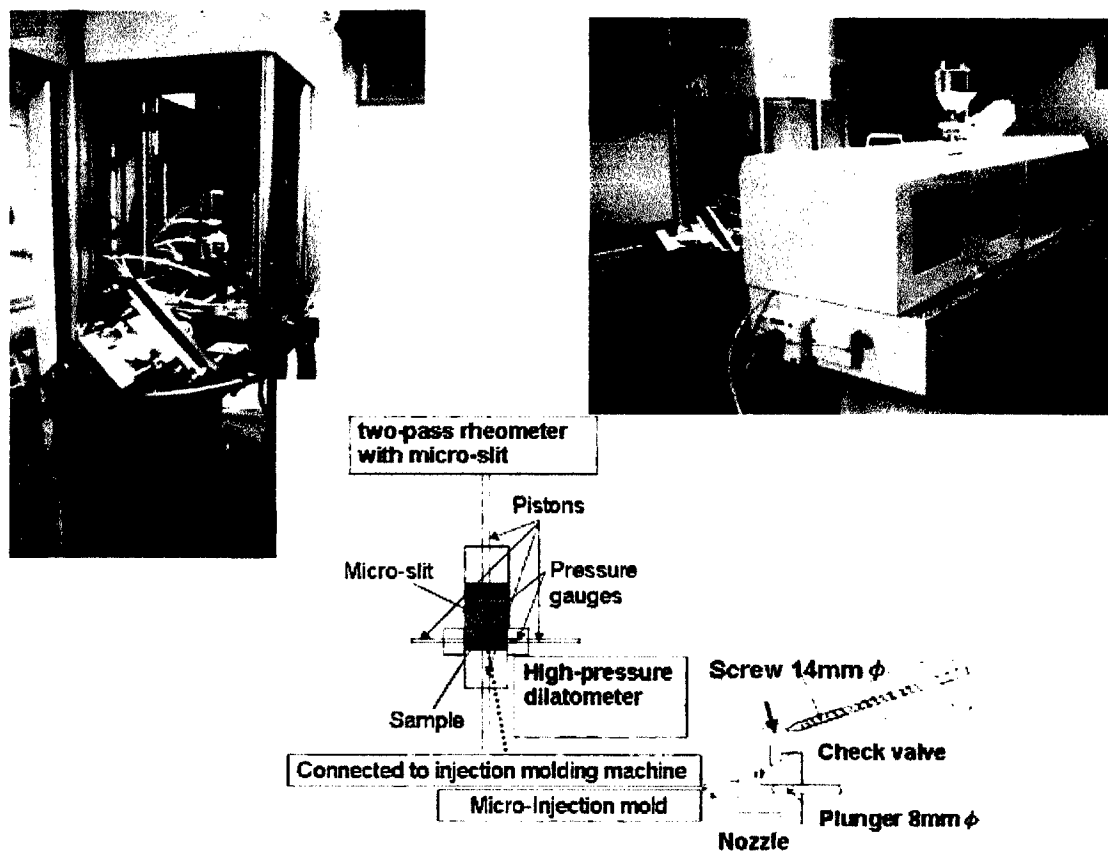


Figura 14, Esquematzación de sistemas de procesamiento de polímeros.

Lo relevante en esta contribución es que se demuestran los cambios más abruptos que sufren las piezas plásticas a esta escala. Este tipo de tecnologías solo son aceptables para empresas que cuentan con recursos financieros elevados.

Guojun Xu en el año del 2005<sup>18</sup>, presentan un trabajo pequeño sobre la características dinámicas del llenado de microcavidades, la aportación mas importante en este trabajo es poder generar un portamoldes de plástico, el cual facilita mucho el trabajo de montaje y adecuación de componentes como válvulas de vacío y otros que son necesarios para el correcto llenado de las microcavidades Figura 15 .



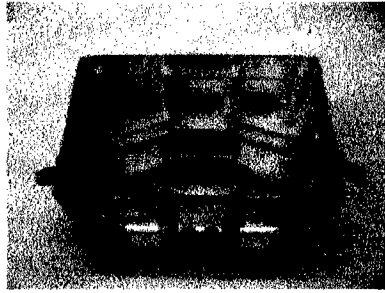
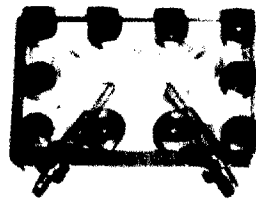


Fig. 1 (a). Metal mold.



2005.01.11.23.39

Fig. 1 (b). PMMA Mold

Figura 15, Portacavidades de plástico

Como conclusiones de la investigación se demuestra que las capacidades dinámicas de flujo de los materiales plásticos en las diversas configuraciones de vacío, muestran que tanto la temperatura del molde como la elasticidad elongacional del material son factores importantísimos para el correcto llenado de las piezas.

En base a los trabajos presentados tanto en propiedades de las piezas moldeadas con relación a las variables de procesamiento y las capacidades de cambios a nivel micrométrico de las mismas, además de las adecuaciones de los moldes para el correcto llenado, solo un artículo fue encontrado, en el que evaluaron el cambio de llenado de los materiales plásticos con nanocargas. C.K. Huang, en 2005<sup>19</sup>, se describe el equipo que se utilizó para desarrollar este trabajo el cual es una máquina de micromoldeo de excelentes capacidades de plastificación, Figura 16.

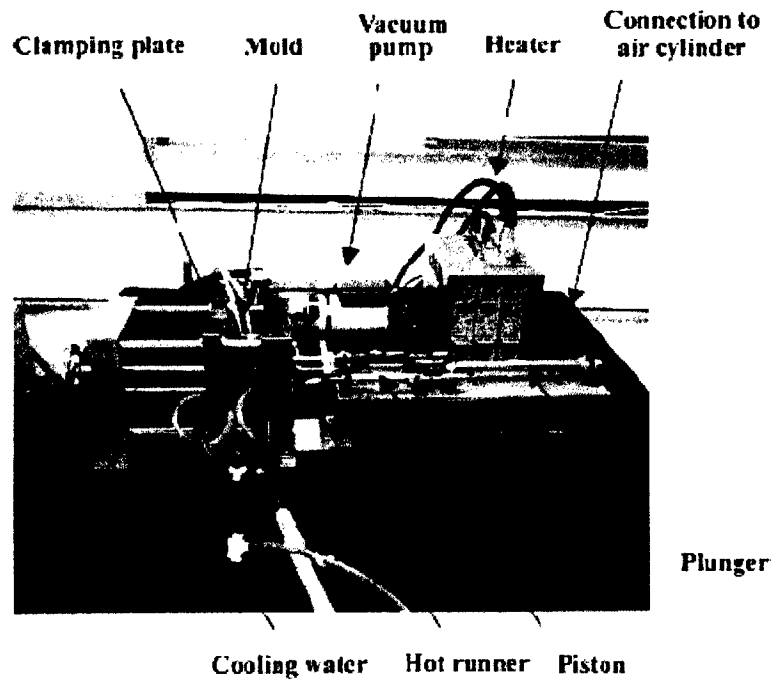


Figura 16, Equipo de micromoldeo

Tres distintos materiales nanométricos, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO) con diámetros de 10-30 nm, se utilizó polipropileno tipo random para el llenado de la pieza, un molde de cuatro cavidades como el que se muestra en la figura 17, se probaron tres distintas cargas en concentraciones desde 10, 20 y 30 % siendo la mejor (ZnO al 10%) como lo muestra la figura 18. La contracción volumétrica de la piezas disminuyó un 38% con el uso de cualquiera de las tres nanocargas, como conclusión de la investigación, los autores muestran que tanto la presión de inyección y la temperatura del molde es necesario ser incrementadas para poder llenar las cavidades. Las capacidades de replicación se ven mejoradas con el uso de nanomateriales.

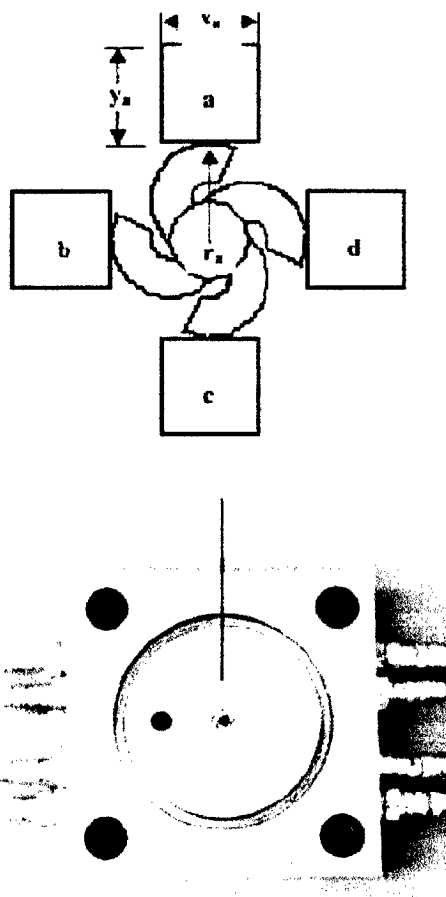


Figura 17, Pieza moldeada.

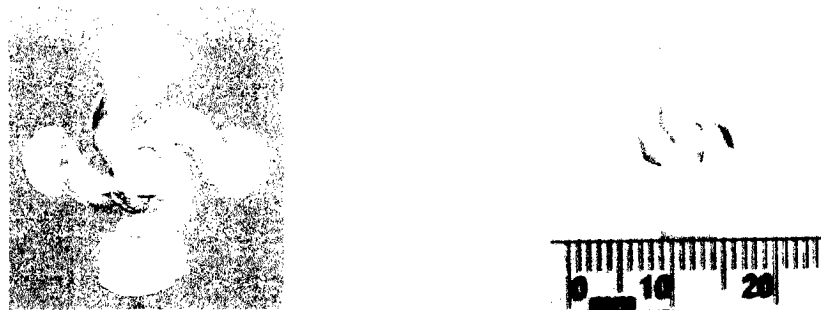


Figura 18, antes(izquierda) después (derecha) del uso de nanocargas.



---

#### **IV.- ÁREAS FUTURAS DE OPORTUNIDAD**

El desarrollo de nuevos materiales, como son los materiales nanocompuesto ha facilitado la tarea de desarrollar sistemas mecánicos reproducibles de tamaño micrométrico y submicrométricos. Debido a los costos que se manejan en el mercado de los nanomateriales, una aplicación costeable de los mismos es el micromoldeo. El principal problema que se plantea en el micromoldeo es la repetitibilidad de las piezas, debido a la contracción de los materiales en la etapa de enfriamiento.

Las posibilidades de generar conocimiento en el campo de utilización de nanomateriales para micromoldeo se ven vírgenes aún, ya que la única publicación del área es ambigua, se tienen referencias como la del estudio de las variables PVT que asistirían mucho al entendimiento del comportamiento de los sistemas.

---

## V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El crecimiento de este mercado es en base al reporte de 11 proveedores de maquinaria que ha desarrollado en los últimos tres años. Dichos diseños de las máquinas de microinyección en rangos de tonelaje hasta 20 toneladas. Entre ellos están Arburg, Battenfeld, Boy, Demag Ergotech, Ettlinger, Ferromatik Milacron Europe, Nissei, Sodick, Sumitomo, Tomken-Tool y Van Dorn Demag, sin lugar a dudas para generar un nivel de aproximación hacia la punta de lanza, se deben seguir de cerca los avances que propongan estos distribuidores año tras año.

Para el desarrollo de piezas plásticas por los procesos de micromoldeo, es necesario un micromolde, la temperatura del molde es un factor importantísimo para el adecuado llenado de la cavidad, y uno de los materiales que presenta mejor desempeño en la transmisión de la temperatura es la aleación de Ni-Be.

Las características de vacío en la etapa de llenado de la pieza plástica, demuestra ser un factor importante para el recorrido tan complejo y llenado del molde.

Los efectos de cualquiera de las variables PVT afectan en gran medida la reproducibilidad de las piezas.

El uso de nanomateriales en micromoldeo puede ser una alternativa rentable hacia el mercado, ya que en el momento de escritura de este documento siguen siendo altos los costos de los nanomateriales.



## VI.- NOMENCLATURA

IMM	Instituto de Microtecnología de Mainz GMBH
PEEK	Poliéter éster cetona
PPS	Polifénil sulfito
PS	Poliestireno
ABS/PC	Acrilonitrilo butadieno estireno / Policarbonato
PC	Policarbonato
POM	Polioximetileno o Poliformaldehído
Ni	Níquel
Ni-Be	Níquel-Berilio
Be	Berilio
SEM	Microscopía Electrónica de Barrido
PVT	Poliviniltereftalato
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silicio
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de Titanio
ZnO	Oxido de Zinc

---

## VII.- REFERENCIAS

- 1- Injection Molding Magazine, Mainz and Carl Kinkland, p.23, July, (1998)
- 2- Injection Molding Magazine, Carl Kinkland, p.13, August, (1998)
- 3.- Rubin, I. I., *Injection Molding Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., (1972).
- 4.- McKelvey, J. M., *Polymer Processing*, John Wiley & Sons, Inc., (1962).
- 5- Morton-Jones, D. H., *Polymer Processing*, Chapman and Hall Ltd., New York (1989).
- 6- Injection Molding Machines, F. Johannaber, Hanser Publishers, 3rd. edition.
- 7- Lutz Weber et al, Molding of microstructures for high-tech applications, ANTEC (1998)
- 8- Injection Molding Magazine, Merle R. Snyder, p.86, January, (1999)
- 9- [www.battenfeld.com.au](http://www.battenfeld.com.au)
- 10- [www.tomken-tool.com](http://www.tomken-tool.com)
- 11- Injection Molding Magazine, Carl Kinkland, p.23, January, (2000)
- 12- <http://www.ca.sandia.gov/>
- 13- Injection Molding Magazine, p.114, September, (1999)
- 14- Plastics, Rubber and Composites, J. Zhao et al, Polymer micromould design and micromoulding process, Vol 32, No6, p. 240-247, (2003)
- 15- Materials and Manufacturing processes, S. Yuan et al, Development of Microreplication process- micromoulding, Vol 18, No 5, p. 731-751, (2003)
- 16- ANTEC, Rujul B.Majmundar et al, Comparison of predicted ant experimental filling of micromolded parts, p. 47-50 (2005)
- 17- ANTEC, Hiroshi ITO et al, Evaluation of material properties and processability using the intelligent Micro-scale polymer processing system, p. 693-697.
- 18- ANTEC, Guojun Xu et al, Flow dynamics in injection molding with microfeatures, p 531-533, (2005)
- 19- Journal of Applied Polymer Science, C. K. Huang, Formability and Accuracy of Micropolymer Compound with Added Nanomaterials in Microinjection Molding Vol. 98, 1865–1874 (2005)