

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



MOLDEO POR INYECCIÓN DE DOBLE DISPARO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

SAMANTHA GUADALUPE RÍOS JASSO

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2009

113
083

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



MOLDEO POR INYECCIÓN DE DOBLE DISPARO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

SAMANTHA GUADALUPE RÍOS JASSO

HA SIDO DIRIGIDO POR:



M.C. RAFAEL AGUIRRE FLORES

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



MOLDEO POR INYECCIÓN DE DOBLE DISPARO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

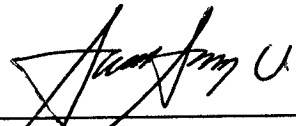
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

SAMANTHA GUADALUPE RÍOS JASSO

EVALUADORES



DR. SAÚL SÁNCHEZ VALDÉS



M.C. ADRIAN MÉNDEZ

ÍNDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Moldeo por inyección convencional.....	2
2.1.1 Principales componentes de una máquina inyectora.....	2
2.1.1.1 Unidad de cierre.....	3
2.1.1.2 Unidad de inyección.....	4
2.1.1.3 Unidad de potencia.....	5
2.1.1.4 Unidad de control.....	6
2.1.2 Ciclo de inyección.....	6
2.1.3 Variables del proceso de inyección.....	9
2.1.3.1 Temperatura.....	9
2.1.3.2 Velocidades.....	9
2.1.3.3 Presiones.....	10
2.1.3.4 Tamaño de disparo y espesor del colchón.....	11
2.1.3.5 Tiempos.....	11
2.1.3.6 Capacidad de inyección.....	12
2.1.3.7 Fuerza de cierre.....	12
2.1.3.8 Relación entre las características de calidad y los parámetros de proceso.....	13
2.2 Moldeo por inyección de multi-materiales.....	14
2.2.1 Clasificación.....	14
2.2.2 Beneficios del moldeo de multi-materiales.....	15
2.3 Moldeo por inyección de doble disparo.....	16
2.3.1 Antecedentes.....	16
2.3.2 Concepto de moldeo por inyección de doble disparo	19
2.3.3 Parámetros a controlar.....	19
2.3.3.1 Relación de viscosidad ($\eta_{\text{corazón}}/\eta_{\text{piel}}$).....	19

2.3.3.2	Velocidad de inyección y temperatura del fundido.....	21
2.3.3.3	Geometría de la pieza y tipo de entrada.....	21
2.3.4	Materiales empleados	22
2.3.5	Técnicas del moldeo por inyección de doble disparo.....	25
2.3.5.1	Técnica de dos canales.....	25
2.3.5.2	Técnica de tres canales.....	28
2.3.6	Ventajas del moldeo por inyección de doble disparo.....	30
2.3.7	Aplicaciones.....	31
Capítulo 3. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....		33
3.1	Tecnología TWINSHOT.....	33
3.2	Sistemas multicapa.....	34
Capítulo 4. ÁREAS DE OPORTUNIDAD.....		36
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		37
Capítulo 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes principales de una máquina de inyección.....	3
Figura 2. Tipos de sistemas de cierre: a) hidráulico-mecánico, b) hidráulico.....	3
Figura 3. Componentes de la unidad de inyección.....	5
Figura 4. Cierre del molde y comienzo de la inyección.....	7
Figura 5. Inyección del material hacia el molde.....	7
Figura 6. Aplicación de la presión de sostenimiento.....	7
Figura 7. Plastificación del material para la inyección.....	8
Figura 8. Enfriamiento y extracción de la pieza.....	8
Figura 9. Diagrama de interdependencia entre las características de calidad y parámetros de proceso representada mediante la curva de presión interna en la cavidad del molde.....	13
Figura 10. Opciones de procesos de multi-materiales.....	14
Figura 11. Técnica de inyección secuencial de un canal: a) piel, b)corazón, c) piel.....	16
Figura 12. Sección transversal de una estructura sándwich.....	19
Figura 13. Relación de viscosidad de los materiales de la piel y corazón ($\eta_{\text{corazón}}/\eta_{\text{piel}}$).....	20
Figura 14. Distribución regular del material en dependencia de la geometría de la pieza y el tipo de entrada.....	21
Figura 15. Distribución regular del material del corazón en dependencia de la relación de viscosidad.....	22
Figura 16. Perfil de la unión de capa en dependencia de la relación de viscosidad.....	23
Figura 17. Técnica de dos canales desarrollada por Battenfeld.....	25
Figura 18. Diseño especial de la boquilla.....	26
Figura 19. Comparación del llenado del molde entre las técnicas de dos canales (izquierda) y de un canal (derecha).....	27
Figura 20. Técnica de tres canales de Kortec.....	28
Figura 21. Técnica de tres canales de Battenfeld.....	29
Figura 22. Componente inyectado con piel blanda y núcleo rígido.....	31
Figura 23. Componente inyectado con núcleo reciclado.....	31
Figura 24. Piezas inyectadas con piel aditivada y con color.....	32

Figura 25. Tecnología TWINSHOT.....	33
Figura 26. Aplicación comercial de la técnica TWINSHOT.....	34
Figura 27. Envase multicapa obtenido por la técnica de tres canales.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Compatibilidad de los materiales para el moldeo por inyección de doble disparo.....	24
Tabla 2. Aplicaciones actuales del moldeo por inyección de doble disparo.....	32

MOLDEO POR INYECCIÓN DE DOBLE DISPARO

1. INTRODUCCIÓN

El moldeo por inyección es el método de mayor importancia comercial de todos los procesos de transformación de plásticos. Permite la producción de piezas con alta precisión, en tres dimensiones y a altas velocidades de producción. Los diseñadores siempre han hecho uso de la gran variedad de materiales poliméricos disponibles comercialmente para este proceso por responder a los desafíos de bajo costo y alto rendimiento en los requerimientos de los productos. Sin embargo, un único material polimérico puede no ser capaz de satisfacer las necesidades de los productos con requerimientos multidimensionales. Varios materiales poliméricos o una combinación de polímeros con otros materiales son a menudo necesarias para alcanzar determinados requisitos de diseño y uso.

La fuerte competencia en el mercado internacional significa que una empresa no sólo tiene que desarrollar consistentemente su tecnología, productos y mano de obra, sino también debe crear innovadores conceptos de producción para contrarrestar la presión de costos y cumplir con las crecientes exigencias de calidad de sus clientes. La actual expansión de las tecnologías existentes y el desarrollo de nuevas tecnologías ha generado variaciones en el moldeo por inyección y uno de los campos en rápido crecimiento es el moldeo por inyección de doble disparo.

El moldeo por inyección de doble disparo consiste en la inyección simultánea de dos materiales para formar una pieza. El proceso ofrece la posibilidad de fabricación de piezas en un solo paso de manera rentable y la integración de características especiales (ópticas, diseño, tacto), de estampado o ensamble durante el proceso de moldeo por inyección.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Moldeo por inyección convencional ^{[1], [2], [3], [4], [5]}

El moldeo por inyección es un proceso semicontinuo o continuo que consiste en llenar una cavidad o molde con un polímero en estado fundido. El material ya fundido o plastificado por calor fluye debido a la aplicación de presión y llena el molde donde el material solidifica y toma la forma de éste. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

Mediante el moldeo por inyección, las piezas pueden producirse a altas velocidades, permitiendo alcanzar altos volúmenes de producción y el costo de operación por unidad es relativamente bajo, sobre todo en procesos automatizados. Además, las piezas requieren poco o ningún acabado y se pueden elaborar objetos que por medio de otras técnicas serían casi imposibles de fabricar en gran cantidad.

Sin embargo, el moldeo por inyección presenta ciertos aspectos desfavorables, entre los que se encuentran: los 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.

2.1.1 Principales componentes de una máquina inyectora

Una máquina inyectora es un equipo capaz de plastificar el material polimérico y bombearlo hacia un molde en donde llena una cavidad y adquiere la forma del producto deseado. Una máquina de inyección se compone de cuatro unidades principales:

- a. Unidad de cierre
- b. Unidad de inyección
- c. Unidad de potencia
- d. Unidad de control

En la figura 1 se esquematizan las unidades principales de una máquina de inyección.

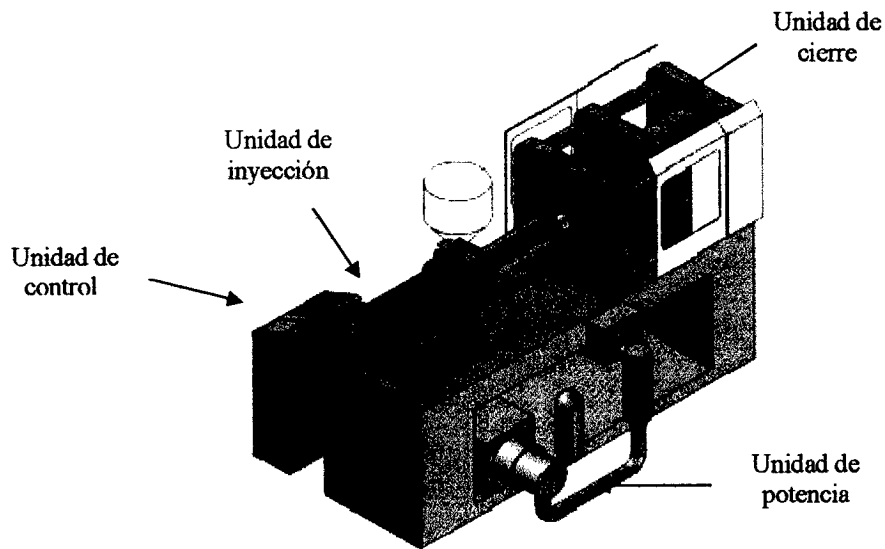


Figura 1. Partes principales de una máquina de inyección

2.1.1.1 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, de cierre hidráulico-mecánico (Figura 2a), o de cierre hidráulico (Figura 2b).

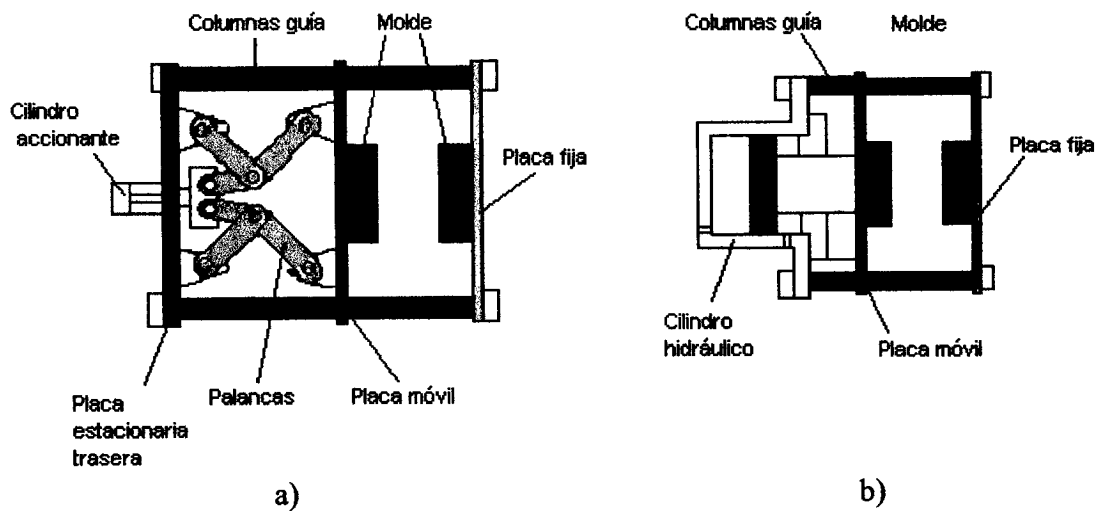


Figura 2. Tipos de sistemas de cierre: a) hidráulico-mecánico, b) hidráulico

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.

Parámetros importantes en la unidad de cierre:

- La fuerza (ton) para mantener el molde cerrado
- La distancia mínima entre placas
- La distancia máxima de apertura
- Las dimensiones de las placas
- La distancia entre columnas
- La carrera del sistema de expulsión

2.1.1.2 Unidad de inyección

La unidad de inyección está conformada por el tornillo y el barril de inyección, la boquilla y las resistencias alrededor del barril. Comprende las partes de la máquina necesarias para la carga, plastificación (fusión) e inyección del plástico.

El material sólido ingresa por la tolva a la zona de alimentación del tornillo, en esta zona es transportado, por efecto de la rotación del tornillo dentro del barril, hacia la zona de fusión donde se plastifica; finalmente el material es bombeado hacia la parte delantera del tornillo en la zona de dosificación. Durante el proceso de plastificación del material el tornillo gira constantemente. Cuando se va a realizar la inyección hacia el molde, el tornillo deja de girar y actúa a manera de pistón, haciendo fluir el plástico fundido hacia el molde y llenando las cavidades.

El calentamiento del tornillo se hace por zonas y el número de éstas dependerá del tamaño del barril, normalmente se divide en tres: de alimentación, fusión o transición y dosificación o bombeo (Figura 3).

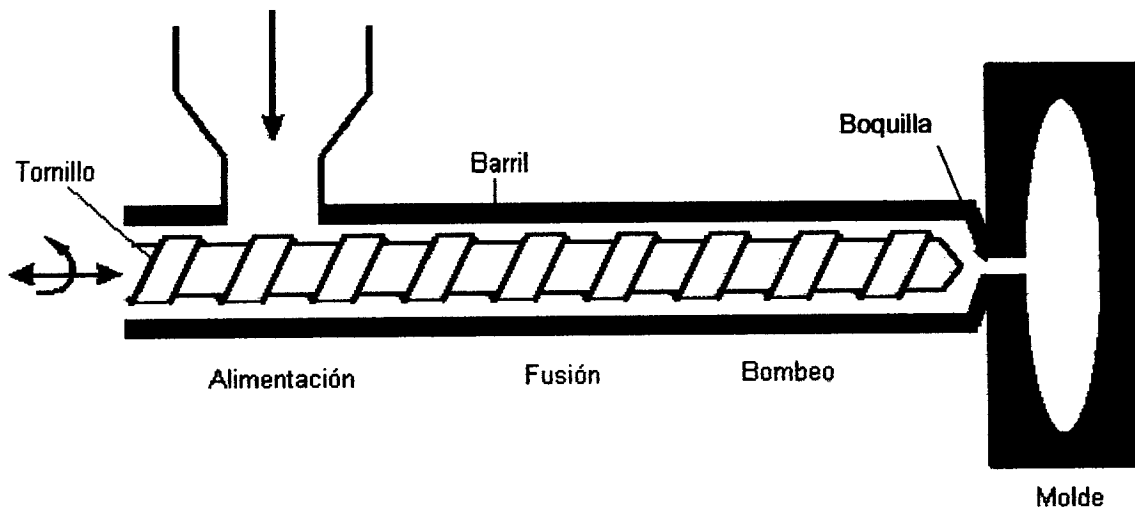


Figura 3. Componentes de la unidad de inyección

2.1.1.3 Unidad de potencia

Comprende el conjunto de dispositivos de la máquina necesarios para transformar y suministrar fuerza motriz a las unidades de inyección y de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar como:

- 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. 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. El fluido que más se utiliza es el aceite debido, principalmente, a sus propiedades lubricantes en aplicaciones que involucran grandes cargas.

Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico pueden resumirse 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

2.1.1.4 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. Consiste en un controlador lógico programable (PLC). 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. El sistema de control está ligado íntimamente al de potencia, a través del cual las distintas señales se convierten en movimiento de las unidades de inyección y cierre. Existen una gran diversidad de sistemas de control que permiten realizar el proceso desde una forma manual, semiautomática hasta totalmente automatizada.

2.1.2 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 4), 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 con 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.

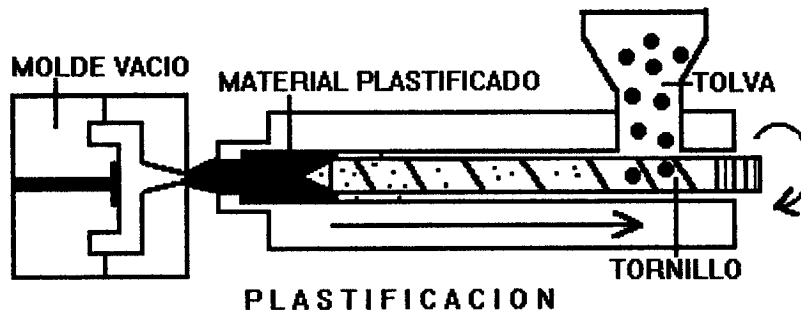


Figura 4. Cierre del molde y comienzo de la inyección

2. Inyección del material mediante el tornillo (figura 5), el cual actúa como un pistón, sin girar, forzando al material a pasar a través de la boquilla, hacia las cavidades del molde, con una determinada velocidad y presión de inyección.

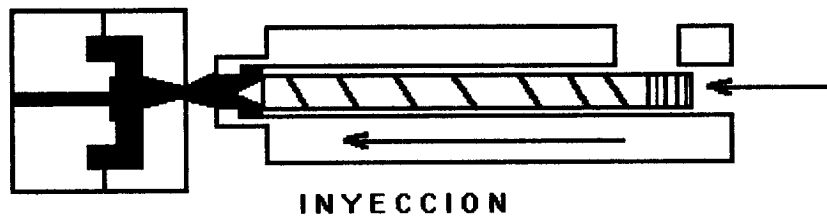


Figura 5. Inyección del material hacia el molde

3. Al terminar de inyectar el material, se mantiene la presión sobre el material inyectado en el molde, antes que solidifique, para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento. Esta presión se conoce como presión de sostenimiento o post-presión (Figura 6) y generalmente es menor a la presión de inyección. Una vez que comienza a solidificar la pieza se puede liberar la aplicación de esta presión.

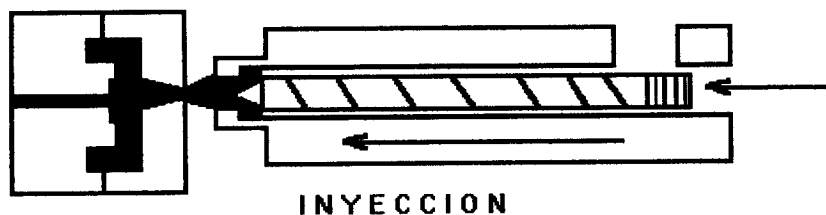


Figura 6. Aplicación de la presión de sostenimiento

4. Se inicia el giro del tornillo (figura 7), haciendo circular los gránulos de plástico desde la tolva y plastificándolos con el calor generado por la fricción al girar el tornillo y por el calor suministrado por 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 mueve hacia atrás) mientras sigue girando hasta acumular (dosificar) en su parte delantera, la cantidad de material fundido necesario para la 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.

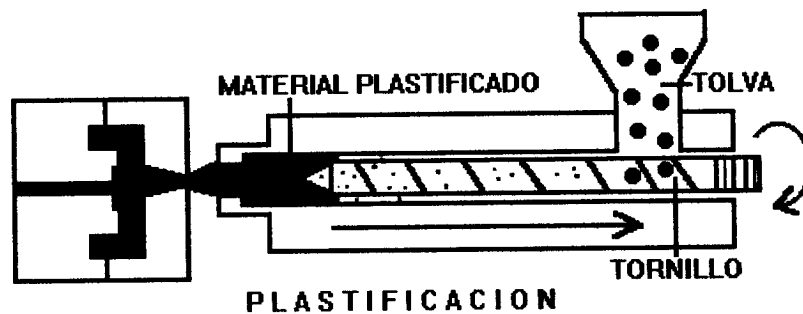


Figura 7. Plastificación del material para la inyección

5. El material dentro del molde se continúa enfriando, transfiriendo su calor hacia el molde en donde el calor es disipado por el líquido refrigerante. Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, se abren las dos partes del molde y el mecanismo de expulsión eyecta la pieza. (Figura 8).



Figura 8. Enfriamiento y extracción de la pieza

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

2.1.3 Variables de proceso de inyección

Las variables presentes en un proceso de inyección dependen del material a trabajar, del diseño del molde y la pieza. Los principales parámetros a controlar son:

- Temperatura del barril y la boquilla
- Velocidades de plastificación e inyección
- Presiones de inyección, sostenimiento y contrapresión
- Tamaño de disparo y espesor del colchón
- Tiempo de inyección, de aplicación de la presión de sostenimiento, plastificación, enfriamiento

2.1.3.1 Temperatura

La temperatura del barril y de la boquilla, esta dada por el tipo de material a trabajar, estas mismas se ajustan de acuerdo a la temperatura de la masa fundida, la cual determina las propiedades estructurales de una pieza moldeada, por lo que debe ser constante y uniforme ya que controla la densidad y contracción. De igual manera la temperatura del molde esta en función o es determinada por el material y el acabado de la pieza.^[6]

2.1.3.2 Velocidades

- Velocidad de plastificación:

La velocidad de plastificación se controla por las revoluciones o giros por minuto del husillo en el momento de la plastificación.

- Velocidad de inyección

La velocidad de inyección es una medida de la entrada de material en el molde durante el tiempo de llenado. Normalmente se expresa como el volumen de material plástico, que la máquina puede inyectar por unidad de tiempo, cuando el tornillo se mueve a su máxima velocidad.

Esta característica es una de las más importantes para obtener piezas de calidad, ya que nos indica la rapidez con la cual se llenan las cavidades del molde con el material plástico. La velocidad de inyección depende de los siguientes factores:

- La viscosidad del polímero
- Condiciones del molde
- Tamaño y número de puntos de entrada de material
- Tamaño de los canales o venas de alimentación del material
- Salidas de aire en el molde
- Temperatura de la masa fundida
- Temperatura del molde

2.1.3.3 Presiones

- Presión de Inyección

Es la fuerza máxima que puede ejercer el tornillo sobre el material de plástico, por unidad de área. Dicha presión es la que obliga al material fundido a introducirse en las cavidades del molde. La presión real que se aplica al material depende de la eficacia con que se transmita ésta a través del volumen de material situado entre el tornillo y la boquilla. Esta presión es desarrollada mediante un pistón que empuja hacia delante el tornillo, venciendo la resistencia que opone el material plástico.

- Presión de sostenimiento:

Tiene como objeto el mantener bajo presión el material fundido que solidifica y se contrae en la cavidad del molde. La función de esta presión, es la de completar el llenado y así compensar la contracción, introduciendo un poco más de material fundido en el molde.

- Contrapresión:

En el momento de la plastificación el material es llevado hacia delante en tanto que el husillo va girando hacia atrás, la contrapresión se aplica sobre el husillo que gira y tiene como función

el impedir el retorno de éste, mejorando la acción de mezclado del material, lo cual ayuda a que se logre una buena homogenización del plástico. En otras palabras, es la oposición a que el husillo se mueva libremente hacia atrás mientras esta cargando.

2.1.3.4 Tamaño de disparo y espesor del colchón:

Son los milímetros de material inyectado en función del volumen (cm^3) y la unidad de plastificación. Otra definición, es la cantidad de plástico necesaria para llenar todas las cavidades y la colada.

El espesor del colchón son los milímetros de material que deben permanecer constantes en la punta del husillo, para garantizar una repetitividad en el proceso, es decir, es la distancia que el husillo reserva para terminar de introducir material al interior del molde.

2.1.3.5 Tiempos

El tiempo de ciclo es aquel en el que se llevan a cabo las etapas del proceso de inyección, por medio del cual se puede establecer el tiempo necesario para producir un número determinado de piezas, el costo y la rentabilidad de la producción.

Para conocer la duración total del ciclo, es preciso calcular los tiempos de las etapas restantes que varían en función de la pieza moldeada según su forma, sus características y el material plástico empleado. Dichas etapas son:

- Tiempo de inyección

También conocido como el tiempo de llenado de molde, es el lapso necesario para que el material fundido pase desde el cilindro a las cavidades del molde al estar ejerciéndose la presión de inyección.

- Tiempo de presión de sostenimiento o post-presión

Tiempo en el cual el tornillo actúa como pistón y empuja material adicional en el molde para compensar su encogimiento.

El tiempo de sostenimiento se aplica hasta que el material solidifique completamente y así, poder compensar la disminución en volumen de la pieza debida a su contracción.

- Tiempo de plastificación

Es el tiempo requerido para la fusión del material. Se calcula a partir del peso de la pieza incluyendo venas y canales de alimentación y de la capacidad de plastificación, en kilogramos por hora.

- Tiempo de solidificación o de enfriamiento

Es el tiempo necesario para terminar de solidificar la pieza y concluye cuando el molde se abre para expulsar la pieza.

2.1.3.6 Capacidad de Inyección

La capacidad de inyección teórica se conoce como el volumen máximo de material que puede ser desplazado por el movimiento hacia adelante del tornillo o pistón de inyección a lo largo de la longitud de su carrera máxima sin que ocurran fugas de material. La capacidad de inyección real de la máquina es una indicación del peso máximo de la pieza (junto con los canales y venas) que puede ser inyectado por el tornillo bajo carga máxima.

La capacidad de inyección se indica normalmente en gramos de Poliestireno, debido a que este material presenta cambios muy pequeños de densidad con las variaciones de presión y temperatura además de que dentro de los termoplásticos, es el que tiene un valor de densidad más cercano a 1.0 gramos sobre centímetros.

2.1.3.7 Fuerza de Cierre

Es la fuerza que se opone a la presión de inyección, esta evita que el molde se abra.

2.1.3.8 Relación entre las características de calidad y los parámetros de proceso ^[7]

En el primer ajuste del proceso para cumplir los requerimientos de calidad, conviene tomar en cuenta la interdependencia entre las características de calidad y los parámetros de proceso.

Estos se representan mediante la curva de presión interna en la cavidad del molde durante su llenado (Figura 9). Dependiendo del tipo de producto, habrá un rango de tolerancia mayor o menor en el parámetro que se va a ajustar.

Después de haber realizado un ajuste inicial de proceso con el cual se haya cumplido el aspecto pretendido de calidad de la pieza moldeada, se debe seguir con la optimización. Para ello, los parámetros de proceso contribuyen mayormente en cada aspecto de calidad, y además indican el rango de variación permitido.

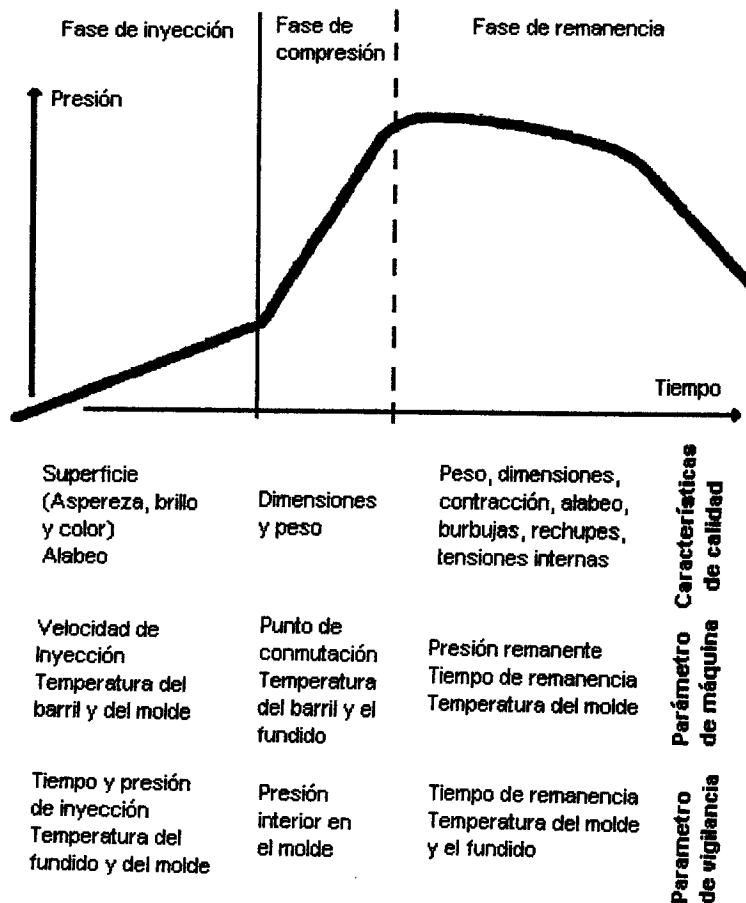


Figura 9. Diagrama de interdependencia entre las características de calidad y parámetros de proceso representada mediante la curva de presión interna en la cavidad del molde

2.2 Moldeo por inyección de multi-materiales

El moldeo por inyección de multi-materiales define la producción de piezas moldeadas por inyección, que consisten de dos o más plásticos diferentes y que se pueden distinguir por el color, propiedades mecánicas, o por otros factores.^[8]

2.2.1 Clasificación

En la figura 10 se esquematiza la clasificación de los diferentes procesos de inyección de multi-materiales.^[9]

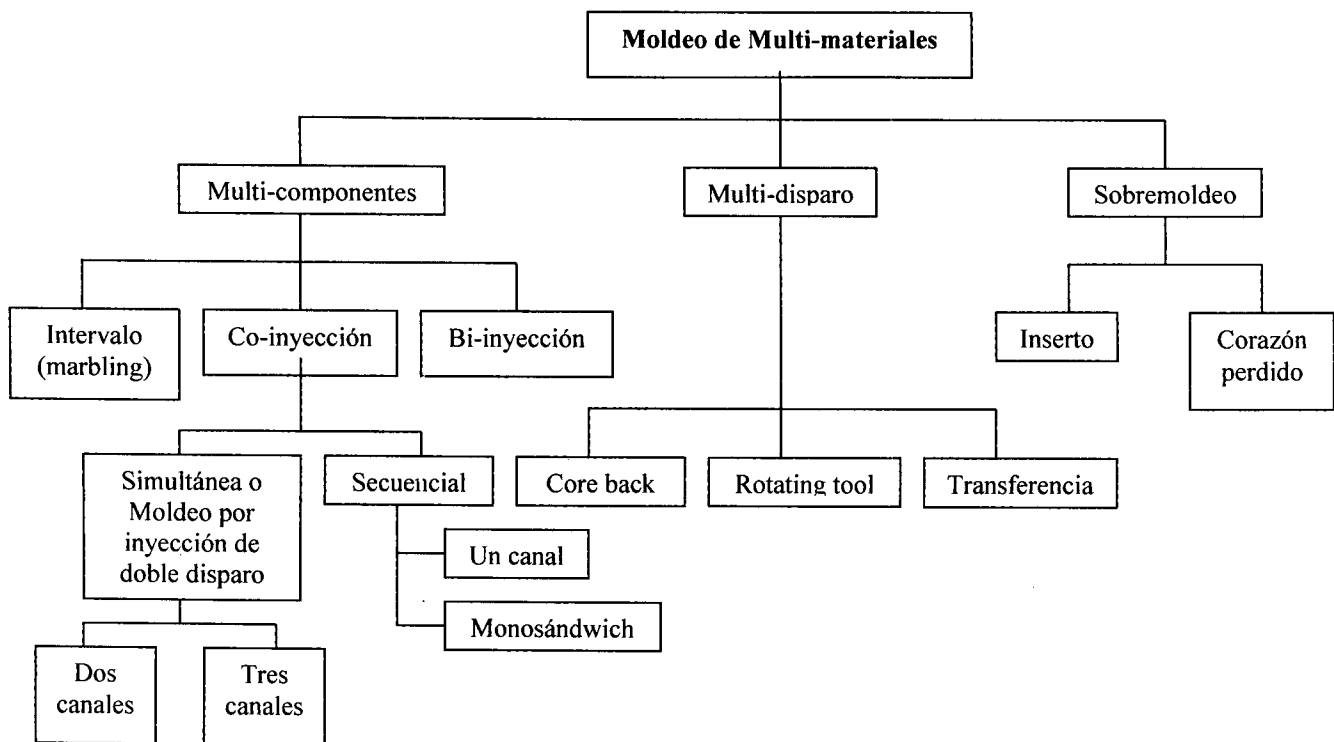


Figura 10. Opciones de procesos de multi-materiales

De los procesos anteriores el más común es el moldeo por co-inyección, proceso en el cual se inyectan dos materiales compatibles en un único molde de inyección y donde el núcleo queda completamente encapsulado, de forma que las distintas propiedades de los materiales utilizados en el núcleo y en el exterior permiten conjugar propiedades específicas con un excelente acabado superficial.

2.2.2 Beneficios del moldeo de multi-materiales ^[10]

Utilizar componentes constituidos por más de dos materiales puede aumentar las características de diseño de los productos en los siguientes aspectos:

- Seguridad
 - Mejor agarre en ambientes secos y húmedos
 - Amortiguación de vibraciones
- Ergonomía
 - Incremento en el nivel de confort
- Funcionalidad del producto
 - Sellado resistente al agua
 - Absorción del sonido
 - Aislamiento eléctrico

Entre los aspectos de calidad que se pueden mejorar a través de la aplicación de multi-materiales se encuentran:

- ✓ Color / apariencia
- ✓ Protección UV
- ✓ Suavidad al tacto
- ✓ Diferenciación de los productos
- ✓ Rendimiento localizado (claridad, calor, rigidez)
- ✓ Reducción de peso
- ✓ Eliminación de operaciones de ensamble
- ✓ Disminución del número de partes
- ✓ Flexibilidad de diseño

2.3 Moldeo por inyección de doble disparo

2.3.1 Antecedentes

El proceso de moldeo por co-inyección fue inventado por P. J. Garner y D. F. Oxley de Imperial Chemical Industries "ICI" en Reino Unido, en aplicaciones de patente. ^[11]

Posteriormente, Garner recibió la primera patente de los EE.UU. en 1971. Esto fue llamado el proceso ICI. La idea era producir paredes gruesas moldeadas con una superficie lisa y corazón espumado, eliminando así la pobre calidad de la superficie del moldeo convencional de espuma estructural.

La primera versión de este proceso es llamada técnica de un canal, e implica la inyección secuencial de dos polímeros en un molde. Consiste en una máquina de moldeo por inyección con dos cilindros, uno para el material de la piel y otro para el material del corazón. El polímero fundido se inyecta secuencialmente en un molde, primero la piel y a continuación el corazón (Figura 11).

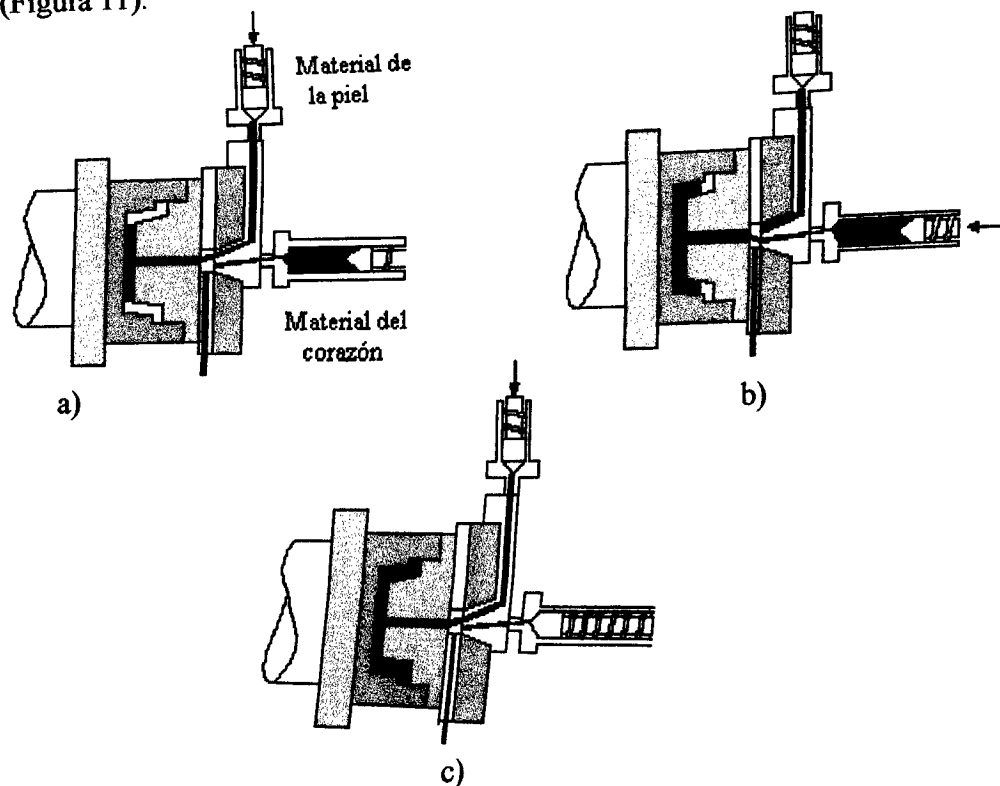


Figura 11. Técnica de inyección secuencial de un canal: a) piel, b) corazón, c) piel

Una válvula especialmente diseñada, permite la primera inyección del material de la piel solamente.^[12] En un punto preestablecido, el flujo se detiene y se inyecta el corazón. En el cambio de un material a otro hay una caída de presión en el molde. Este cambio de flujo de los polímeros puede parar el flujo, dando defectos en la superficie como marcas de sombra o marcas de brillo en la pieza. El espesor de la piel se puede controlar mediante la variación de la velocidad de inyección, temperatura del fundido y la compatibilidad de flujo de los dos materiales.^[13]

Como consecuencia de las características de flujo del polímero fundido y el enfriamiento del material de la piel en la superficie del molde, una densa capa sólida es formada y una estructura sándwich es obtenida.^[14] Las principales limitaciones de esta técnica son:

- Estancamiento y caída de presión al cambiar los flujos de polímero
- Desigualdad en la distribución de material del corazón
- Formación de marcas en un componente en forma de anillo mate

En 1970, estos inconvenientes fueron superados con la llegada de la boquilla de dos canales desarrollada entre Battenfeld y Sholemann-Siemag. Con esta configuración de la boquilla tanto el material de la piel y corazón son inyectados simultáneamente en una sola fase de inyección, dando lugar al surgimiento del Moldeo por inyección de doble disparo. Como resultado, moldeados más complejos, como las piezas de pared gruesa con corazón *espumado* o piezas de paredes delgadas con corazón sólido pueden ser producidos con cualidades de superficie tan buenas como las producidas por el moldeo por inyección convencional de piezas.^[15]

El primer estudio experimental del proceso de moldeo por inyección de doble disparo fue reportado por Donovan en 1975. En este estudio se aplicó el proceso de co-inyección para el reciclado de termoplásticos.^[16] En dicho trabajo se moldearon desechos de ABS comprendiendo aproximadamente el 40% del disparo total bajo ABS virgen en piezas para reciclar termoplásticos que tuvieran requisitos estrictos de apariencia.

Un proceso de moldeo sándwich fue propuesto por White y Lee. Este proceso es básicamente la inyección simultánea de dos capas estratificadas, que tienen la forma inicial de configuración de corazón anular o barra cilíndrica simple de dos semicírculos. Llegaron a la conclusión de que la inyección simultánea de polímeros fundidos consiste en un collar de fundido de baja viscosidad alrededor de un fundido de alta viscosidad es factible, pero si la baja viscosidad del fundido en el corazón da lugar a una inversión de fase.^[17]

2.3.2 Concepto de moldeo por inyección de doble disparo

El moldeo por inyección de doble disparo es una variante del proceso de co-inyección que consiste en la inyección simultánea de dos fundidos compatibles en el molde formando una estructura en capas o estructura “sándwich” (Figura 12).

El fundido inyectado primero forma la piel, mientras que el fundido que se inyecta después constituye el corazón.^[18] El propósito de esta técnica es combinar las diferentes propiedades de los polímeros del corazón y la piel. Generalmente dos unidades de inyección son requeridas, una para el polímero de la piel y otra para el polímero del corazón.^[19]

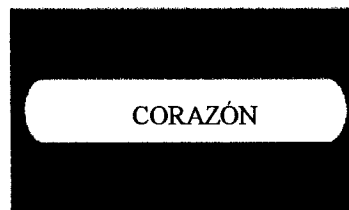


Figura 12. Sección transversal de una estructura sándwich

2.3.3 Parámetros a controlar

Uno de los problemas técnicos que se presenta regularmente en el moldeo por inyección de doble disparo es el mezclado a gran escala del material del corazón con el material de la piel, el cual se debe evitar con el fin de mantener un espesor uniforme de la capa de piel y sus propiedades resultantes. También debe prevenirse la penetración de la piel en el molde. Además hay limitaciones en la variación de las características de flujo entre los dos materiales que son permisibles.

2.3.3.1 Relación de viscosidad ($\eta_{\text{corazón}}/\eta_{\text{piel}}$)

La viscosidad de los materiales es de suma importancia ya que afecta la dinámica del proceso y la distribución resultante del corazón. Con el fin de mantener la configuración sándwich y el espesor uniforme de las capas y para el llenado óptimo del molde, la relación de viscosidad

entre núcleo y la piel ($\eta_{\text{corazón}}/\eta_{\text{piel}}$) debe estar entre 0,5 y 5. [20] Si la viscosidad de la piel es demasiado alta, el corazón fundido fluirá a través de la piel y de la capa superficial.

Si la viscosidad del material del corazón es mucho más alta que la viscosidad del material de la piel, el material del corazón tiene dificultades para avanzar, y tiende a expandirse a los lados, lo que resulta en una capa delgada de piel. Por otro lado, si la viscosidad del material del corazón es mucho más baja que la del material de la piel, el corazón fundido tenderá a avanzar ya que hay menor resistencia en la dirección de avance, resultando una capa de piel gruesa.

La relación de viscosidad de los materiales de la piel y el corazón es un factor determinante en la uniformidad del espesor y longitud de penetración del corazón (Figura 13), por lo tanto la combinación de materiales debe ser cuidadosamente seleccionada para lograr los resultados deseados. [21]

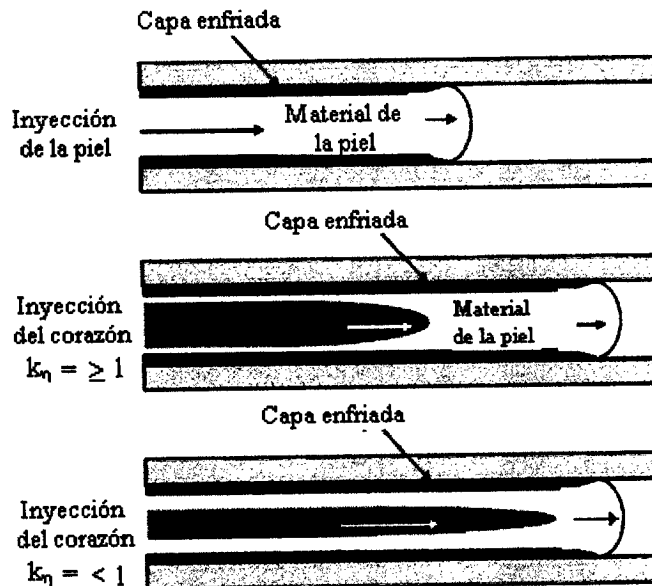


Figura 13. Relación de viscosidad de los materiales de la piel y corazón ($\eta_{\text{corazón}}/\eta_{\text{piel}}$)

2.3.3.2 Velocidad de inyección y temperatura del fundido

Una alta velocidad de inyección dará a la piel menor tiempo para solidificar contra la pared del molde, esta se acumula en el extremo final del molde, resultando en una fina capa de piel cercana a la entrada, y en el otro extremo del molde una sección muy gruesa. La temperatura del fundido afectará a la viscosidad y, por tanto, la relación de viscosidad, mencionada anteriormente. La temperatura del molde puede afectar el llenado del molde si la viscosidad de la piel es altamente dependiente de la temperatura. Sin embargo, se recomienda el uso de temperaturas de moldeo similares para ambos materiales, ya que se procesan simultáneamente.

2.3.3.3 Geometría de la pieza y tipo de entrada

Los herramientales utilizados en el moldeo por inyección convencional se pueden usar para el moldeo por inyección de doble disparo. El llenado de moldes y la distribución resultante de piel/corazón están fuertemente determinados por la ubicación de la entrada como se muestra en la figura 14.

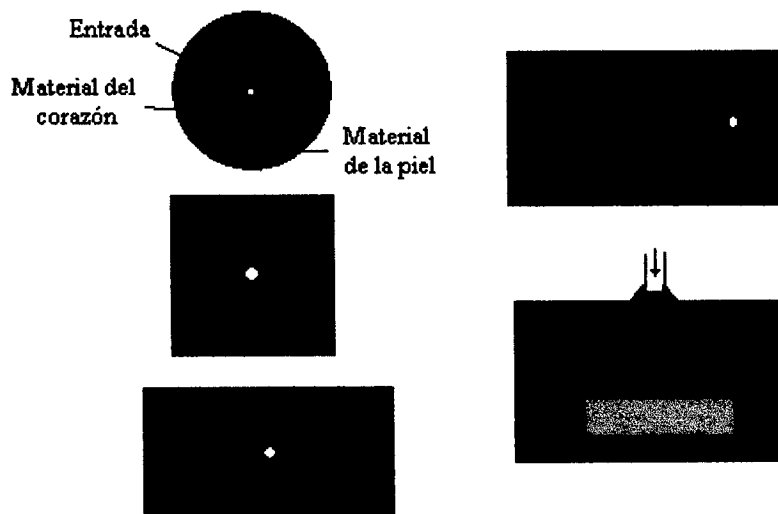


Figura 14. Distribución regular del material en dependencia de la geometría de la pieza y el tipo de entrada

Piezas de simetría adecuada muestran una buena y regular distribución de material. Los problemas pueden ocurrir con las piezas asimétricas con aberturas o variaciones en el espesor de pared, ellas frecuentemente tienen desigual en la distribución del componente del corazón.

Una buena distribución regular del material del corazón se puede obtener con la adecuada y hábil elección del material, geometría del molde y parámetros de procesado. Para lograr una distribución regular del componente del corazón en la pieza, la viscosidad del material de la piel debe ser inferior a la viscosidad del material del corazón.

Para $k_\eta < 1$, la más mínima variación de la resistencia al flujo local produce efectos de dispersión o flasheo. Estables y reproducibles condiciones de flujo, sólo son posibles para $k_\eta \geq 1$ (Figura 15).

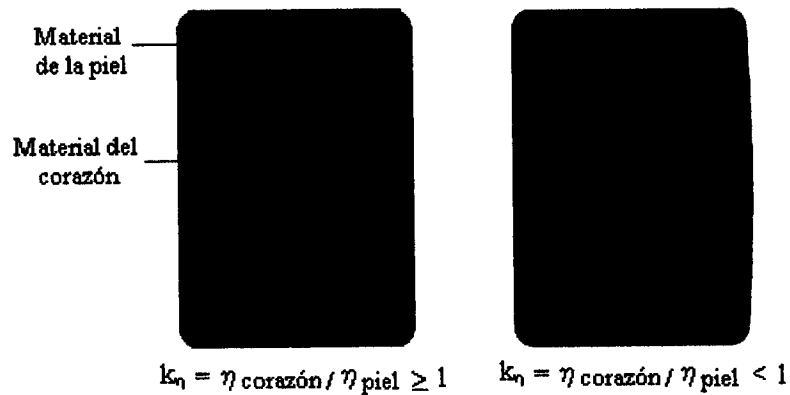


Figura 15. Distribución regular del material del corazón en dependencia de la relación de viscosidad

2.3.4 Materiales empleados

Es necesario que los materiales de la piel y el corazón sean compatibles unos con otros en términos de adhesión y encogimiento. La adhesión de las capas es necesaria para prevenir que el material del corazón se separe de la piel, generando la delaminación, especialmente si van a estar expuestas a cargas mecánicas. Por lo tanto, los materiales deben ser compatibles, si no es así, se debe emplear compatibilizantes en los componentes del corazón.

En el moldeo por inyección de doble disparo, la distribución regular del material del corazón dentro del material de la piel y el perfil de unión de las capas son los criterios más importantes de calidad. No es posible lograr una distribución totalmente regular de los materiales. En la dirección del flujo, la sección transversal forma siempre del perfil de la capa de unión una parábola.

La forma de la parábola depende de las propiedades reológicas de los polímeros procesados. La figura 16 muestra la dependencia de la unión de capa con la relación de viscosidad k_η . En el caso de $k_\eta < 1$, el frente de flujo del material del corazón muestra una obtusa, y en el caso de $k_\eta > 1$, una cónica.

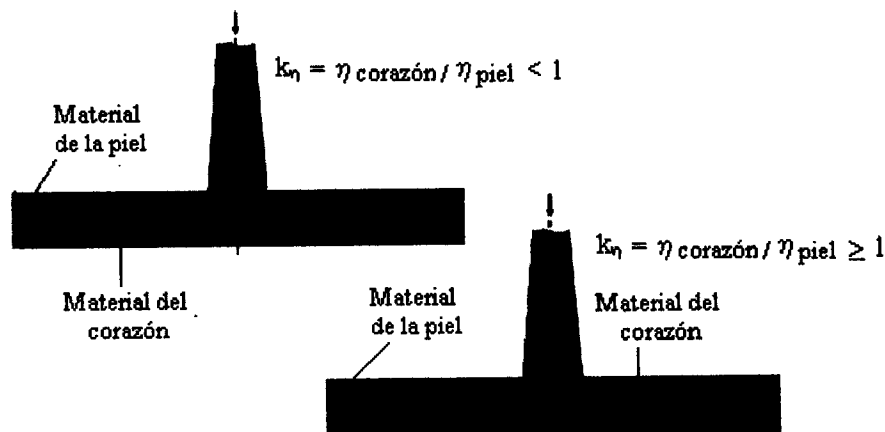


Figura 16. Perfil de la unión de capa en dependencia de la relación de viscosidad

El uso de compatibilizantes en corazón en el moldeo por co-inyección fue desarrollado y patentado por el Rover Group en colaboración con la Universidad de Warwick. Los investigadores de Warwick han desarrollado y reportado métodos para interconectar mecánicamente materiales inmiscibles en el moldeo por co-inyección y en el de doble disparo, pero estos se encuentran actualmente en fases tempranas de desarrollo. En la tabla 1 se muestra la compatibilidad entre los materiales para co-inyección y sus variantes, incluyendo al moldeo por inyección de doble disparo.^[22]

Tabla 1. Compatibilidad de los materiales para el moldeo por inyección de doble disparo

Materiales	ABS	Acrilnitrilo ester acrílico	Acetato de celulosa	Etil Vinil Acetato	Nylon 6	Nylon 6/6	PC	HDPE	LDPE	PMMA	POM	PP	PPO	PS de propósito general	HIPS	Politetrametilen tereftalato	PVC rígido	PVC flexible	Acrilonitrilo estireno		
ABS	+	+	+																		
Acrilnitrilo ester acrílico	+	+		+																	
Acetato de celulosa			+																		
Etil Vinil Acetato				+														0			
Nylon 6					+	+															
Nylon 6/6					+	+															
PC	+						+														
HDPE	-							+													
LDPE	-							+	+												
PMMA	+									+											
POM											+										
PP	-							0				+									
PPO														+							
PS de propósito general	-								+					+							
HIPS	-	0												+							
Politetrametilen tereftalato	+															+					
PVC rígido	+																+				
PVC flexible	0																	+			
Acrilonitrilo estireno	+	+																			

+ = Buena adhesión. - = pobre adhesión. 0 = no adhesión. Los espacios en blanco indican que la combinación no se recomienda (combinación no probada aún). La adición de cargas o refuerzos conduce a un deterioro de la adherencia entre las materias primas para la piel y el corazón.

2.3.5 Técnicas del moldeo por inyección de doble disparo

El moldeo por inyección de doble disparo se puede clasificar en dos técnicas, que son las de dos y tres canales.

2.3.5.1 Técnica de dos canales

La técnica de dos canales, desarrollada por Battenfeld a mediados de los años 1970 (Figura 17), incluye una fase de inyección simultánea. La secuencia del proceso por lo general es la siguiente:

1. Inyección de la piel a punto de cambio programado
2. Comienzo de la inyección del material del corazón por lo tanto la piel y el corazón fluyen juntos
3. Inyección sólo del corazón
4. Inyección sólo de la piel
5. Enfriamiento seguido por la eyección

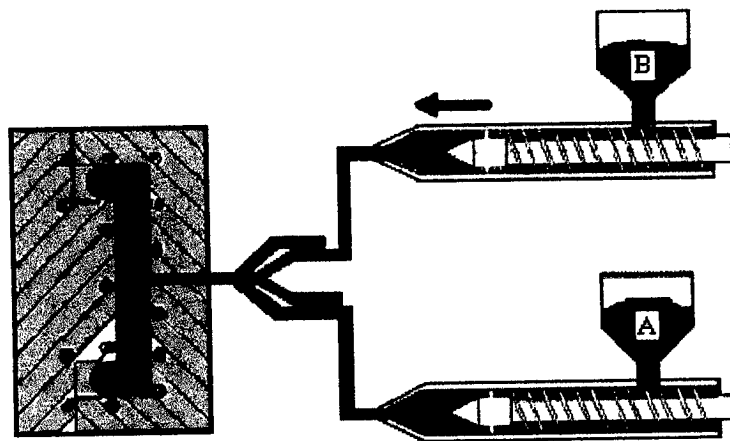


Figura 17. Técnica de dos canales desarrollada por Battenfeld

Este proceso implica la inyección del plástico fundido para la capa de la piel en la cavidad del molde. Después de un cierto tiempo preestablecido, por lo general en la región de 0.1-0.3 segundos, un segundo plástico que conformará el corazón se inyecta y por un período hay inyección simultánea de ambos materiales.

La inyección del material del corazón empuja la capa de piel contra las paredes de la cavidad donde se enfría y solidifica. La etapa final del llenado de moldes es la inyección de sólo el material del corazón, aunque algunas veces partes moldeadas son "cerradas" con capas de piel para completar la encapsulación del corazón.

Dos unidades de inyección se utilizan en este método, que se unen a través de una boquilla especialmente diseñada (Figura 18). En el diseño de Battenfeld, la boquilla está equipada con dos canales concéntricos separados que pueden ser operados independientemente, abiertos y cerrados hidráulicamente. Esto permite que el proceso de secuencia sea cuidadosamente controlado. Una fase de inyección simultánea de la piel y el corazón evita los problemas inherentes en la técnica de un solo canal por el mantenimiento de una velocidad de frente de flujo constante.

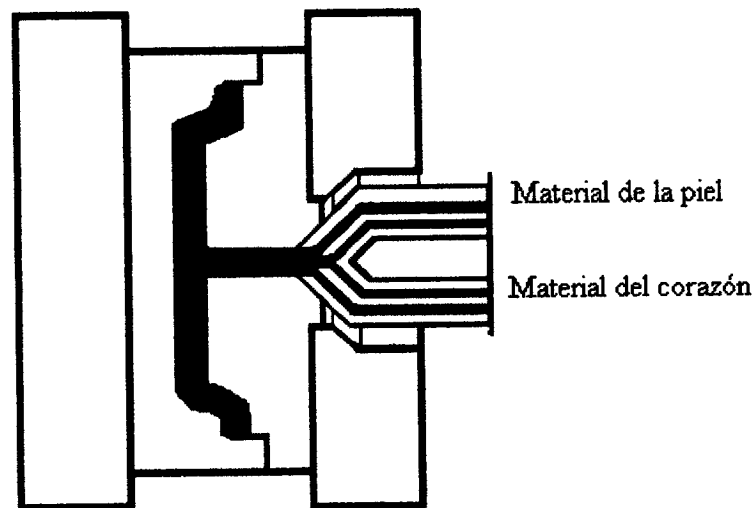


Figura 18. Diseño especial de la boquilla

En la Figura 19 se observan los perfiles de presión y velocidad del tornillo para el llenado de molde en las técnicas de uno y dos canales. En la técnica de un canal, el período de estancamiento después de la inyección de la piel (A) pero antes de la inyección del corazón (B) puede verse claramente, lo que resulta en una caída de presión en la cavidad y un período donde no hay movimiento de material en el tornillo. Esto demuestra muchas de las limitaciones de la inyección de un solo canal. Esta caída de presión es menos evidente en el método simultáneo o moldeo por inyección de doble disparo.^[23]

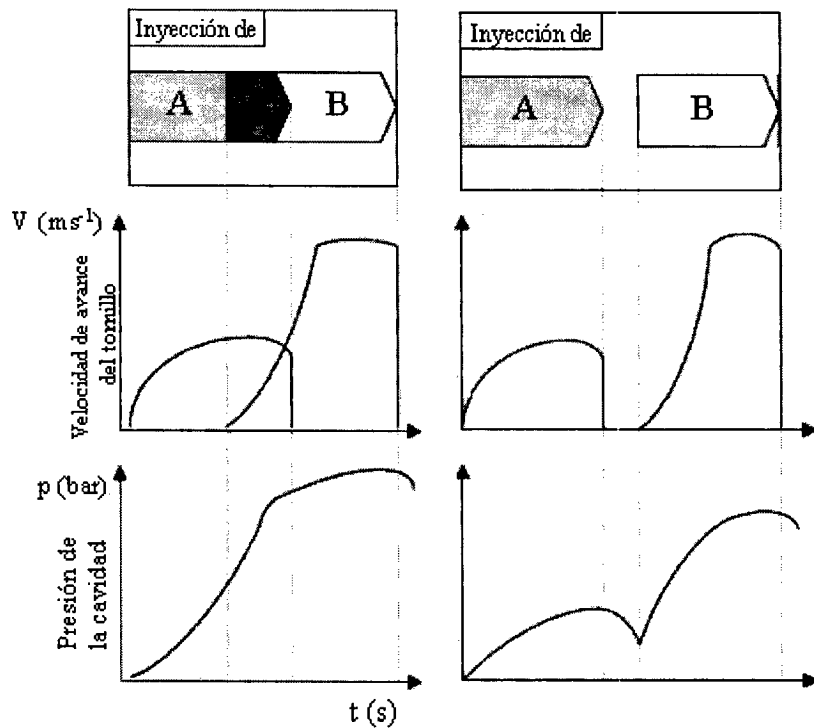


Figura 19. Comparación del llenado del molde entre las técnicas de dos canales (izquierda) y de un canal (derecha)

La duración de la fase de inyección simultánea depende de ambos materiales y la geometría del molde. Una duración típica es de 25% del tiempo de inyección para el componente de la piel. La dinámica de llenado de moldes dicta que la distribución óptima de material del corazón se obtiene si la viscosidad de la piel se mantiene ligeramente inferior a la del corazón. La operación independiente de las dos unidades de inyección facilita el control del espesor de piel en diversas partes del moldeado.

Esto se debe a que el control separado del perfil de velocidad de la piel y el corazón, el espesor de la piel puede ser ajustado en diversas partes del moldeado. Cantidades adicionales del material de la piel también pueden ser inyectadas durante el tiempo de sostenimiento para sellar la zona de entrada, que también asegura que la boquilla esté limpia del material de corazón y lista para el próximo disparo.

Debido a la dinámica de llenado de molde, el material que entra en el herramental y en las paredes de enfriamiento cerca de la entrada puede volver a fundirse y moverse lejos debido al calor generado por la fricción en la entrada al siguiente flujo de fundido. Esto puede conducir a variaciones en el espesor de la piel y dejar la piel cerca de la región de la entrada mucho más delgada que en el resto del producto. Este efecto es generalmente más pronunciado en el lado opuesto de la entrada debido al mayor corte experimentado en esta región. Con el fin de superar esto la técnica de tres canales fue propuesta.

2.3.5.2 Técnica de tres canales

En la técnica de tres canales, se utiliza un canal adicional para la piel, en el centro de la entrada con el fin de mantener el espesor de la piel en esta área. Un ejemplo de este sistema desarrollado comercialmente por Kortec se muestra en la Figura 20.

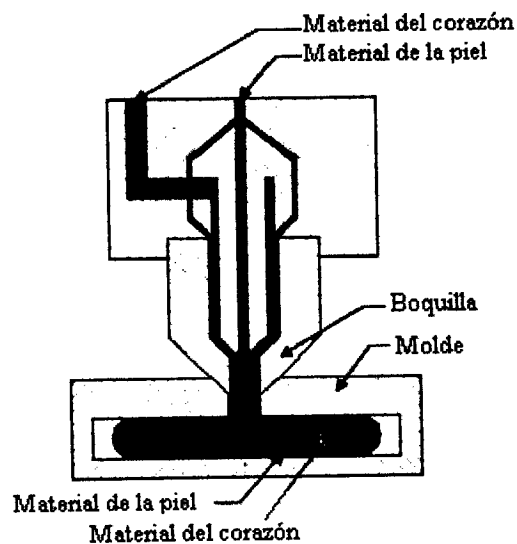


Figura 20. Técnica de tres canales de Kortec

Este es un ejemplo de un sistema manifold caliente. El canal adicional puede alcanzar el lado opuesto de la moldura, lo que permite que las dos superficies sean reguladas por separado y el espesor de la superficie sea controlado. Este diseño especial sólo puede utilizarse con una entrada central, de lo contrario la distribución piel/corazón sería irregular, según se detalla en la Figura 21. Para otras geometrías de entrada o moldeado de multi-cavidades, la técnica de dos canales o de un solo canal son preferidas.

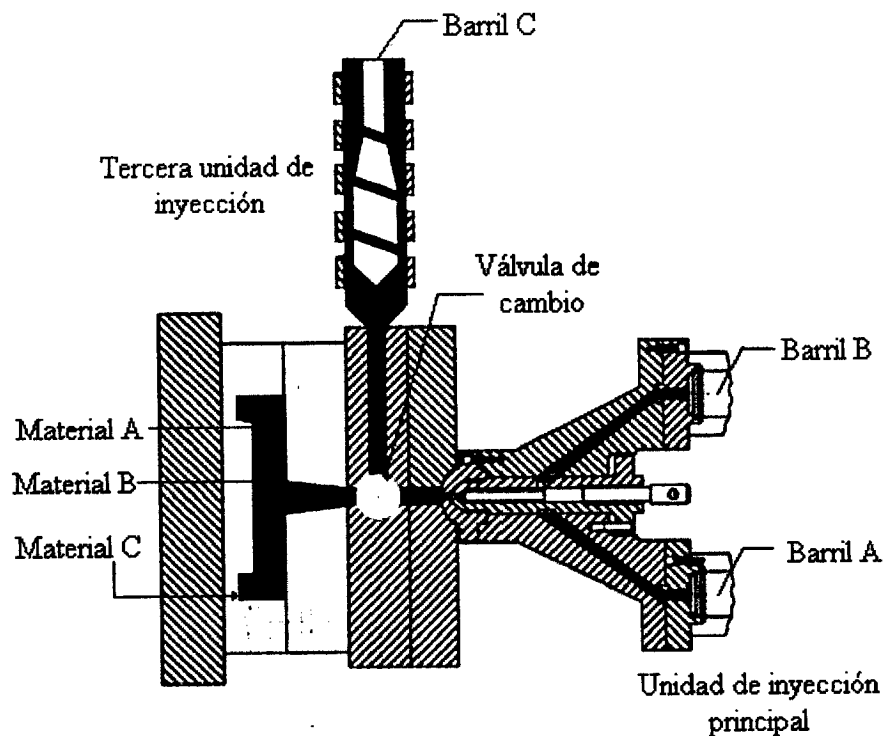


Figura 21. Técnica de tres canales de Battenfeld

Una técnica de tres capas para crear combinaciones inmiscibles de materiales fue proporcionada por la Corporación de Billion de Francia. Su solución para la incompatibilidad de los polímeros en el moldeo por inyección sándwich es el uso de una tercera capa intermedia de polímero como adhesivo aglutinante, esto es análogo a los métodos utilizados en la extrusión soplado. Sin embargo, la desventaja son los altos costos de la máquina, porque el sistema de corredores es complejo y una tercera unidad de inyección es requerida.

2.3.6 Ventajas del moldeo por inyección de doble disparo ^{[24], [25], [26]}

- Usando dos polímeros con propiedades diferentes, es posible obtener la combinación de una propiedad única que no es posible en el moldeo por inyección convencional.
- El uso de material reciclado o de bajo costo permite obtener piezas de calidad a un costo menor.
- Reducción en los costos de las resinas de ingeniería, ya que se pueden seleccionar polímeros específicos para la capa de la piel con el fin de mejorar la apariencia y la textura, resistencia, resistencia química, etc. y en el interior utilizar material mas barato.
- Mayor flexibilidad en el diseño de las piezas y su fabricación al utilizar las propiedades óptimas de cada material empleado.
- Reducción en el peso y estrés residual de la pieza al utilizar material espumado en el corazón.
- Reducción en el tiempo de ciclo.

2.3.6 Aplicaciones

En el proceso de moldeo por inyección de doble disparo, las diferentes propiedades de los materiales de la piel y el corazón y su distribución en la cavidad del molde afectan enormemente las propiedades y aplicaciones de las piezas moldeadas. A continuación se detallan las actuales aplicaciones del moldeo por inyección de doble disparo según la combinación de materiales piel/corazón de la pieza:

- Piel suave/corazón rígido:

Se consigue cierta rigidez estructural y alta resistencia en el corazón, pero con sensación de piel suave. Los ejemplos van desde agarraderas de puertas, palancas de cambios, hasta los volantes de automóvil.

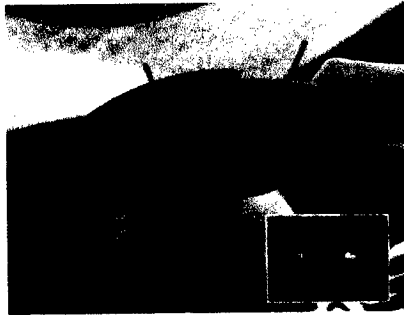


Figura 22. Componente inyectado con piel blanda y núcleo rígido

- Piel de material virgen/corazón de material reciclado:

Esta aplicación es la más económica de todas, se suele aplicar a mobiliario de jardín, parachoques de automóviles y fascias, letreros urbanos o en material eléctrico.

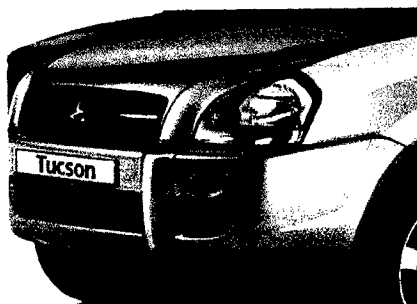


Figura 23. Componente inyectado con núcleo reciclado

- Piel con aditivo y con color/corazón sin color:

Se consigue reducir el costo de pigmentos, ya que se colorea la parte exterior de la pieza mientras que el corazón es incoloro, también se consiguen propiedades estéticas. Los ejemplos van desde envases de yogur hasta agarraderas para las puertas de los automóviles que solo van lacadas por la parte exterior.



Figura 24. Piezas inyectadas con piel aditivada y con color

Algunas otras aplicaciones comerciales de este tipo de moldeo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones actuales del moldeo por inyección de doble disparo

Combinación de materiales	Propiedades	Aplicación
Piel suave / corazón sólido TPU/ABS	Corazón de alta resistencia con piel suave	Agarraderas de puertas, palanca de cambios Piezas para el interior de los automóviles
Piel sin carga / corazón con carga conductiva ABS/ ABS con fibras de metal	Blindaje de interferencia electromagnética	Carcasas de computadoras
Piel sin carga / corazón reforzado	Alto acabado superficial, rendimiento estructural	Agarraderas para las puertas de los automóviles
Pintura en el molde / corazón variable	Acabado del producto después del moldeo no requerido	Adornos para ruedas
Piel sin carga / corazón espumado	Buen acabado superficial, baja densidad, alta rigidez	Paneles de carrocería de automóviles
PS/ PS espumado o reciclado PP/EVOH PET/ PA	Buenas propiedades barrera	Carcasas de televisores, envases para alimentos Preformas de botellas para bebidas
PP reforzado con mineral/ SAN espumado	Alta resistencia	Muebles de jardín

3. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

3.1 Tecnología TWINSHOT

A comienzos de diciembre de 2001, Twinshot Technologies autorizó a Spirex Corp. para suministrar la tecnología Twinshot en el mercado de actualización tecnológica de máquinas inyectoras.

El sistema Twinshot emplea un tornillo para extrusión instalado al interior de un tornillo reciprocante para inyección, ensamblados en un solo barril o unidad de plastificación. Requiere de tolvas de alimentación de material independientes para cada tornillo, pero no requiere de sistemas de distribución de material fundido especial.

En operación, el par de tornillos concéntricos producen dos flujos independientes de material fundido, al interior de la unidad de plastificación durante la fase de dosificación del ciclo de inyección. Los materiales se organizan de tal manera que, en la siguiente fase de inyección o llenado volumétrico del molde, el material conducido al interior de la cavidad en primera instancia, y por efecto del frente de flujo en forma de fuente (fountain flow), es conducido hacia las paredes del molde y enfriado al entrar en contacto con estas formando una capa sólida mientras que el segundo material es encapsulado al interior del espesor de pared del producto formando el corazón de la pieza inyectada (Figura 25).

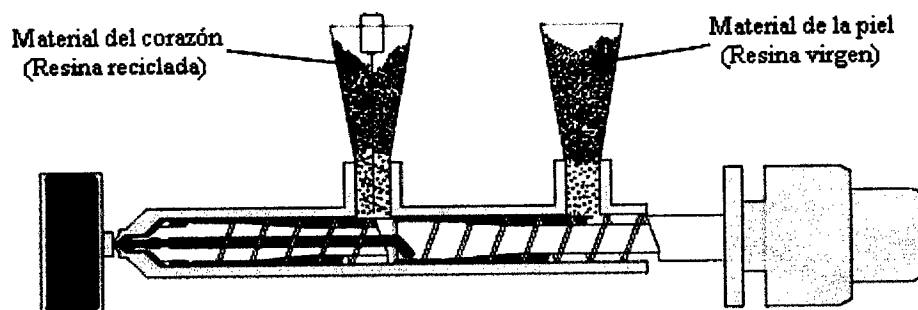


Figura 25. Tecnología TWINSHOT

Idealmente, el frente de flujo debe de alcanzar todos los extremos de la cavidad en forma simultánea. Las zonas extremas de la cavidad que experimenten un llenado prematuro no podrán contener una capa central o corazón. Los dos materiales a utilizar tienen que ser reológica y químicamente compatibles y el perfil de temperaturas de inyección debe de ser el mismo para ambos materiales por ser plastificados en la misma unidad.^[27]

«Community Enterprises» emplea esta técnica para fabricar una silla para el baño para personas discapacitadas. La silla, modelo «Blue Wave Bath», está fabricada con soportes de ABS inyectados con un centro de ABS espumado proveniente, en su totalidad, de material reciclado de la industria electrónica. Este centro es encapsulado por la resina de ABS virgen, la cual es plastificada en la segunda etapa del husillo.^[28]

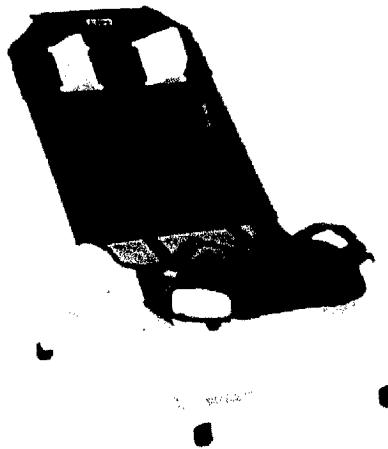


Figura 26. Aplicación comercial de la técnica TWINSHOT

3.2 Sistemas multicapa

La tecnología de los sistemas multicapa se basa en el empleo de resinas con altas propiedades de barrera, junto con otras resinas que tengan las propiedades ópticas y estructurales que el empaque necesita. Cada una de estas resinas se coloca como una capa, formando así un envase rígido con múltiples capas, cada una con una función diferente.

Una de las formas de proveer el PET con barrera al oxígeno es crear estructuras sándwich PET/Resina(s) de barrera/PET. El material que se utiliza en medio de las capas PET puede comprender resinas como el EVOH^[29] ó nylon (impermeables al O₂), nanocompuestos (resinas poliméricas reforzadas con nanoarcillas), resinas con absorbedores de O₂ (materiales que consumen o atrapan el O₂) o mezclas de todas estas opciones.

Kortec Inc. es emplea la técnica de tres canales para la fabricación de envases multicapa de PET. Es capaz de fabricar envases de 3 y hasta 4 capas a las mismas velocidades a las que se fabrican envases monocapa. Estos envases pueden ser diseñados para soportar ciclos de pasteurización, prevenir la delaminación y ser reciclados.



Figura 27. Envase multicapa obtenido por la técnica de tres canales

4. ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Debido a las legislaciones ambientales aparecidas en los últimos años y a la necesidad del empleo de material reciclado sin perder propiedades superficiales que supone el uso de material virgen, existe un notable interés en el estudio del moldeo por inyección de doble disparo.

Entre algunas aplicaciones potenciales en el desarrollo de esta tecnología se encuentran:

- Inyección de polímeros cargados con filamentos conductivos en la parte de la piel, con la finalidad de reducir cargas electrostáticas superficiales en las piezas, para la producción de partes electrónicas.
- Utilización de nanopartículas para mejorar la conducción en piezas poliméricas
- En función a las capacidades de reconocimiento de las viscosidades de los materiales en estado fundido, se podrá trabajar con materiales que normalmente son utilizados en moldeo por inyección de insertos como lo son los elastómeros termoplásticos olefinicos (TPO) para fascias y parachoques.
- Estructuras tipo sándwich en las que el material de recubrimiento es un polímero conductor.

5. CONCLUSIONES

- El moldeo por inyección de doble disparo permite obtener piezas en un ciclo con propiedades que no son posibles de obtener en el moldeo por inyección convencional.
- El moldeo por inyección de doble disparo permite reducir los costos de producción, si se combina en una misma pieza un porcentaje de un material de menor costo recubierto por otro de calidad superior y que se expone en la superficie. La aplicación más sustentable y económica es el empleo de material reciclado en el corazón y de material virgen en la piel
- La relación de viscosidad de los dos componentes inyectados juega un papel muy importante en la formación de la región interfacial, afectando sobretodo al espesor de la capa externa y a su uniformidad.
- La relación existente entre la viscosidad, temperatura del fundido y las diferencias de temperatura entre la piel y el corazón influyen notablemente en la distribución de los materiales de la piel y corazón en la calidad de la pieza final.
- La elección adecuada de los materiales influye en la adherencia que tendrán el material de la piel y el corazón, ya que si no son compatibles, ocurrirá delaminación de las capas.
- La principal desventaja del moldeo por inyección de doble disparo está en la complejidad de las máquinas necesarias, lo que incrementa su costo comparado con las máquinas de inyección convencional entre un 40 al 70%, ya que se requieren por lo menos dos unidades de inyección.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [1] Rafael Aguirre Flores, “Estudio del efecto de la humedad y el número de reciclados sobre las propiedades mecánicas de policarbonato procesado por moldeo por inyección”, Tesis de licenciatura, 1998
- [2] D. V. Rosato, D. V. Rosato, “Injection molding Handbook”, Ed. VNR, pp. 15
- [3] D. H. Morton-Jones, Polymer processing, Chapman and Hall , 1989, pp. 146-147
- [4] http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/maquina.html
- [5] http://www.avipla.org/detalle_informacion.php?info=articulotecnico&id=27
- [6] <http://www.mailxmail.com/curso/vida/inyecciondeplasticos/capitulo5.htm>
- [7] http://www.ambienteplastico.com/artman/publish/article_771.php
- [8] G. Pötsch, W. Michaeli, “Injection molding an introduction”
- [9] V. Goodship, J. C. Love, Multi-material Injection Moulding, Rapra (2002), pp. 127
- [10] J. Zhaol, S. Z. Yul, Multi-material moulding technologies for multifunctional and cost effective polymer products applications, International trade fair for plastics and rubber, Singapore 2008
- [11] Q. Xin, Z. Jue, “Visual computer-based simulation of the penetration length of the core melt in sandwich injection”, ANTEC, 2005, pp. 688-692
- [12] V. Goodship, J. C. Love, Multi-material Injection Moulding, Rapra (2002), pp. 9-20

[13] R. J. Digiantonio, G. K. Lawrence, "Two-shot molding of thermoplastic elastomers", ANTEC, 1992, pp. 851-853.

[15] P. Somnuk, G. F. Smith, "Experimental study of simultaneous co-injection moulding process", ANTEC SPE, 1995

[16] C. T. Li, D.J. Lee, A. I. Isayev, "Interface development and encapsulation in simultaneous coinjection molding of disk. II. Two-dimensional simulation and experiment", Journal of Applied Polymer Science, vol. 88, 2310-2318 (2003)

[17] J. L. White, B. L. Lee, "An experimental study of sandwich injection molding of two polymer melts using simultaneous injection", Polymer Engineering and Science, vol. 15, No. 7 (1975)

[18] G. Schlatter, J. F. Agassant, A. Davidoff, M. Vincent, "An unsteady multifluid flow model: application to sandwich injection molding process", Polymer Engineering and Science, vol. 39, No. 1 (1999)

[19] G. Shlatter, A. Davidoff, J. F. Agassant, M. Vincent, "Numerical simulation of the sandwich injection moulding process", ANTEC, 1995, pp. 456-460

[20] R. Seldén, "Co-injection molding: Effect of processing on material distribution and mechanical properties of a sandwich molded plate", Polymer Engineering and Science, vol. 40, No. 5 (2000)

[21] J. Zhao, S. Z. Yu, G. Chen, Y. K. Juay, "Over moulding technologies for automotive plastic components manufacturing applications", SIMTech technical reports, Vol. 9, No. 3, 2008, pp. 124-129

[22] D. V. Rosato, "Injection molding Handbook", Ed. KAP, pp. 1009

[23] V. Goodship, Practical guide to injection moulding, Arburg (Firm), Rapra Technology Limited, 220-229

[24] C. T. Li, A. I. Isayev, "Interface development and encapsulation in simultaneous coinjection molding. I. Two-dimensional modeling and formulation", Journal of Applied Polymer Science, vol. 88, 2300-2309 (2003)

[25] M. D. Moss, "Sequential coinjection hot runner", ANTEC, 1998, pp. 351-357

[26] S. C. Chen, K. F. Hsu, K. S. Hsu, "Numerical simulation and experimental studies of the co-injection molding process", ANTEC, 1993, pp. 8286

[27] www.spirex.com/program/misc/twinshot_introduction.asp

[28] http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u18_1/alephe/www_f_spa/icon/informador69/informes/informes2.html

[29] T. Seki, T. Katoh, S. Kubota, "High gas barrier container using co-injection molding methods", ANTEC, 1995, pp. 520-524