

# Selección de alternativas para obtener el mejor sistema de refrigeración de un molde de inyección para pieza de uso médico utilizando herramientas CAE

## Chosen options to get the best cooling system of injection mold for medical part using CAE tools

Candal, María Virginia\*; Zaldumbide, Pamela y Morales, Rosa Amalia

Grupo de Polímeros USB, Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Apartado 89000.

Caracas 1080-A, Venezuela.

\*mcandal@usb.ve

### Resumen

*El objetivo principal de este estudio fue buscar el mejor sistema de refrigeración para un molde de inyección destinado a producir un pistón, una tapa de goma y un tubo de vacío. Éstas son piezas que componen un instrumento médico para detección precoz del cáncer de mama, utilizando herramientas de Diseño asistido por computadora e Ingeniería asistida por computadora (CAD/CAE). Para llevar a cabo el objetivo principal se propusieron diferentes sistemas de refrigeración dependiendo de la forma de la pieza estudiada y se realizaron simulaciones para cada uno en el programa simulador. Se encontró que el mejor sistema de refrigeración para producir las gomas y los pistones es de canales pasantes; pero para inyectar tubos de vacío se obtuvo que el mejor sistema de refrigeración es de canales pasantes para su enfriamiento externo y de un "baffle" para el enfriamiento interno.*

**Palabras clave:** Moldes, inyección, ingeniería asistida por computadora, diseño asistido por computadora, piezas plásticas.

### Abstract

*The major objective of this study was to choose the best cooling system for an injection mold designed to produce a piston, a rubber cover and a vacuum tube. These are parts that compose a medical instrument for breast cancer early detection, using tools of Computer Aided Design and Computer aided Engineering (CAD/CAE). In order to carry out the major objective, different cooling systems were considered depending on the part form, and simulations for each one were made with the simulation program. It was found that the best distribution of the cooling system for the rubbers and the pistons are the across channels; but, the recommended cooling systems for the vacuum tubes, was crossing channels by the outside refrigeration and a baffle by the inside refrigeration of the part.*

**Key words:** Molds, injection, computer aided engineering, computer aided design, plastics parts.

### 1 Introducción

Una vida sin plástico es ya inimaginable. Sobre todo, si se piensa en productos de los sectores del envasado, automotriz y de la electrónica. Por su parte, el mercado sanitario está experimentando un gran auge y, como consecuencia, también está aumentando la utilización de piezas plásticas destinadas a ese segmento. Este gran auge se debe a varios motivos.

La utilización del plástico permite innovaciones im-

pensables con materiales convencionales. El moldeo por inyección proporciona una enorme flexibilidad en la ejecución geométrica de las piezas moldeadas, lo que constituye su principal ventaja, permitiendo cumplir de forma óptima los requisitos para la sustitución de otros materiales y, a su vez, conquistar nuevos campos de aplicación. La calidad de cualquiera de estas piezas depende del diseño del molde para su fabricación.

Por otro lado, el alto nivel de exigencia de la industria farmacéutica propicia la utilización de productos molde-

dos por inyección. Otro motivo que ha impulsado la demanda de piezas plásticas en la medicina radica en el crecimiento de la población mundial, por un lado, y en el aumento de la media de edad en los países industrializados, lo que incrementa la demanda de asistencia médica. Una mayor cantidad de casos de enfermedades crónicas y problemas médico-sociales hace que aumente a su vez la demanda de productos médicos y farmacéuticos.

El proceso de fabricación para las tres piezas que conforman un instrumento médico para la detección precoz del cáncer de mama es el moldeo por inyección. En el pasado, el diseño de moldes de inyección era un proceso largo y costoso con muchos errores incluidos. Una vez manufacturados los moldes, estos eran probados y reajustados de acuerdo a necesidades específicas. Después de este proceso, dichos moldes eran rectificadas para alcanzar las tolerancias y dimensiones deseadas. Hoy en día, existen programas de simulación que permiten el diseño y evaluación de una pieza y su molde, así como la detección de cualquier falla antes de maquinar el molde.

### 1.1 El cáncer de mama

La mama está formada por una serie de glándulas, que producen leche tras el parto, y a las que se les denomina lóbulos y lobulillos. Las glándulas se encuentran conectadas entre sí por unos conductos mamarios, que son los que conducen la leche al pezón, durante la lactancia, para alimentar al bebé. Las glándulas y los conductos mamarios están inmersos en los tejidos adiposo y conjuntivo, que, junto con el tejido linfático, forman el seno. A modo de muro de contención, actúa el músculo pectoral que se encuentra entre las costillas y la mama. La piel recubre y protege toda la estructura mamaria (Cáncer de mama: la mujer debe informarse).

El cáncer de mama consiste en un crecimiento anormal y desordenado de las células de este tejido, y éste constituye uno de los grandes problemas médico-sociales de la actualidad, por su aumento progresivo en el número de mujeres que lo padecen ((Cáncer de mama: la mujer debe informarse) y (La ecografía ductal de mama)).

La mayoría de los tumores que se producen en la mama son benignos, y son debidos a formaciones fibroquísticas. El quiste es como una bolsa llena de líquido y la fibrosis es un desarrollo anormal del tejido conjuntivo que no aumenta el riesgo de desarrollar un tumor y no requiere de un tratamiento especial. Los quistes, si son grandes, pueden resultar dolorosos. La eliminación del líquido con una punción suele hacer desaparecer el dolor. En cambio, los tumores malignos pueden ser localizados o haberse extendido, a través de los vasos sanguíneos o linfáticos, y haber dado lugar a metástasis, es decir, a un cáncer en un órgano distante al originario (La ecografía ductal de mama).

La posibilidad de cura o no del cáncer de mama así

como la técnica para hacerlo depende del estado y tipo de esta enfermedad. La detección precoz del cáncer de mama permite alcanzar cifras de supervivencia superiores al 90 %. Entre las herramientas más eficaces para la localización de lesiones potencialmente malignas o en etapas iniciales se encuentra la ecografía ductal, una técnica que permite detectar tumores mamarios milimétricos y que evitaría la realización de al menos el 50 % de las biopsias inútiles indicadas por la mamografía ((La ecografía ductal de mama) y (Teboul, 2002))

### 1.2 Moldes de inyección

En la actualidad, la sistematización del proceso de diseño y manufactura de artículos plásticos y moldes de inyección mediante el empleo de herramientas de computación ha facilitado la larga y complicada fase del proceso de obtención de una pieza. Con estos programas se pueden verificar aspectos relacionados con el ensamblaje y el acabado final de los mismos, además de la factibilidad del diseño elaborado.

Los programas CAD/CAE proporcionan al ingeniero soluciones en todas las etapas del diseño de la pieza y el molde así como en la manufactura de la pieza en sí, a fin de incrementar la productividad y calidad de la misma al momento de ser fabricada (Bordegoni y Rizzi, 2011).

Para lograr el buen funcionamiento de un molde de inyección se debe considerar un detallado diseño de los sistemas de alineación, ventilación, alimentación, expulsión y refrigeración. Específicamente, el proceso de enfriamiento de un molde dentro del ciclo de inyección, es crítico desde el punto de vista de la productividad y de la cantidad de piezas moldeadas. Dicho enfriamiento suele llevarse a cabo con agua, la cual circula a través de canales de refrigeración, de forma tal de lograr un enfriamiento uniforme de la pieza. Si la pieza es hueca se debe asegurar que su refrigeración tanto interna como externa sea igual para no generar contracciones ni alabeos elevados. Para enfriar internamente una pieza en un molde de inyección se recomiendan ((Kazmer, 2007) y (Beaumont, 2008)):

a) “Baffles”: los cuales son canales taladrados en forma perpendicular al canal de refrigeración principal, con una lámina de metal perpendicular que separa los dos canales semicirculares, por uno de los cuales entra el agente refrigerante, y por el otro sale y regresa al canal de refrigeración principal.

b) “Bubbler”: son similares a los “baffles”, excepto que la lámina de metal es reemplazada por un tubo pequeño, en el cual entra el agente refrigerante, para luego salir por el exterior de este tubo, en forma de fuente y continuar su recorrido hasta el canal de refrigeración principal.

c) Pin térmico: consiste en un sistema sellado que tiene un fluido internamente. Este fluido se vaporiza a medida

que se extrae calor del metal y se condensa a fin de liberar el calor del refrigerante. La eficacia de este tipo de sistemas es casi diez veces mayor que la de los sistemas anteriores, pero su costo es mayor.

### 1.3 Trabajos previos

Existen algunos trabajos reportados en la bibliografía donde se han desarrollado moldes de inyección para piezas plásticas. Uno de ellos es el realizado por Candal y col., (2004, 2005) quienes desarrollaron un molde de inyección familiar para producir una tapa de seguridad, conformada por dos piezas (interna y externa) para envases de vitaminas. En el diseño del molde de esta tapa se empleó un sistema de refrigeración tipo “baffle” y “bubbler” para los núcleos. Igualmente, se propusieron dos moldes de inyección: uno de cuatro cavidades con postizos intercambiables y otro de ocho cavidades que permitiera producir ambas piezas a la vez. Se evaluaron los sistemas propuestos estableciendo diferentes condiciones de proceso para cada uno, relacionadas con las variables del proceso de inyección (temperatura del fundido, presiones de inyección y sostenida y tiempos de enfriamiento y presión sostenida), hasta obtener las condiciones óptimas de proceso.

Utilizando las herramientas mencionadas de diseño y simulación, Candal y col., (2001, 2002) y Candal (2005) evaluaron un estuche de disco compacto comercializado en el mercado disquero, de forma tal de proponer mejoras en virtud de defectos observados. En este trabajo los cambios propuestos fueron a nivel de diseño, colocando entradas dobles, lográndose la disminución e incluso eliminación de altas concentraciones de esfuerzos y líneas de soldadura existentes, manteniendo uniforme el llenado y la distribución de temperaturas en las cavidades. Con este trabajo se desarrollaron las etapas de la ingeniería concurrente para lograr un producto optimizado combinando el diseño, la manufactura, la investigación de mercado y la simulación del proceso.

Por otro lado, Andrisano y col., (2011) combinaron las técnicas de Diseño de Experimentos (DOE), CAE y herramientas de optimización para determinar las variables de operación óptimas para la producción de piezas plásticas inyectadas.

## 2 Metodología

El instrumento utilizado para la técnica de detección precoz del cáncer de mama conocida como ecografía ductal, consiste en tres piezas ensambladas, conformadas por un pistón, una goma y un tubo de vacío. Se procedió a dibujar estas piezas y a ensamblarlas en un programa modelador de sólidos en tres dimensiones (Figura 1).



Fig. 1: Pieza ensamblada

Para llevar a cabo el diseño de los tres moldes se debieron definir las siguientes características:

#### (a) Pistón:

- Para la fabricación del pistón se propuso un polipropileno grado inyección PP NOVOLLEN 1120 H (Densidad = 0,9587 g/cm<sup>3</sup> y MFI = 6,84 g/10 min) manufacturado por BASF. Se escogió este material porque posee las características necesarias para la aplicación médica que se le va a dar a la pieza, ya que presenta buena rigidez y resistencia a sustancias químicas.
- La disposición de las cavidades en la placa del molde es de tipo “H”, con entradas laterales y canales de sección trapezoidal modificada (Figura 2).
- Se calculó como 4 el número de cavidades a inyectar en cada molde.
- Para la fabricación de las placas de los moldes se decidió usar el acero P20 ya que posee alta tenacidad y resistencia al desgaste.
- Las variables de proceso óptimas empleadas fueron: Temperatura de fundido = 230°C, Presión sostenida = 5 MPa, tiempo de presión sostenida = 14 s, tiempo de enfriamiento = 100 s y velocidad de inyección = 4,4 cm<sup>3</sup>/s.

#### (b) Goma:

- El material escogido para la fabricación de esta pieza es el EPDM EDO64T (densidad = 0,8995 g/cm<sup>3</sup>), manufacturado por Boreales.
- La disposición de las cavidades escogida fue en “H”, con una entrada de tipo capilar.
- Se calculó el número de cavidades a inyectar como 16 (Figura 3).
- Para la fabricación de las placas de los moldes se decidió usar el acero P20 y para los postizos del macho de la goma se propuso un acero con aleaciones de Cobre y Berilio.
- Las variables de proceso óptimas empleadas fueron: Temperatura de fundido = 220°C, Presión sostenida = 6 MPa, tiempo de presión sostenida = 20 s, tiempo de enfriamiento = 100 s y velocidad de inyección = 4 cm<sup>3</sup>/s.

#### (c) Tubo de Vacío:

- Se utilizó nuevamente el PP NOVOLLEN 1120 H.
- La disposición de las cavidades en la placa es en forma de

estrella (“X”), con dos entradas capilares (Figura 4).

- Se calculó el número de cavidades a inyectar como 4.
- Para la fabricación de las placas de los moldes se decidió usar el acero P20 y para los postizos machos se utilizó un acero Bohler WKW4.

- Las variables de proceso óptimas empleadas fueron: Temperatura de fundido = 230°C, Presión sostenida = 9 MPa, tiempo de presión sostenida = 7 s, tiempo de enfriamiento = 100 s y velocidad de inyección = 6 cm<sup>3</sup>/s.

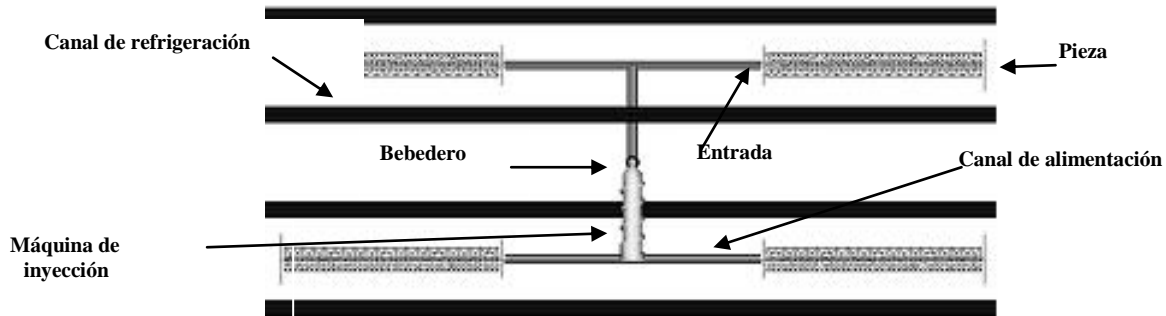


Fig. 2: Distribución tipo “H” del molde para inyectar el pistón

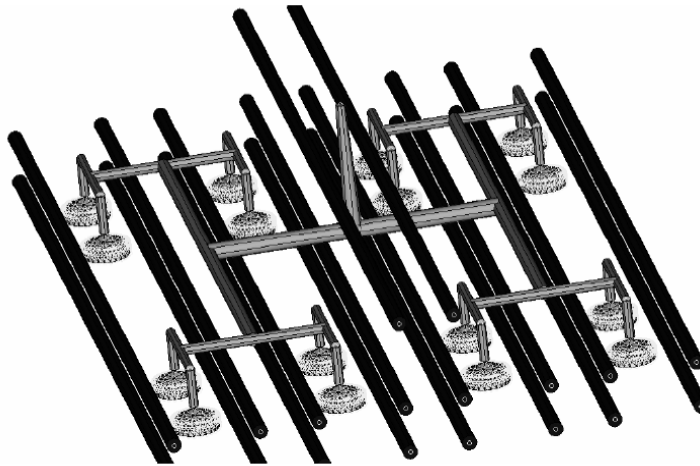


Fig. 3: Distribución tipo “H” del molde para inyectar la goma.

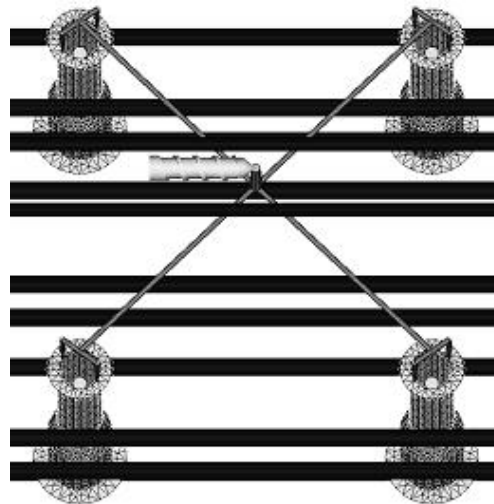


Fig. 4: Distribución tipo “X” del molde para inyectar el tubo de vacío

Es importante mencionar que la máquina de inyección usada fue una REED de 100 Tm de fuerza de cierre y el agente refrigerante que se seleccionó para el enfriamiento de las piezas fue el agua a 25°C para el pistón y el tubo de vacío y 50°C para el tapón, todos ellos con una velocidad de fluido refrigerante de 10 l/min, lo cual asegura un número de Reynolds de 10000, por lo que se está en un flujo turbulento.

Después de definidas todas las características anteriores y dibujadas las piezas, se procedió a llevar a cabo el mallado con el programa modelador en dos dimensiones y media (2.5D) con elementos triangulares. Se evaluó la convergencia tipo h de los resultados, utilizando como criterio de parada variaciones menores al 3%. Los resultados tomados en cuenta para esto fueron el tiempo de llenado, tiempo de ciclo y esfuerzo de corte máximo para las mallas de 2.5D recomendado por Candal y col., (2007). Seguidamente, se importaron al programa de simulación las tres piezas malladas, en donde se procedió a dibujar el sistema de alimentación y refrigeración con las dimensiones calculadas previamente. Una vez realizado esto, se mallaron estos canales en una dimensión.

Se procedió a llevar a cabo las simulaciones del proceso de inyección para obtener el mejor sistema de refrigeración para los moldes diseñados, además de las variables de operación propuestas. En esta etapa del trabajo se llevó a cabo un análisis para la validación del molde observándose los resultados de cada corrida, basándose en los siguientes aspectos, los cuales son aplicables a cualquier pieza plástica inyectada:

**Optimización de la calidad del producto:** la cual consistió en verificar que los resultados de contracción volumétrica, presión en la cavidad, diferencia de temperatura, esfuerzos de corte en la pared de la pieza, llenado de las cavidades, temperatura de expulsión de la pieza, fracción de capa sólida, alabeo, porcentaje de rechupe y fuerza de cierre estuvieran dentro de los rangos permitidos para obtener piezas de excelente calidad y buenas propiedades mecánicas.

**Optimización del tiempo de ciclo:** una vez alcanzadas las condiciones óptimas de procesamiento, se efectuaron corridas intentando mantener dichas condiciones, pero con el objetivo de reducir el tiempo de ciclo al mínimo, sin que esto significara afectar la calidad de la pieza. Para dicho tiempo, la pieza debe cumplir con una serie de requisitos entre los cuales están: la temperatura de expulsión adecuada para cada material, una presión en la cavidad igual a la presión atmosférica y unos esfuerzos residuales iguales a cero, y que la pieza haya alcanzado el 100%, y en el caso de los canales de alimentación el 75%, de la fracción de capa sólida al desmoldear la pieza.

**Optimización del sistema de refrigeración:** es importante evaluar los sistemas propuestos, y de esta manera validarlos, mejorarlos o eliminarlos. Este aspecto fue evaluado con los resultados presentados para cada corrida por el programa simulador, referentes a la eficiencia de los canales de refrigeración, diferencia de temperatura en la cavidad, con-

tracción lineal y volumétrica, rechupe y alabeo. Se busca que la eficiencia de los canales de refrigeración sea mayor a uno, pues por debajo de este valor se considera que el sistema propuesto es ineficiente. En cuanto a la diferencia de temperatura se busca que el valor de ésta se encuentre por debajo de 10°C, asegurando un enfriamiento igual a lo largo de toda la pieza. En cuanto a la contracción va a depender del tipo de material que se esté inyectando, si es semicristalino o es amorfo.

**Optimización de desperdicios:** estos desperdicios se refieren a los canales de alimentación y el bebedero que se forman para cada ciclo de moldeo, ya que estos, una vez producida la pieza, no forman parte de ésta y carecen de utilidad. Para disminuir la masa de este desperdicio, se debe disminuir la masa de los canales de alimentación, y una manera de hacerlo es asignar dimensiones más pequeñas al área transversal o a la longitud de éstas. Se debe cuidar que este cambio no implique solidificación del material antes de que la pieza se llene y compacte, o que los esfuerzos de corte en el material aumenten con la posibilidad de degradación de éste, e igualmente que no ocurran aumentos grandes de presión. Es importante mencionar que cada material tiene un rango de valores estipulados, por debajo o por encima de los cuales, el diseño de los canales es inadecuado.

### 3 Discusión de resultados

Para que un molde pueda producir una pieza, con las características de calidad mencionadas, éste debe presentar una serie de aspectos conjugados adecuadamente, y estos aspectos se refieren a las consideraciones de diseño, así como a las condiciones de operación del ciclo de moldeo por inyección.

#### 3.1 Comparación de los sistemas de enfriamiento propuestos

(a) Tubo de vacío: a continuación, se explican cada uno de los sistemas propuestos para esta pieza:

Sistema N° 1: con este sistema, que se puede observar en la Figura 5, se busca que la pieza no solo sea enfriada interiormente sino en su exterior, con la mayor uniformidad posible, y así evitar diferencias de temperatura entre la zona externa e interna de la pieza que pueden resultar en problemas de alabeo. Sin embargo, estos canales circulares alrededor de la pieza presentan altas complicaciones a la hora de ser mecanizados, ya que la manera de hacerlo es una mitad en una placa, la otra mitad en otra placa, y luego unir éstas muy bien para que no escape el agua. La propuesta de este sistema inicial no sólo fue una mala idea en cuanto a su dificultad de mecanizado, sino que además estos impiden la expulsión de la pieza correctamente al no permitir una apertura en dirección horizontal. Es importante resaltar que los salientes que poseen las piezas son de difícil expulsión lo cual hace que se tenga que diseñar un molde de doble apertura.

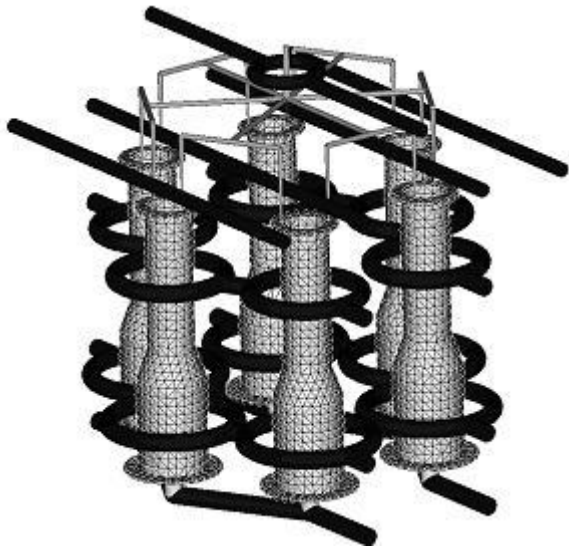


Fig. 5: Sistema No. 1

Sistema N° 2: este sistema sustituye los canales circulares alrededor del exterior de la pieza, por canales pasantes a los lados de ésta (Figura 6). Tomando en cuenta los resultados de eficiencia de los canales de refrigeración que muestra el programa, se puede mencionar que estos canales de refrigeración de la hembra pasantes a los lados, no hacen nada, ya que su valor se encuentra por debajo de uno a todo lo largo de estos (por el orden de -0.3 y -0.4), mientras que para el enfriamiento interno de la pieza, la eficiencia presenta muy buenos valores por encima de uno. Se puede decir con respecto a esto que dichos canales de la hembra se pueden considerar inútiles, con lo que se propone eliminarlos.

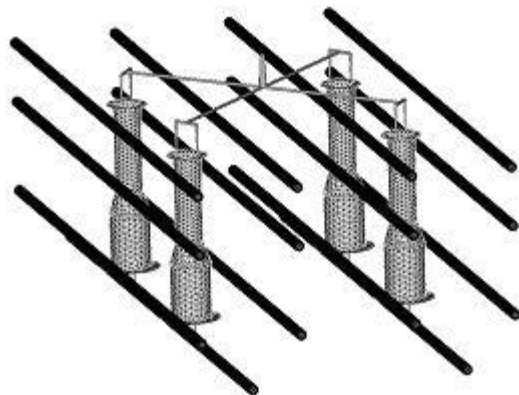


Fig. 6: Sistema No. 2

Sistema N° 3: para este sistema se realizó la eliminación de los canales pasantes en la hembra, ya que se determinó anteriormente que estos resultaban inútiles. Es importante resaltar que los canales pasantes colocados en la placa de la colada no fueron eliminados, así como los de refrigeración interna de la pieza tampoco (Figura 7). Para los cana-

les pasantes responsables de llevar el refrigerante hacia los sistemas de refrigeración interna se realizó el aumento de diámetro, ya que la eficiencia para ellos era baja. Otra razón de la realización de esto último es que estos están colocados hacia la zona más alejada de la entrada a la cavidad, que es para la cual se espera que se presenten mayores valores de contracción, ya que es más difícil la llegada de la presión sostenida hacia esta zona.

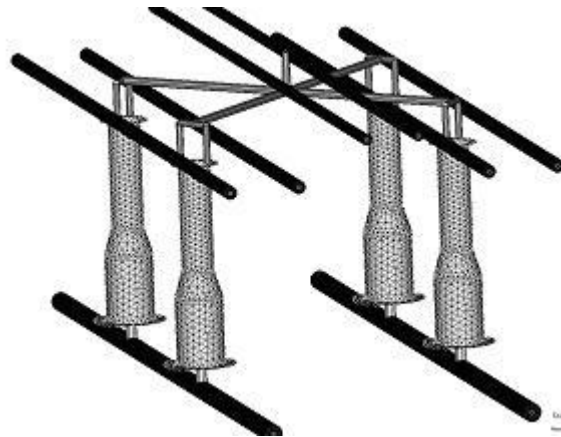


Fig. 7: Sistema No. 3

En la Figura 7 se presenta el último sistema que es el escogido para el molde del tubo de vacío. Al revisar el resultado relativo a la temperatura de la masa en el momento de la expulsión se encuentra que la misma es de 32°C, y dicho valor se encuentra por debajo de los 93 °C permitidos para el PP, por lo que se puede afirmar con respecto a este resultado que este sistema funciona, ya que por encima de éste la pieza no ha solidificado lo suficiente y puede deformarse con cualquier esfuerzo mínimo al salir del molde.

Para la refrigeración interna de este sistema, se comparó el uso de “Baffles”, “Bubblers” y pines térmicos, para determinar cual era el mejor. Para determinar esto, se llevaron a cabo las simulaciones con las variables de proceso óptimas para las tres opciones por igual y se compararon los resultados de eficiencia presentados en la tabla 1. Con respecto a estos resultados, pareciera indiferente colocar cualquiera de los tres sistemas internos, pero el “baffle” es el mas económico de todos, por lo tanto es el escogido.

Tabla 1 Eficiencia de los diferentes sistemas de refrigeración interna del tubo de vacío

Sistema	Eficiencia
Baffle	6,225
Bubbler	6,113
Pin térmico	5,933

Otro detalle importante es que las diferencias de temperatura para la pieza no superen los 10 °C. Este resultado se cumple. El máximo es 8 °C. De encontrarse los valores de diferencia de temperatura mayor a 10 °C, la pieza pre-

sentaría diferencias de contracción considerables para distintas zonas de la misma lo que deriva en un alabeo de ésta (Menges y Mohren, 1990).

Con respecto a la contracción volumétrica se encontró que los valores de ésta, se encuentran por el orden de 2 y 3 %. Estos valores son aceptables, ya que el programa simulador usado sobreestima los valores de contracción volumétrica hasta un 2 %, y además el valor máximo aceptado para el PP teóricamente es de 3 % (C-MOLD Shrinkage and Warpage user's guide, 1997) y (Menges y Mohren, 1990). Comparando los tres sistemas de refrigeración interna, no se puede concluir nada con respecto a su influencia sobre la contracción, ya que las diferencias entre estos son muy pequeñas, pudiendo despreciarse.

Otro aspecto importante que se puede mencionar es que los mayores valores de la contracción volumétrica se encuentran hacia la zona ancha del tubo de vacío, lo cual es de esperarse, ya que ésta se encuentra más alejada de la entrada a la cavidad por lo que la presión sostenida se transmite menos. Sin embargo, la contracción volumétrica hacia esta zona no representa un problema, ya que el pistón se va a encontrar ensamblado en la parte contraria a éste, en donde, por consiguiente, las dimensiones deben ser más exactas a la cavidad.

(b) Goma: el sistema inicialmente propuesto fue de canales pasantes, de forma que cada cavidad tenía dos canales por encima y dos canales por debajo, colocados a los lados de ésta (Figura 3). Este sistema fue óptimo con respecto a los resultados de temperatura de desmoldeo, diferencia de temperatura y contracción volumétrica de la pieza. Los valores de la temperatura de desmoldeo se encuentran por el valor máximo de 80°C, que se encuentra por debajo del valor recomendado para este material.

Los valores de diferencia de temperatura se encuentran muy por debajo del valor permitido correspondiente a 10 °C, por lo que con respecto a este resultado el sistema de refrigeración propuesto ejerce su funcionamiento positivamente. Se encuentran por el orden de 1°C.

Los resultados de contracción volumétrica para la goma utilizando el sistema de refrigeración propuesto son positivos, ya que el mayor valor es alrededor de 4 %. Este valor no representa un problema porque aunque se conoce que esta pieza va a ensamblarse en el pistón, el material del cual está conformada es un elastómero el cual puede deformarse, además, como se mencionó anteriormente el programa simulador sobreestima los valores de contracción hasta un 2 % (C-MOLD Shrinkage and Warpage user's guide, 1997). Mientras menor es la viscosidad de un material, mayor será su contracción, y utilizando el PP como punto de comparación, el cual posee una viscosidad menor para temperaturas iguales, se esperará entonces que el valor de contracción para este material sea mayor a 3 % que es el correspondiente para el EPDM. Igualmente, el EPDM además de ser un material cristalino, para el cual los valores de contracción se encuentran de 1 a 5 %, es un elastómero por lo que no sólo van a ocurrir contracciones producto de la alineación de las

cadenas, sino también causadas por procesos de polimerización y entrecruzamiento, típico de los cauchos y que causan una disminución de la densidad resultando en menores dimensiones para la pieza.

La última zona de la pieza en enfriarse, según los resultados de la simulación, es la zona ancha del bebedero y el canal principal, lo cual se puede afirmar, ya que es aquella cuya temperatura de desmoldeo es mayor, por lo tanto, es la última en formar una fracción de capa sólida igual a uno. Sin embargo, al momento de desmoldeo, no es necesario que los canales de alimentación y el bebedero hayan solidificado un 100 % como es el caso de la pieza, pues con obtener un valor de 75% de capa sólida, es suficiente, por lo que el tiempo de ciclo es determinado por el necesario para que la parte ancha del bebedero alcance este valor. La variación de la fracción de capa sólida para esta zona se presenta en la Figura 8.

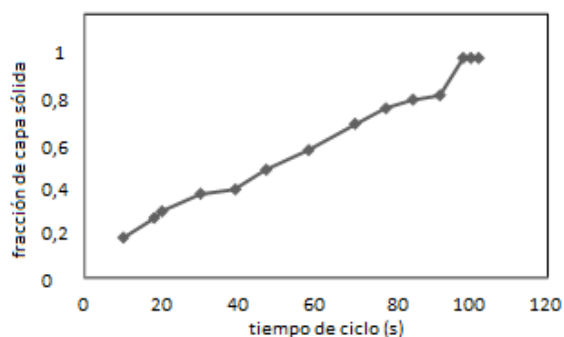


Fig. 8: Fracción de capa sólida

Como se observa en la Figura 8, el tiempo de ciclo tiene un valor aproximado a 77 segundos, un poco por encima de un minuto. En un intento de disminuir el enfriamiento del bebedero, se propone acercar un poco más los canales de refrigeración del bebedero hacia la zona ancha de éste, respetando las distancias permitidas de separación mínima entre estos (10 mm para un diámetro de canal de 10 mm) (Menges y Mohren, 1990), lo cual se muestra en la Figura 9. Las condiciones de temperatura y caudal del refrigerante se mantuvieron constantes.

En la Figura 10 se presenta una comparación de la formación de capa sólida con el tiempo para ambos casos estudiados, en la cual se demuestra que el cambio propuesto dio resultados opuestos por lo que se escoge el inicial.

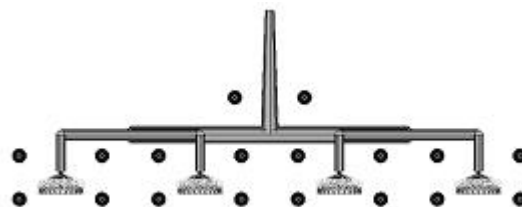


Fig. 9: Distribución de los canales de refrigeración

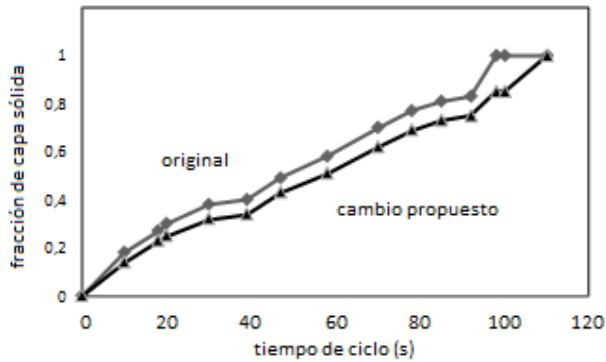


Fig. 10: Comparación de la formación de capa sólida

### (c) Pistón

Para el pistón se propuso un sistema de refrigeración sin necesidad de modificaciones posteriores, pues su desempeño fue validado demostrando resultados positivos. Se encontró que el valor de la temperatura de desmoldeo se encuentra por debajo de los 93 °C permitidos para el PP, afirmando que la solidificación de la pieza es la adecuada para el tiempo de ciclo. La zona que más tarda en enfriar es el bebedero, por lo que el tiempo de ciclo de la pieza va a ser determinado por aquel que tarde en alcanzar una fracción de capa sólida de 75 %.

La diferencia de temperatura en la cavidad se encuentra por debajo de los 10 °C permitidos para las piezas inyectadas, en el caso del sistema de refrigeración propuesto.

Los valores de contracción volumétrica obtenidos están por el orden de 2 %, que son valores aceptables, ya que como se dijo antes, el programa usado sobreestima los valores de contracción hasta un 2 %, y además se encuentra por debajo del máximo aceptado para el PP, que corresponde a un 3% (Menges y Mohren, 1990).

### Conclusiones

Para el enfriamiento interno del tubo de vacío (pieza hueca y esbelta) es indiferente colocar cualquiera de los tres sistemas internos (“baffle”, “bubbler” y pin térmico), pero por economía se decidió el uso de un “baffle”. La altura del tubo de vacío no fue suficiente para crear diferencias al emplear cualquiera de los tres sistemas de refrigeración internos, como ha sido reportado.

Para la refrigeración externa de cada una de las tres piezas se decidió colocar canales pasantes por su facilidad de mecanizado y porque proporcionan buenos resultados. Los canales circulares dan excelentes resultados en cuanto a enfriamiento pero su mecanizado es sumamente complejo.

### Referencias

Andrisano A, F Gherardini, F Leali, M Pellicciari y A Vergnano, Design Of Simulation Experiments method for

Injection Molding process optimization, Proceedings of the IMProVe 2011 International conference on Innovative Methods in Product Design June 15th – 17th, 2011, Venecia, Italia.

Beaumont J, 2008, Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding, Hanser Publishers, München.

Bordegoni M y C Rizzi, 2011, Innovation in Product Design: From CAD to Virtual Prototyping, Springer, USA.

“Cancer de mama: La mujer debe informarse”. <http://www.enplenitud.com/nota.asp>

Candal MV, RA Morales y K Gorrín, 2007, Influence of mesh density on injection molding simulation results, Journal of Plastics technology, Vol. 3, pp. 1-11.

Candal MV, RA Morales y O González, 2001, Analysis and Design of a CD Case using CAD/CAM/CAE softwares, PPS’2001. s/p.

Candal MV, RA Morales y O González, 2002, A Procedure for the Optimization Design in Injection Mold Plastics Parts by CAD/CAE Software, SPE’s ANTEC Proceedings. s/p.

Candal MV, R Grimaud y RA Morales, 2004, Injection Family Molds Productivity using CAD/CAE Tools., SPE’s ANTEC Proceedings. s/p.

Candal MV, 2005, Integración CAD/CAE/CAM/PR en la Optimización del Diseño de Productos, Revista Ciencia e Ingeniería, Vol. 26 No. 3, pp. 121-130.

Candal M, R Morales, R Grimaud, 2005, Mold Design Optimization for Security Caps used in Pharmaceutical Industry, Polym Plas Tech Eng, Vol 44 No.2, pp.183-208.

“C-MOLD Shrinkage & Warpage User’s Guide”, 1997, Advanced CAE Technology, Inc, Nueva York.

Kazmer D, 2007, Injection Mold Design Engineering, Hanser Publishers, München.

“La ecografía ductal de mama”. Se encuentra en <http://medicablogs.diariomedico.com/drdelgado/2010/10/23/ecografia-ductal-de-mama-impacto-en-la-practica-habitual/>. Fecha de consulta: [Febrero, 2012]

Menges G y G Mohren, 1990, El Plástico en la Industria. Tratado Práctico. Moldes para Inyección, Editorial Gustavo Gili, S.A. México.

Teboul M, 2002, “Ventajas de la ecografía ductal sobre los estudios convencionales de la mama: exigencia de una ultrasonografía de la mama anatómicamente guiada”, Medicina General Vol. 44, pp. 335-339.

**Recibido:** 01 de diciembre de 2012

**Revisado:** 28 de febrero de 2013

**Candal, María Virginia:** Ingeniero de Materiales, MSc Ing. Mecánica, Ph.D. Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Prof. Asociado de la Universidad Simón Bolívar en el Depto. Mecánica.



**Zaldumbide, Pamela:** Ingeniero de Materiales, Master Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Ordenador. Correo electrónico: [pamelazaldumbide@gmail.com](mailto:pamelazaldumbide@gmail.com) .

**Morales, Rosa Amalia:** Ingeniero de Materiales, MSc. Ing. de Materiales, Prof. Titular de la Universidad Simón Bolívar en el Depto. Mecánica. Correo electrónico: [rmorales@usb.ve](mailto:rmorales@usb.ve).

