

## **DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN CON UN SISTEMA DE CAVIDADES INTERCAMBIABLES Y DESLIZANTES**

MARÍA V. CANDAL<sup>1</sup> Y MARÍA I. HERNÁNDEZ

<sup>1</sup>Universidad Simón Bolívar, Departamento de Mecánica, Sección de Polímeros,  
Apartado 89000, Caracas 1080-A, Venezuela.  
e-mail: mcandal@usb.ve

Recibido: septiembre de 2009

Recibido en forma final revisado: marzo de 2011

### **RESUMEN**

El presente trabajo tuvo como objetivo principal diseñar un molde de inyección de probetas normalizadas, destinadas a ensayos mecánicos, utilizando un sistema novedoso de cavidades intercambiables y deslizantes. El diseño que se propone se basa en el uso de insertos o postizos, para el moldeo individualizado de diferentes probetas. Actualmente, existe la tendencia a diseñar moldes con postizos intercambiables que ofrecen facilidades para la obtención de probetas diversas, con la característica de fijarse al sistema de placas mediante tornillos. Al estar sujetos de esa forma, presentan dificultades importantes al momento de montarlos y desmontarlos, para un cambio rápido de cavidades de moldeo. Para ello se requiere de un gran esfuerzo manual e inversión de tiempo. Partiendo de esa experiencia y de las tendencias recientes en la industria a usar moldes con sistemas de cambio rápido, el presente trabajo plantea el diseño con un sistema de postizos intercambiables y deslizantes, bajo las especificaciones de las normas ASTM 6141 e ISO 294-1. Con tal fin, se han diseñado dos postizos, uno para la inyección de probetas tipo halterio y otro para barras rectangulares, las cuales pueden usarse en múltiples ensayos mecánicos (tracción, flexión e impacto). Para modelar y validar el molde diseñado y los postizos propuestos se usaron los programas Pro/ENGINEER y C-MOLD. Se formularon dos propuestas preliminares, considerando los dos movimientos posibles de los postizos en el sistema de placas de la máquina de inyección: vertical y horizontal. La evaluación comparativa de los pros y los contras de cada molde favoreció al sistema horizontal, debido a sus facilidades de manipulación y garantías para inmovilizar los postizos.

*Palabras clave:* Molde, Probetas, Diseño, Simulación, CAD/CAE.

## **DESIGN OF INJECTION MOULD WITH A SYSTEM OF INTERCHANGEABLE AND SLIDING CAVITIES**

### **ABSTRACT**

The main aim of this work was the design of an injection mould with the purpose of preparing test specimens, using a new system of interchangeable and sliding cavities. The proposed mould is able to hold inserts able to, manufacture the individualized test specimen by injection moulding. Nowadays, the trend toward the design of moulds with interchangeable cavities intended for easing the process of obtaining diverse plastic parts in the same mould, present the characteristic of fixing the system of plates by means of several screws. This system presents important drawback, at the moment of a rapid change of them, like the trend of having to make a great manual effort and to spend considerable amount of time. The present work presents the design of a mould with sliding and interchangeable cavities, under ASTM 6141 and ISO 294-1 norms. The design of two interchangeable and sliding cavities is developed: one with the purpose of producing tensile test specimen and the other for manufacturing rectangular bars (for flexion or impact tests). In order to shape and validate the designed mold and the proposed cavities, the Pro/ENGINEER and C-MOLD software were used. Two preliminary designs were formulated considering horizontal or vertical possible movements of the interchangeable cavities in the system of plates of the injection mould. The comparative evaluation of the advantages and disadvantages of every mould favoured the horizontal system, due to its operational facility associated with the guaranty of an easy manipulation and immobilization of cavities.

*Keywords:* Mold, Test Specimen, Design, Simulations, CAD/CAE.

## INTRODUCCIÓN

Con el propósito de determinar el comportamiento de los materiales ante la aplicación de fuerzas (tracción, compresión, flexión, impacto, dureza.) se han ideado una cantidad de ensayos o pruebas. En la realización de tales pruebas se emplean probetas, cuyo tamaño y forma, así como la manera de ensayo, son establecidos por normas que intentan otorgar reproducibilidad y confianza a los resultados (Sha, 1998, Bikales, 2005). En el caso de los polímeros, las probetas son fabricadas por el proceso de inyección.

Hasta hace unos años, los moldes de inyección se elaboraban mecanizando en una misma placa las diferentes formas de las probetas. Estos moldes denominados familiares presentan el inconveniente de producir probetas de una sola clase, y ofrecen dificultades para el flujo del polímero debido a diferencias entre los espesores de las piezas. Procurando solventar esos problemas los organismos de normalización, ASTM e ISO, tomaron la determinación (a mediados de la década de 1990) de recomendar otro tipo de moldes con cavidades individualizadas, para cada tipo de probeta, y que fueran además fáciles y rápidas de intercambiar (Normas ASTM D-3641 2002 e ISO 3167 2002).

Actualmente, es frecuente la aparición de herramientas novedosas destinadas a agilizar el proceso de inyección. Una de las tendencias con mayor desarrollo en este aspecto, es la utilización de Sistemas de Cambio Rápido en Moldes (QMC), lo cual se inscribe dentro de la metodología de producción de Cambio de Herramientas de Preparación en menos de 10 minutos (SMED). Esta tecnología, por sus beneficios, se ha extendido a la fabricación de probetas para ensayos. Hoy en día, las normas especializadas en pruebas mecánicas las recomiendan, para así facilitar el cambio de las cavidades y poder obtener más rápidamente las muestras que son requeridas (Rodríguez, 2003).

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar un molde para la inyección de diversos tipos de probetas, empleando un sistema de cavidades intercambiables y deslizantes. La propuesta surgió al observar el trabajo de moldes con insertos intercambiables que se fijan mediante tornillos, y el tiempo que se consumía para cambiar las cavidades. El diseño planteado pretende optimizar los tiempos de cambio y está basado en las recomendaciones de las normas ASTM 3641 e ISO 294-1. Ante la tendencia actual de la industria a adoptar las normas ISO, como las más adecuadas para la unificación de criterios y procedimientos de ensayo, se decidió dimensionar las cavidades sobre la base de la norma ISO 294-1.

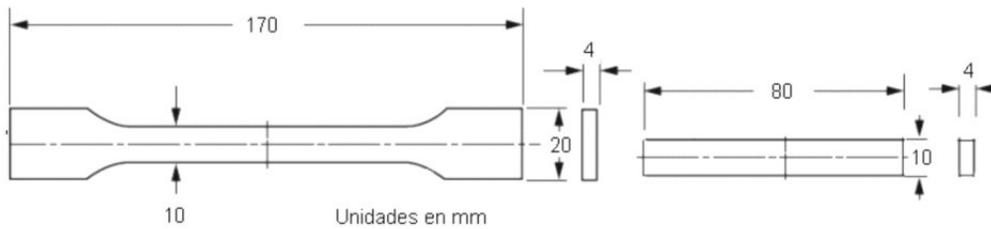
## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES

Uno de los inconvenientes más frecuentes que se presentan al trabajar con máquinas de inyección es el proceso de montaje y desmontaje del molde. En virtud de los múltiples componentes que forman parte del molde, y del hecho de que estos son piezas metálicas, a veces pesadas, la acción de colocar, retirar o sustituir una de ellas se convierte en una operación compleja, que requiere una inversión importante de tiempo y esfuerzo. Al mismo tiempo estos procedimientos deben realizarse varias veces, cuando se trata de moldear piezas diferentes en un lapso corto. Para resolver estas limitaciones, ha surgido un destacado interés en el sector de diseñadores y fabricantes de moldes, por facilitar la operación de montaje e intercambio de partes, a través de sistemas de cambio rápido.

El QMC es una herramienta diseñada para diversificar la producción mediante el cambio rápido de las cavidades y núcleos, los cuales pueden ser removidos sin necesidad de desmontar el molde completo. La mayoría de estos sistemas están formados por un plato porta-cavidades y un set de insertos intercambiables. Gran parte de ellos simplifican la preparación y operación del molde mediante movimientos sencillos de inserción y deslizamiento.

En el presente estudio, además de procurar un intercambio rápido de las cavidades de moldeo, se consideró la incorporación de probetas especificadas en la Norma ISO 294-1, en la cual se incluyen probetas multipropósito, según la norma ISO 3167, y especímenes tipo barra. Las probetas multipropósito están basadas en una geometría con la forma halterio (Figura 1 (a)), de la cual se puede extraer diversos tipos de probetas (halterio para ensayos de tracción, flexión o impacto). Las probetas de flexión e impacto se preparan mecanizando la probeta halterio multipropósito.

Según sus dimensiones existen dos tipos de probetas multipropósito, las cuales se identifican como: probeta multipropósito tipo A y probeta multipropósito tipo B. El término con el que se les reconoce, proviene del hecho de que pueden ser empleadas para realizar diversos ensayos, con sólo moldearlas directamente o mecanizarlas en la forma requerida para la prueba. La probeta A (Figura 1 (a)) es útil para ensayos de tracción, creep y dureza y corresponde a la probeta multipropósito de la norma ISO 3167 identificada con la misma letra; mientras que la probeta tipo B es empleada para ensayos de flexión, compresión, impactos izod y charpy, siendo especímenes con forma de barra rectangular (Figura 1 (b)).



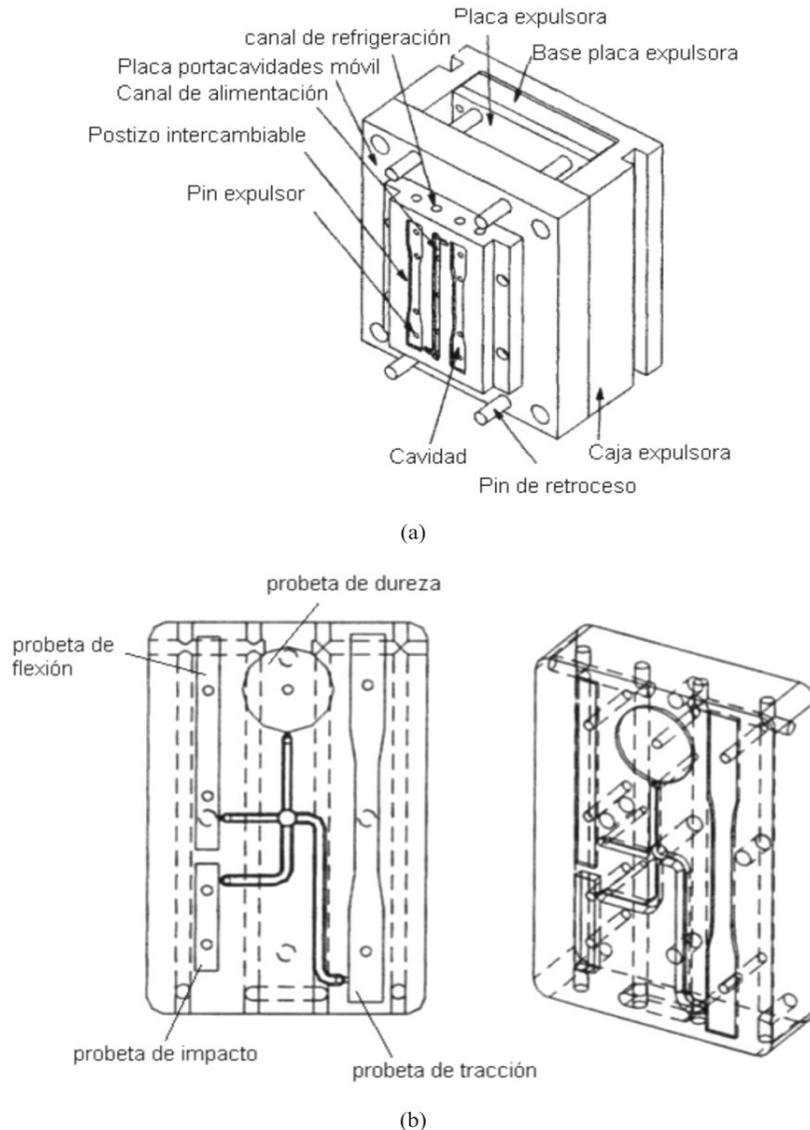
**Figura 1.** Dimensiones de las probetas ISO: (a) Tipo A y (b) Tipo B

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES

El proyecto se llevó a cabo siguiendo una serie de etapas:

1. Análisis de diferentes diseños de moldes para inyección de probetas normalizadas para ensayos mecánicos: en las Figuras 2 (a) y (b) se indican los moldes tomados como referencias (molde de postizos intercambiables y molde familiar).

2. Desarrollo de un molde para inyección de probetas normalizadas con postizos intercambiables y deslizantes: se analizaron las piezas a ser fabricadas por el molde, ya que ellas condicionan los sistemas de alimentación, expulsión y refrigeración. En este caso, al tratarse de probetas normalizadas este aspecto no significó mayores complicaciones, pues todos los detalles de forma y tamaño de estos objetos se encuentran debidamente especificados por normas. Por las razones anteriores, no fue necesaria la elaboración de cálculos para establecer cómo serían las cavidades.



**Figura 2.** Moldes para inyección de probetas: (a) Postizos intercambiables y (b) Molde Familiar

Bastó con una revisión de las normas ASTM 3641 e ISO 3167 y 294-1, para determinar todos esos aspectos y otros adicionales como: tipo de molde, número y disposición de las cavidades, definición de la línea de partición, detalles de los canales de alimentación (forma, dimensiones y ubicación), las entradas, el sistema de refrigeración y el de expulsión. Siguiendo el orden de parámetros que se consideran en el diseño, al final se procedió a realizar el bosquejo del molde. Paralelamente, se buscó en los catálogos de empresas proveedoras de implementos para moldes diferentes opciones de elementos estandarizados, entre ellos: bebedero, anillo de centrado, elementos típicos para la fijación de partes y pines expulsores. Se recopilaron datos de las empresas HASCO y DME.

3. Representación del diseño propuesto empleando programas CAD/CAE: se modelaron las probetas seleccionadas y su respectivo mallado, en el programa modelador de sólidos Pro/ENGINEER. Con las piezas ya malladas en plano medio (244 elementos para la probeta Iso A y 105 elementos para la probeta Iso B), se introdujo la propuesta en el programa de simulación CAE (C-MOLD), para la evaluación de su desempeño (Figura 3). El criterio elegido para establecer el nivel de confianza de los resultados ofrecidos por la simulación, se basó en el valor mínimo del radio de aspecto. Este dato es un factor de forma que expresa la calidad de la aproximación realizada por el programa, a través de los pequeños elementos triangulares en que se divide la pieza. En general, si esta relación es menor a 5 la obtención de resultados más aproximados a la realidad se ve favorecida (C-MOLD, 2000; Candal *et al.* 2005).

4. Análisis y validación del diseño propuesto, mediante el uso del programa de simulación del proceso de inyección C-MOLD: se introdujeron los siguientes datos específicos para proceder a realizar las simulaciones: material polimérico, máquina de inyección, material del molde, fluido refrigerante y variables del proceso (temperaturas del fundido ( $T_{\text{fundido}}$ ) y del molde ( $T_{\text{molde}}$ ), presiones de inyección ( $P_{\text{inyección}}$ ) y sostenida ( $P_{\text{sostenida}}$ ), velocidad de inyección ( $v_{\text{inyección}}$ ) y tiempos de enfriamiento ( $t_{\text{enfriamiento}}$ ), y aplicación de la presión sostenida ( $t_{\text{psostenida}}$ )).

Se escogió una máquina de inyección genérica de 100 Toneladas de fuerza de cierre, empleando agua como agente refrigerante con un caudal de 10 lt/min y una temperatura de 25°C.

Con respecto al polímero, se eligió para efectos comparativos a un material semicristalino, el Polipropileno (PP), y uno amorfo, el Poliestireno de Alto Impacto (PSAI). Se eligió un PP-J700G, de Idemitsu y un PSAI de Amoco Polymers. Las características de dichos materiales (propiedades mecánicas, constantes reológicas obtenidas a través del modelo de William-Landel-Ferry, MFI y curva PvT) se encontraban en la base de datos del programa C-MOLD.

Para elaborar el molde se seleccionaron los siguientes metales:

a) Acero P-20: es un material forjado, de gran tenacidad y excelente resistencia al desgaste, relativamente fácil de maquinar y de gran brillo. Su composición es: C: 0,32-0,38%, Si: 0,3%, Mn: 1,50%, Cr: 1,75-2,0% y Mo: 0,2-0,38%.

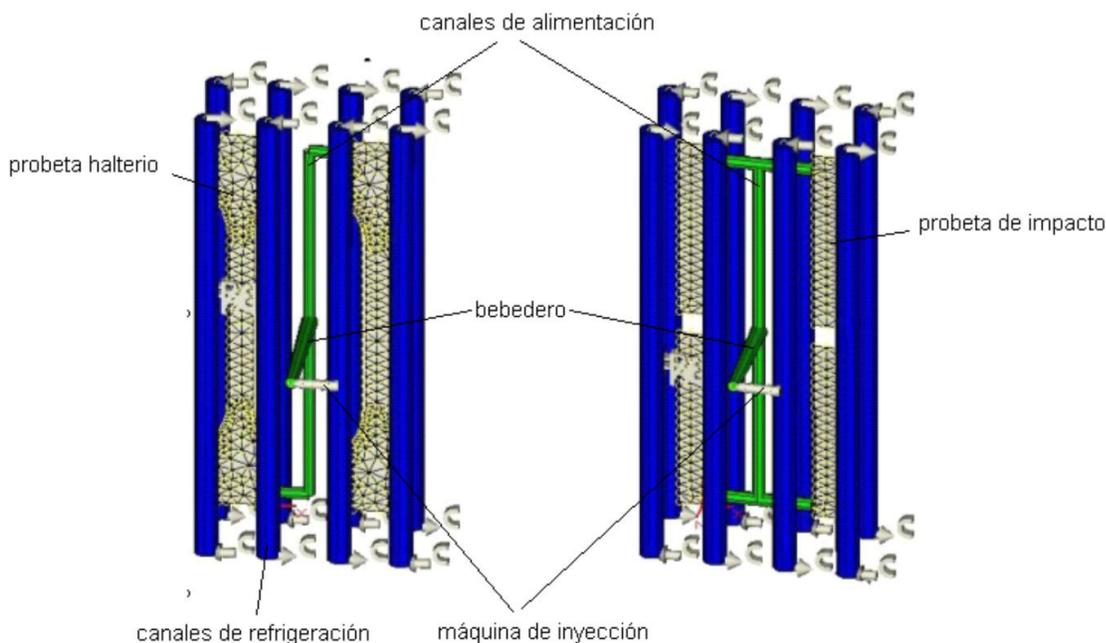


Figura 3. Montaje del molde en el C-MOLD

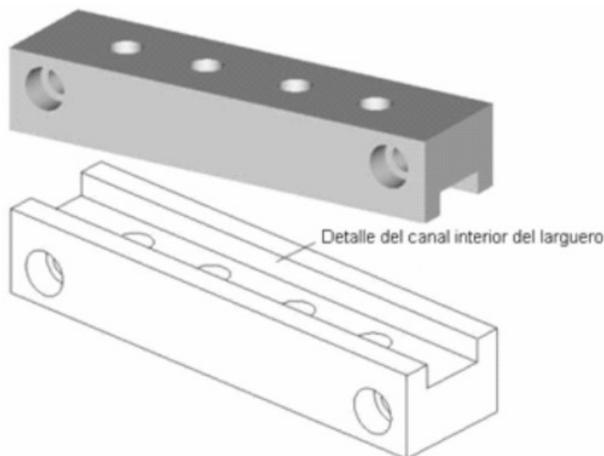
b) Acero WKW4: este es un acero inoxidable. Presenta buena resistencia al desgaste, excelente tenacidad; es anticorrosivo y es fácil de maquinar. Su composición es: C: 0,46%, Cr: 13,0%, Si: 0,40% y Mn: 0,40%.

Previo a la realización de las corridas, se usó la opción “Process Estimator” del C-MOLD, a fin de establecer las variables de proceso óptimas que el programa sugiere como adecuadas para el moldeo de los polímeros. Las variables de proceso empleadas fueron:  $T_{\text{fundido}} = 190^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{molde}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{sostenida}} = 20 \text{ MPa}$ ,  $t_{\text{P sostenida}} = 2 \text{ s}$  y  $v_{\text{inyección}} = 20 \text{ cm}^3/\text{s}$ .

5. Representación del diseño del molde propuesto empleando un programa CAD: se diseñó el molde completo incluyendo los postizos intercambiables y deslizables empleando el programa Pro-ENGINEER.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Propuestas preliminares de diseño para un molde de inyección de probetas con postizos intercambiables y deslizantes: una vez analizados los diferentes moldes para inyección de probetas considerados como referencias (Figura 2), se procedió a formular las propuestas preliminares del molde con postizos deslizantes. Para agilizar el proceso de fabricación de las diferentes probetas, se planteó el uso de un sistema de largueros rectangulares acanalados (Figura 4), a modo de rieles, para el deslizamiento de los postizos (parte del molde que contiene la forma de la pieza a fabricar). Los largueros se mantienen fijos en el sistema de placas portamoldes y reemplazan a los múltiples tornillos que se emplean en los moldes convencionales de probetas. Estos elementos desempeñan la función de sujeción, con la ventaja de requerir de un menor esfuerzo por parte de los operarios, para pasar de un tipo de probetas a otro.



**Figura 4.** Larguero para el deslizamiento

La idea del diseño planteado es que con un par de largueros se pueda cambiar el tipo de probetas que se están fabricando, con solo desplazar el postizo de interés, sin necesidad de tener que atornillarlo en varias partes. Se formularon dos diseños preliminares, teniendo en consideración el hecho de que son posibles dos movimientos para la colocación de los insertos contentivos de las cavidades: sentido horizontal y sentido vertical (Figuras 5 (a) y (b)).

Como puede notarse en las Figuras 5 (a) y (b), los dos diseños son básicamente del mismo tipo y número de elementos en su configuración de placas. La simplicidad que presentan las probetas, permite que ambos se adapten a las características de un molde convencional de dos platos. La mayor diferencia, entre los diseños, radica en la colocación de las barras para permitir el deslizamiento. En principio, se ha procurado que los insertos que contienen las cavidades no requieran de tornillos para fijarse. Éste es el contraste más importante, en términos de montaje, que plantea este proyecto con respecto a los moldes convencionales.

Las medidas de los platos portamoldes, condicionan la elección de uno u otro diseño preliminar, siendo el otro factor limitante que se debe considerar es que el movimiento sea factible de realizar en condiciones seguras y sencillas. Mediante la comparación de sus detalles, se ha efectuado la elección final de uno de ellos, luego de considerar los pros y los contras de cada montaje.

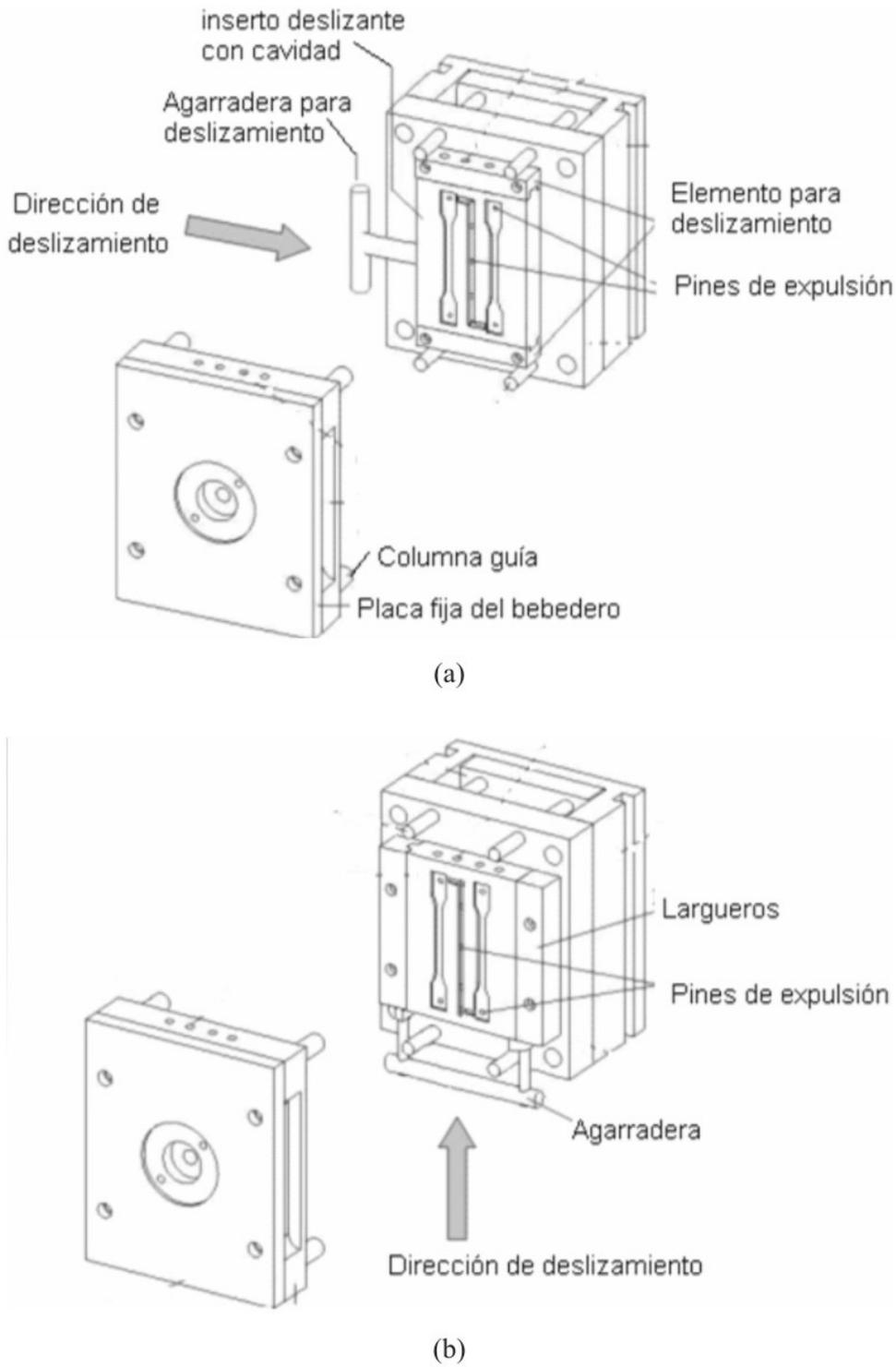
1.1. Características del primer diseño propuesto: como se observa en la Figura 5 (a), éste promueve un movimiento horizontal. Las principales ventajas que ofrece están vinculadas a las facilidades para el deslizamiento y la inmovilización del postizo (Figura 6 (a)), cuando éste tiene contacto con los largueros (Figura 4).

El mecanizado que se sugiere para el postizo y para los largueros, permite que ambos puedan acoplarse adecuadamente entre sí para el deslizamiento, de manera semejante a como lo hace una gaveta en un escritorio. Tal acción, no representa mayor esfuerzo para el operario del equipo. Un aspecto adicional que hace más favorable la colocación del postizo, es el hecho de que el peso de la placa descansa sobre los largueros a medida que se efectúa el movimiento.

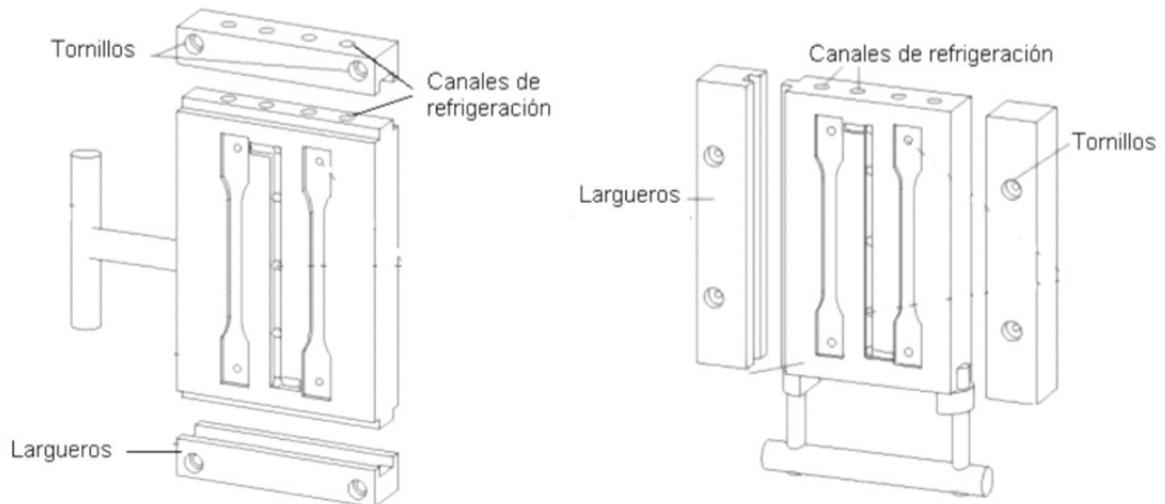
La principal limitación que presenta este diseño, está relacionada con el sistema de refrigeración propuesto. Se ha planteado un sistema con cuatro canales circulares, pasantes y equidistantes mecanizados en la estructura del propio postizo, justo en el lado posterior de las cavidades; así como también en los largueros. Este arreglo resulta más efectivo, por razones de proximidad a la probeta y por el hecho de abarcar toda su extensión, que una orientación

horizontal o en su defecto el mecanizado de los canales en una placa independiente. A pesar de tales ventajas, surge el inconveniente de tener que mecanizar significativamente las estructuras del postizo y de los largueros para ubicar los orificios. Preliminarmente, no hay muchas garantías de que

ocurra un ajuste adecuado, con total coincidencia entre las partes, que evite la fuga del refrigerante en el momento de la conexión, por lo cual se presenta cierta susceptibilidad a la corrosión. Debido a estas posibles dificultades, se intentó mejorar el diseño mediante una segunda propuesta.



**Figura 5.** (a) Primer diseño (movimiento horizontal) y (b) Segundo diseño (movimiento vertical)



**Figura 6.** Postizo deslizante en la dirección (a) horizontal y (b) vertical

1.2 Características del segundo diseño: como se observa en la Figura 5 (b), este diseño consiste en un deslizamiento vertical del postizo (Figura 6 (b)), el cual se coloca en su posición de trabajo moviéndolo desde la parte inferior del molde, hacia arriba.

La factibilidad de este diseño, gira en torno a las particularidades del movimiento planteado. En principio el arreglo vertical de los largueros, en los platos soporte del molde, favorece una mayor disponibilidad de espacio para ellos mismos y para el sistema de refrigeración. Siendo las condiciones de éste último iguales a las del primer diseño, no hay necesidad de perforar orificios en los largueros para la refrigeración de los postizos. En este caso, sin embargo, la ganancia de espacio se opaca por la dificultad que representa el hecho de movilizar una placa metálica en sentido contrario a la dirección en que actúa la gravedad.

Por característica general, las placas metálicas suelen tener un peso considerable, incluso cuando son de tamaño moderado, como es el caso que se propone en este trabajo. Ignorando el peso final que pueda tener el postizo, es previsible que éste dificulte el movimiento ascendente. El operario del equipo trabajaría, probablemente, en condiciones semejantes a las del molde con múltiples tornillos de sujeción, con la única diferencia de que contaría con dos elementos laterales que le servirían parcialmente de apoyo. Los dos largueros confinan el postizo a un espacio específico, pero no impiden que el peso de la placa continúe recayendo en los brazos de la persona que lo manipula, por lo cual éste tendría que aplicar una fuerza importante para movilizarlo. Adicionalmente, los efectos de fricción también pueden intervenir desfavorablemente, si no se toman las provisiones de tolerancias adecuadas.

A la dificultad de mover hacia arriba al postizo, hay que

sumar las pocas garantías de quedar inmovilizado que se otorgan a éste. Algunas máquinas de inyección presentan limitaciones de tipo espacial y estructural que les impiden incorporar elementos adicionales que sirvan de topes inferiores, capaces de restringir el movimiento del postizo hacia abajo. La única forma de evitar que esa placa caiga es a través del uso de múltiples tornillos. Bajo esas condiciones, una vez que se ubica el inserto, el operario tendría que soportar el peso de la placa, mientras otra persona lo atornilla lateralmente.

Por las razones antes expuestas se decidió descartar la segunda opción, a pesar de que sus ventajas para el sistema de refrigeración y de un menor mecanizado. La evaluación comparativa de los pros y los contras favorece al primer diseño. Las limitaciones del primer diseño, pueden ser atenuadas más fácilmente que las del segundo caso. Particularmente, su problema de corrosión se puede corregir, mediante el empleo de aceros tratados especialmente con altos contenidos de cromo en su composición.

1.3 Número y distribución de las cavidades: en cada postizo, se han dispuesto dos o cuatro de éstas de manera simétrica e idénticas, en su forma y dimensiones, teniendo presente lo que sugiere la norma ISO 294-1. Para las probetas largas, tipo A, se indican dos cavidades, con un arreglo de canales en forma de “Z”, mientras que para las probetas más pequeñas (tipo B), se plantea un sistema de cuatro cavidades, interconectadas por un canal de “doble T”.

En relación con las dimensiones de las probetas (Figura 1), es importante destacar que al ser ellas piezas con un espesor constante, no se requiere la incorporación de un inserto macho en el molde, por lo cual el plano de partición queda definido como un plano único. Al momento de ocurrir el cierre del molde, la cavidad permanece en el lado móvil,

presentándose en el otro lado el plato fijo con una superficie lisa, la cual contribuye a dar uniformidad a la pieza en su espesor. Debido a que las mitades del molde quedan alineadas a través de sus bordes, se espera que no se produzcan marcas muy visibles, ni rebabas abundantes en las probetas.

1.4 Sistema de alimentación: por recomendación de las normas ASTM 3641 e ISO 294-1 se ha considerado, en este caso, canales con forma trapezoidal modificada. Con respecto a la longitud de los canales, ésta se ajustó a las dimensiones de las probetas y al espacio libre en la placa. En su definición, se procuró satisfacer las características de un flujo equilibrado (balanceado), donde el polímero no tenga que recorrer un largo trayecto para llegar a las cavidades.

En el aspecto que se refiere a las entradas, fue donde se encontraron los mayores inconvenientes al momento de proponer un tipo y dimensiones. De acuerdo a las normas, la entrada debe tener un ancho equivalente al de la cavidad en el caso ISO, mientras que en el caso ASTM, puede llegar a ser hasta no menos de dos tercios del ancho de la probeta a inyectar. Según esto, la ubicación forzosamente será en un extremo de la cavidad. Con relación a la altura, ambas normas coinciden en recomendar una profundidad de dos tercios del espesor de la pieza, siendo la longitud de hasta un máximo de 3 mm.

Si bien hay especificaciones claras de las dimensiones, en lo que respecta a la forma no se hace alusión a un tipo exacto. Por la forma de las probetas se puede intuir que, en este caso, ellas podrían ser del tipo membrana (película) o tipo abanico. Todas éstas son apropiadas para piezas planas y tienden a garantizar, una distribución uniforme del flujo, reduciendo las distorsiones en la pieza, las líneas de flujo y las tensiones residuales (C-MOLD, 2000). De las dos mencionadas, la de abanico es la menos probable de encontrar, debido a que por su forma requiere de un espacio considerable para su mecanizado. Por lo anterior, parece más apropiado para estos moldes el uso del tipo membrana.

Para efectos de este proyecto, y a pesar de las recomendaciones de las normas, se optó trabajar con una entrada lateral estándar semicircular. Ésta constituye la modificación más importante, con respecto al planteamiento de seguir las sugerencias de la norma ISO 294-1. Se tomó la resolución de descartar una entrada tipo membrana, por las limitaciones de dimensiones que se le han impuesto a los postizos. A estos factores, se suma el hecho de que una entrada así implica una operación adicional de corte, para separar las probetas del mazarote, además de que es mucha la cantidad de material que se involucra en su llenado, y por lo tanto, mayor es la cantidad de polímero que se desecha. En

contraste, una entrada lateral estándar presenta ventajas significativas: es fácilmente mecanizada y la pieza puede ser cortada sin necesidad de ningún instrumento especial (C-MOLD, 2000). En lo que respecta al desempeño, ha dado pruebas de ser efectiva para evitar líneas de flujo y el aire atrapado, con un llenado satisfactorio, cuando hay un buen balance entre sus dimensiones.

1.5 Sistema de refrigeración: el sistema de refrigeración propuesto consiste de cuatro canales circulares en el postizo y en los largueros. El diámetro que se consideró para ellos fue de 10 mm, teniendo en cuenta que para espesores de piezas de 4 mm o menos, el rango de diámetros sugeridos suele ser de 10-12 mm (C-MOLD, 2000).

1.6 Sistema de expulsión: se consideró un sistema, basado en pines eyectores cilíndricos. Estos elementos se insertan en puntos equidistantes de la placa metálica, y se han ubicado coincidiendo con las esquinas de las probetas en los postizos, para evitar posibles deformaciones de las piezas al momento de la extracción (Figuras 5 y 6). La principal observación que se siguió de las normas consultadas, fue la referente a que estos deben actuar fuera de la región de ensayo: en las probetas tipo A se trata de la sección estrecha, mientras que en las tipo B deben estar al menos 20 mm fuera de la zona central.

1.7 Diseño final del nuevo molde para la inyección de probetas, basado en postizos deslizantes: una vez definidas las características del molde, se procedió al dimensionamiento y representación de sus componentes (Figura 7), la elección de elementos normalizados y la especificación de los materiales para su construcción.

Como se puede apreciar de la Figura 7, el diseño final de los postizos incluye dos tornillos. Estos elementos se han incorporado con la finalidad de garantizar la inmovilización total de los postizos. La fuerza que se origina durante el cierre del molde es tan intensa que los largueros, junto con los conectores del sistema de refrigeración, podrían ser insuficientes para inmovilizar esas placas, en especial lateralmente, de allí la importancia de dar un respaldo al sistema de sujeción. Si bien es cierto que originalmente se pretendía excluir tornillos en el diseño, el número que se contempla de estos sigue siendo inferior a los requeridos para un molde convencional.

La incorporación de los largueros junto con los dos tornillos, tal como se plantea, permite reducir el tiempo de cambio y montaje de los postizos, porque una vez dispuestos los largueros estos se mantienen fijos y sólo resta deslizar el inserto contentivo de la cavidad y atornillarlo, para iniciar la obtención de probetas. Con el sistema de sujeción

planteado, se consigue con unos pocos elementos cambiar el tipo de probetas que se va a fabricar, efectuando un reemplazo rápido, sencillo y de bajo esfuerzo. Tales acciones se inscriben así en la filosofía de reducción de los tiempos de fabricación recientemente introducida en las industrias; particularmente, pueden incluirse dentro del concepto principal que propone el sistema SMED: reducir el tiempo de cambio e instalación de herramientas a un solo dígito (menos de 10 minutos).

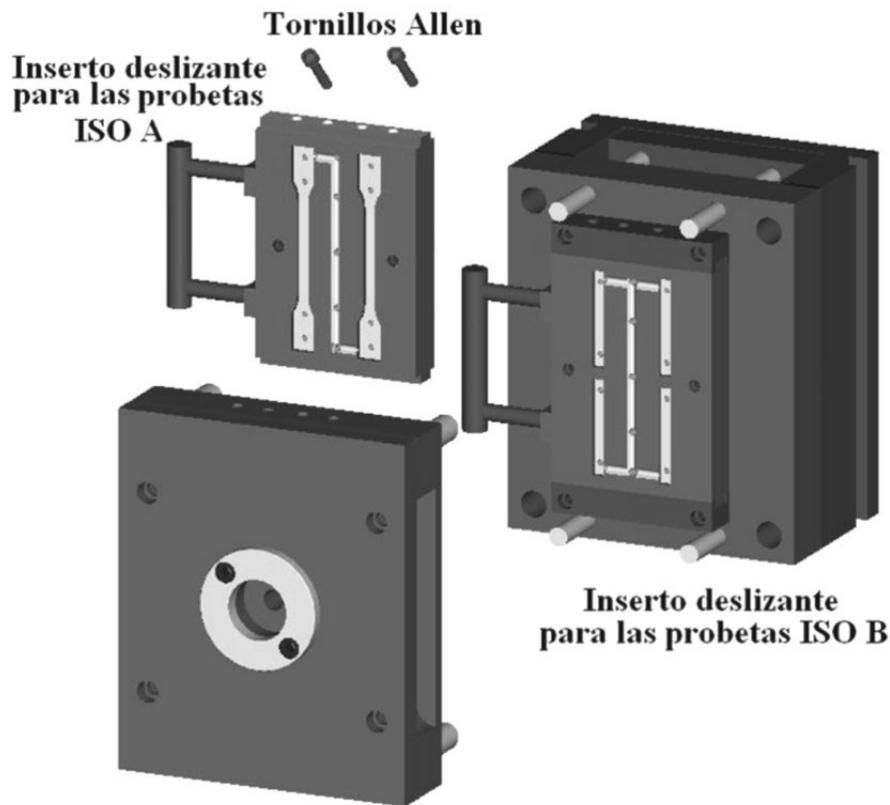
Los largueros se dimensionaron según el espesor y ancho de los postizos, considerando un espacio suficiente para el canal interior y los orificios que deben ser mecanizados en su estructura. En ese mismo orden de ideas, se ha procurado que exista coincidencia total entre los orificios de los largueros con los canales de los postizos, para los efectos del sistema de refrigeración.

En relación con la eventual posibilidad de que se presenten fugas del líquido refrigerante, debido a la manera en que se acoplan los postizos a los largueros, se ha contemplado el uso de algún agente sellante. Hoy en día, se dispone de varias de esas sustancias, de fácil aplicación y resistentes a temperaturas extremas (tanto bajas como altas), capaces de evitar esos escapes, sin afectar seriamente las tolerancias

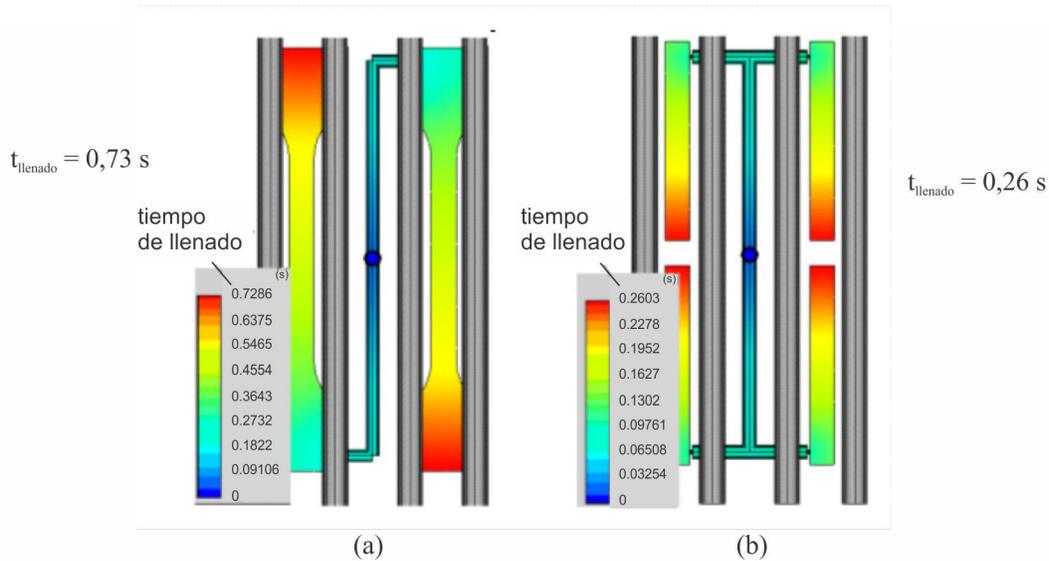
de los elementos que se acoplan. En este caso, el agente se usaría específicamente donde se instalan los conectores para las mangueras del líquido refrigerante.

Para la fabricación de los postizos se contempló el uso de placas normalizadas de diferentes empresas, dedicadas a la construcción de moldes (DME y HASCO). Debido a que las placas con cavidades van a interactuar con agua, además de los materiales poliméricos, se ha tomado como criterio principal de elección para su metal evitar los efectos de ésta. En ese sentido, se ha elegido al acero WKW4 para los postizos, los largueros y la placa de refrigeración del bebedero, antes que al acero P-20, debido a que éste no exhibe la misma resistencia a la corrosión, lo cual obligaría a tomar mayores precauciones para el sistema de refrigeración. El acero P-20 se recomienda para la placa base portacavidades y expulsora, debido a su mejor resistencia al desgaste por abrasión (fricción).

1.8 Validación del diseño propuesto usando el programa CAE C-MOLD: de las simulaciones computacionales efectuadas se obtuvo un llenado uniforme y equilibrado de las probetas, siendo mayor el tiempo de llenado en las probetas ISO A, en virtud de la forma más alargada y ancha que presentan, comparadas con las ISO B (Figura 8).



**Figura 7.** Montaje final del molde con postizos deslizantes



**Figura 8.** Avance del frente de flujo para las probetas (a) tipo A y (b) tipo B

La forma de las probetas y la manera en que se han distribuido las entradas, permiten que el material ingrese como un solo frente de flujo, por lo cual no ocurre la formación de líneas de soldadura, aunque si se apreció la aparición de aire atrapado hacia las esquinas opuestas a las entradas. La información que proporciona el programa en ese sentido, resulta importante para efectos de diseño, pues permite saber en qué lugar de las cavidades deben colocarse respiraderos para la salida del aire. La Tabla 1 presenta algunos de los resultados más importantes que permiten establecer la efectividad de los sistemas de alimentación y de refrigeración propuestos (Agassant *et al.* 1988; Chiang *et al.* 1991; Liu *et al.* 1999).

La eficiencia de los canales de refrigeración indica la efectividad de estos para extraer el calor. En el entorno del programa CAE, la mayor eficiencia se reporta para valores iguales a 1 o superiores, siendo los valores cercanos a cero indicativos de la no contribución al enfriamiento y los negativos de un efecto inverso (aporte de calor) (CMOLD, 2000). En las probetas estudiadas, no hubo uniformidad en los valores obtenidos, siendo estos mayores a 1 o menores, pero no demasiados cercanos a cero, ni negativos. Cabe destacar que los valores más altos coincidieron con las regiones de mayor temperatura, siendo los menores correspondientes a los canales más alejados del bebedero. Tales resultados, indican una buena acción de los canales y concuerdan con lo esperado de su ubicación (Tabla 1).

La temperatura de desmoldeo indica cuál es la temperatura adecuada para la extracción de la pieza, de manera que no sufra deformaciones. Para el caso del PP y PSAI estudiados, en todas las probetas (Tabla 1), esa temperatura no superó al valor máximo sugerido por el C-MOLD (93 °C para el PP y 73 °C para el PSAI), lo cual indica que no hay riesgo de que las piezas sufran deformaciones al sacarlas de las cavidades, atribuyéndose el efecto a una adecuada refrigeración (Candal *et al.* 2008). La temperatura promedio en la pared del molde, también se vincula con la calidad del enfriamiento pues su valor depende de la circulación del refrigerante; en general, para ambos polímeros esa temperatura resultó inferior a la reportada por el fabricante de las resinas (50 °C para el PP y 34,5 °C para el PSAI), indicando con esto una buena acción de los canales dispuestos (Tabla 1).

Otro resultado importante es el esfuerzo de corte en la pared, el cual se vincula con la posibilidad de degradación del polímero, y se define como el esfuerzo generado por la fricción entre la pared del molde y el material fundido. Para el diseño propuesto el valor de ese esfuerzo en la región de entrada de la cavidad, antes de completarse el llenado de ésta, fue superior a los esfuerzos máximos indicados por el C-MOLD para los materiales estudiados (0,26 MPa para el PP y 0,24 MPa para el PSAI). Tal efecto, sin embargo, no se asume como de alto riesgo en este caso debido a que se produce en la zona más cercana a los canales de alimentación, los cuales eventualmente se convertirán en material de desperdicio, al terminar el proceso de solidificación y consecuente extracción de las probetas.

**Tabla 1.** Resultados más importantes de las simulaciones en el programa C-MOLD

	Probeta ISO A		Probeta ISO B	
	PP	PSAI	PP	PSAI
<b>t llenado del molde [s]</b>	0,73	0,68	0,26	0,38
<b>Eficiencia de los canales mín/máx [Nu]</b>	0,66-1,70	0,65-1,68	0,59-1,82	0,57-1,84
<b>Temperatura de Desmoldeo [°C]</b>	92,2	65,2	92,7	64,8
<b>Temp. Prom. en la pared del molde [°C]</b>	30,9	31,2	31,0	29,6

## CONCLUSIONES

- Para el deslizamiento en los moldes se proponen dos largueros acanalados interiormente, de manera de promover el deslizamiento y sujeción de los postizos. Estos elementos, actúan como rieles y puntos de anclaje que mantienen a los postizos fijos en su sitio.

- El modelo con deslizamiento horizontal es el más cómodo debido a la facilidad de manipulación, intercambio e inmovilización de los postizos.

- La adopción de probetas normalizadas ISO permite la posibilidad de realizar diversos ensayos, partiendo de un mismo tipo de probeta. La probeta ISO A, puede mecanizarse con la forma especificada para las probetas Iso B, sin que se presenten alteraciones importantes para la realización de los ensayos.

## BIBLIOGRAFÍA

AGASSANT, J. F., H. ALLES, S. PHILIPON Y M. VINCENT (1988). *Experimental and theoretical study of the injection molding of thermoplastic materials*. Polym. Eng Sci., 28, 460.

BIKALES, M. (2005). *Injection Molding*. Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Vol. 3. John Wiley & Sons, pp 1-29.

CANDAL, M. V., MORALES, R., GONZÁLEZ, O. (2005). *Effect of the finite element meshing for designing plastic pieces*, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 44 (8-9), 1573-1590.

CANDAL, M. V., ROJAS, H., JIMÉNEZ, J. (2008). *Effect of the injection molding process conditions over the determination of Kt curves for plastic parts*, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47 (1-3), 89-95.

CHIANG, H.H., C.A. HIEBER Y K.K. WANG (1991). *A Unified Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding. Part I: Formulation, and Part II: Experimental Verification*, Polym. Eng. Sci, 21, 116.

C-MOLD. (2000). *C.-MOLD Helps*, Advanced CAE Technology Solutions, USA.

LIU, T. J., Y. YU, C. L. HSU, Y Y. S. YANG (1999). *A hybrid 3D/2D finite element technique for polymer processing operations*. Polym. Eng Sci., 39, 44.

NORMA ASTM D-3641-02, (2002). *“Standard Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials”*.

NORMA ISO 3167-2002. (2002). *“Internacional Standard Plastics-Multipurpose Test Specimens”*, Cuarta Edición.

RODRÍGUEZ, M. (2003). *El Proceso de Cambio de Útiles: la flexibilidad de una fábrica*. FC Editorial, 192 páginas, ISBN 8496169049

SHAH, V. (1998). *Handbook of Plastics Testing Technology*, Wiley-Interscience, Segunda Edición, Nueva York pp 391-396.