



Versión online del documento publicado en:

López, F., Baselga, J. y Bravo, J. (2006). Utilización de Herramientas CAE para la Determinación de Dimensiones Críticas de Lentes Realizadas por Inyección de Plásticos = Use of CAE Tools to Determine Critical Dimensions of Lenses Processed by Plastic Injection. *Información Tecnológica*, 17 (4), pp. 59-63.

© Centro de Información Tecnológica (CIT) de La Serena, Chile, 2006

Artículo publicado y disponible en:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

[script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

DOI: [10.4067/S0718-07642006000400011](https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000400011)



Utilización de Herramientas CAE para la Determinación de Dimensiones Críticas de Lentes Realizadas por Inyección de Plásticos

Use of CAE Tools to Determine Critical Dimensions of Lenses Processed by Plastic Injection

Francisco López, Juan Baselga y Julio Bravo*

Instituto de Tecnología Química y Materiales, Universidad Carlos III de Madrid,
Avda. de la Universidad 30, 28911 Leganés-España (e-mail: jbravo@ing.uc3m.es)

* autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Resumen

Se ha empleado C-MOLD (herramienta CAE, Asistencia Computacional a Ingeniería) para simular el proceso de inyección de lentes bicóncavas y se ha encontrado que para ciertas geometrías los valores de las variables del proceso de inyección comienzan a ser excesivamente altos. Se han diseñado lentes de 50 mm de diámetro y muy diferentes curvaturas y se ha establecido una relación entre los parámetros geométricos (espesor y curvatura) y las variables de proceso (presión máxima de inyección y diferencias de temperaturas al final de la inyección). De las representaciones de las variables de proceso frente a los parámetros geométricos se han podido determinar los valores críticos de los mismos, siendo de 2,2 mm para el espesor en el borde de la lente, 0,75 mm para la ságit, 420 mm para el radio de curvatura y 0,4 mm para el espesor en el centro de la lente.

Palabras Clave: *inyección, plásticos, dimensiones críticas, herramientas CAE, C-MOLD*

Abstract

C-MOLD software (CAE tools, Computational Assistant Engineering) has been used to simulate the injection process of biconcave lenses. It has been found that for a given geometry the variables that control de process attain values that are excessively high. Lenses of 50 mm in diameter and very different thickness have been designed and a relationship between the geometrical parameters (thickness and curvature) and the process variables (maximum injection pressure and temperature difference at the end of injection) has been established. From the plots of the process variables against the geometrical parameters it has been possible to obtain the critical values of the geometrical parameters: 2,2 mm for the edge thickness, 0.75 mm for sagitta, 420 mm for the curvature radius and 0,4 mm for the thickness at the center of the lens.

Keywords: *injection, plastics, critical dimensions, CAE tools, C-MOLD.*

INTRODUCCIÓN

En el Laboratorio de Tecnología de Polímeros del Instituto Tecnológico de Química y Materiales Álvaro Alonso Barba se han realizado múltiples estudios intentando establecer la capacidad de herramientas CAE, como C-MOLD y MOLDFLOW, para probar la existencia de dimensiones críticas respecto a las condiciones de procesado de piezas realizadas por inyección de plásticos.

Para los estudios realizados se han seleccionado diferentes geometrías con pequeños espesores en zonas más o menos amplias de la pieza. La primera geometría fue la de una tarjeta ISO-MC (tarjetas tradicionales de crédito o débito con un microchip) (García, N., 1999 y 2003; González, E., 2000) correspondiendo el espesor mínimo a la zona más delgada de la tarjeta que es la que se encuentra debajo de la memoria del microchip. Posteriormente se estudiaron las geometrías de lentes bicóncavas y biconvexas (Pazos, M., 2000 y 2003), simplificadas por anillos concéntricos de espesor variable, pudiéndose determinar valores mínimos del espesor en la zona central y en la periférica.

En estas geometrías queda claro que existe una zona de menor espesor que va a condicionar los valores de las magnitudes del proceso y que será tanto más restrictiva cuanto mayor sea el área de pequeño espesor que se considere, pero, la pregunta sería: ¿existe un espesor mínimo de esta zona para el que no fuera posible realizar el proceso de inyección o para el que se dispararan los valores de las variables que controlan el proceso? De existir este espesor mínimo podríamos definirlo como el espesor crítico. La experiencia de los técnicos de inyección fijaba este límite entorno a las 500 μm y en algunas publicaciones (Richardson, T., 2000) se fija el espesor mínimo de una pieza plástica procesada por inyección en 381 μm .

Parece evidente que la determinación de este espesor crítico de un modo experimental sería compleja, larga y costosa ya que resultaría necesario construir tantos moldes como geometrías de diferentes espesores quisieran realizarse. El alto nivel de confianza adquirido por herramientas CAE como C-MOLD y MOLDFLOW ha permitido utilizarlos no sólo para optimizar el flujo en procesos de inyección de plásticos (Vagelatos, G. A., 2001; Seow, L.W. , 1997; Pnadelidis, I., 1990), sino que incluso se han empleado para validar resultados de investigación en campos tan diversos como sistemas de redes neuronales (Yariagadla, P.K.D.V., 2002), predecir la orientación de fibras (Kim, E.G., 2001), la resistencia local a la fractura (Harmia, T., 1997) o la contracción y alabeo (Zheng, R., 1999) de plásticos reforzados con fibras. Basándonos en esta confianza que ofrecen las predicciones de las herramientas CAE, ya empleadas por otros investigadores para predecir el efecto de variables de proceso y geometría de canales de aportación de gases en inyección asistida por gas (Parvez, M.A., 2002), se ha abordado el estudio de la influencia de la curvatura y el espesor de lentes bicóncavas (López, F., 2002) con el propósito de profundizar en el estudio de espesores críticos desarrollado por este grupo.

METODOLOGÍA

Puesto que el módulo de realización de geometrías de la versión 2000-7 de C-MOLD no nos permitía construir un modelo geométrico continuo de una lente bicóncava en la que se realizara fielmente la asignación de espesores mediante la asignación de regiones, se recurrió a realizar la geometría en AutoCAD v.2000 e importarla. Se diseñaron lentes bicóncavas de 50 mm de diámetro y diferentes curvaturas, siendo los espesores en el borde de la lente, E_b , 1, 1.5, 2, 2.5, 3 y 4 mm, y los espesores en el centro de la lente, E_c , 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 y 1 mm. Se calculó la ságit, s , de cada una como el valor medio entre el espesor de borde y el espesor central, y a partir de ésta y el diámetro de la lente, ϕ , se calculó la curvatura, r , como:

$$r = \frac{\phi^2}{8s} \quad (1)$$

El punto de inyección se situó en un punto del borde de la lente. Se ha utilizado un canal frío de aportación de 25 mm de longitud y 5 mm de diámetro y una puerta circular de 1 mm de longitud y un diámetro que será, en cada caso, 2/3 del espesor de la lente en ese punto. Estos valores han sido seleccionados para ajustarse a los valores mínimos recomendados para estas geometrías, intentando que la caída de presión sea la menor posible.

Se realizó un mallado para cada una de las geometrías realizadas, empleando aproximadamente 3000 elementos triangulares con una resolución aproximada de 0,3 mm. La [figura 1](#) muestra la malla resultante para una de estas geometrías. Con este número de elementos se asegura una apropiada definición de la geometría que permite un cálculo coherente sin elevar excesivamente el tiempo de cálculo. Se seleccionó el PC Lexan OQ3820[®] de GE Plastics como material más adecuado por sus buenas propiedades ópticas y mecánicas, que le convierten en uno de los mejores candidatos para inyección de lentes. Se seleccionó como máquina de inyección una genérica de 50 ton de fuerza de cierre y 180 MPa de presión máxima de inyección.

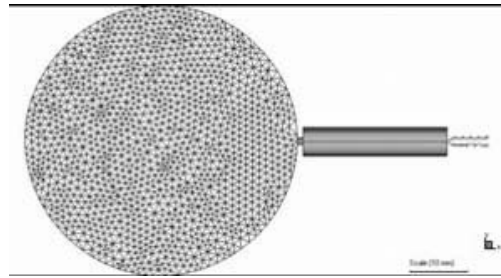


Fig. 1: Mallado de una lente, puerta y canal de aportación

En la [Tabla 1](#) se recogen los resultados de los intervalos de valores de los parámetros de proceso que se han considerado más representativos resultantes de la optimización de las condiciones de procesamiento para cada una de las geometrías consideradas.

RESULTADOS

La presión máxima de inyección a la entrada de la pieza, producida en el momento de conmutación de control del llenado por velocidad a control por presión (99 % en volumen), se ha tomado como una de las variables de proceso sometidas a estudio. En la [figura 2](#) se representa esta presión máxima frente al espesor en el borde de la lente, E_b , para cada uno de los espesores en el centro. Puede observarse que para espesores de borde superiores a 2,2 mm la presión máxima que se produce es prácticamente independiente del espesor en el centro e incluso muy poco dependiente del espesor de borde, mientras que para espesores de borde inferiores a 2,2 mm la presión máxima depende fuertemente del espesor en el centro de la lente y por lo tanto de la ságota de la lente.

Tabla 1: Tiempos de llenado (TLI) y enfriamiento (TE); Presión máxima de inyección (PMI); Temperaturas máxima (TMaF) y mínima (TmiF) de fundido, de inyección (TI) y de molde (TM)

Parámetro	Intervalo de valores
TLI (s)	0.05 - 0.18
TC (s)	0.3 - 4.8
TE (s)	0.9 - 16.5
PMI (MPa)	124.1 - 23.9
TMaF (°C)	343.6 - 327.0
TMiF (°C)	321.8 - 315.5
TI (°C):	321
TM (°C)	99

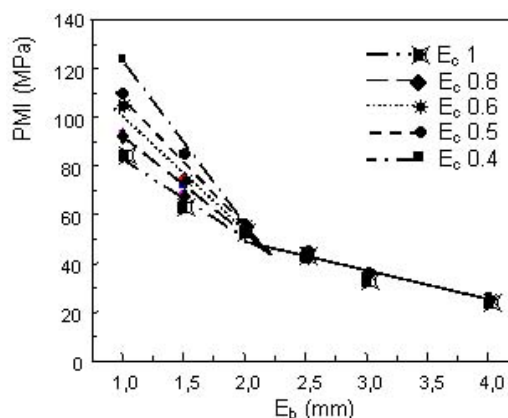


Fig 2: Variación de la presión máxima de inyección E_b , para cada valor de E_c .

En la [figura 3](#) se representa la presión máxima de Inyección (PMal) frente a la inversa del radio de curvatura. Se puede observar que, nuevamente, existen dos intervalos de comportamiento bien diferenciados. Para ságitas inferiores a 0,75 mm ($1/r = 0,0024 \text{ mm}^{-1}$) hay una fuerte dependencia de la presión con la ságita y con el espesor central de la lente, mientras que para ságitas superiores a 0.75 mm todas las representaciones tienen pendientes suaves e iguales para todos los espesores centrales de la lente, lo que indica que la variación de la presión se hace independiente de ésta y poco dependiente del valor de la ságita y por lo tanto de la curvatura de la lente.

Otra variable importante en el proceso es la diferencia de temperatura entre diferentes puntos de la pieza al final del llenado. Si las diferencias son pequeñas, aseguraremos un enfriamiento uniforme lo que reducirá las tensiones residuales y mejorará la estabilidad dimensional de la pieza al final del proceso. Para evitar tener en cuenta valores anómalos de temperaturas se toma, como variable a considerar, la diferencia entre la temperatura máxima y mínima sin considerar el 5% de elementos de mayor y menor temperatura respectivamente.

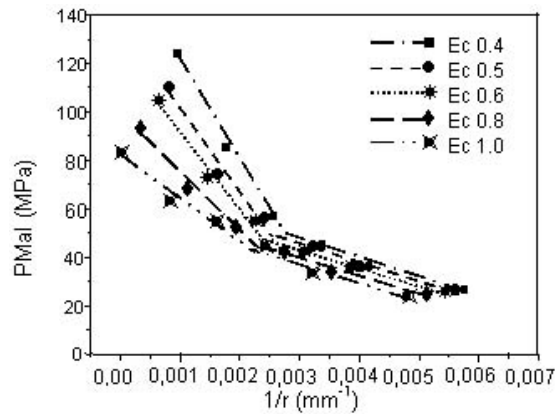


Fig 3: Variación de la presión máxima de inyección con la inversa del radio de curvatura.

La [figura 4](#) representa la variación de temperatura entre estos elementos frente al espesor de borde. De manera aun más clara que lo observado en la [figura 2](#) la variable representada es prácticamente independiente del espesor del borde de la lente para espesores superiores a 2,2 mm mientras que se hace mas dependiente del espesor de borde para espesores inferiores a 2,2 mm, siendo ademas fuertemente dependiente del espesor en el centro. Este mismo comportamiento se puede observar si consideramos otras variables del proceso como fuerza máxima de cierre o temperatura máxima al final del llenado.

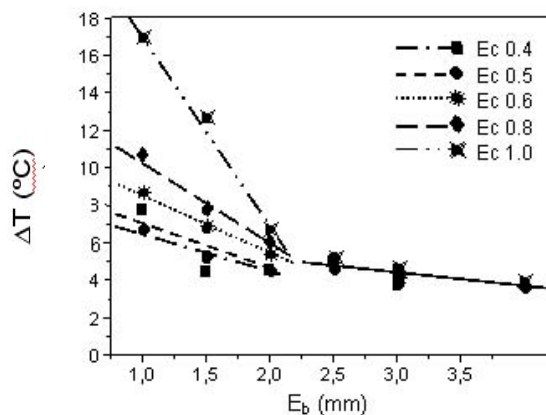


Fig 4: Variación de la Temperatura con el Eb para cada valor de Ec.

CONCLUSIONES

Existe una dependencia de las variables de proceso con el espesor y el radio de curvatura (o la ságitas), siendo esta dependencia mucho más acusada para valores superiores a un valor crítico.

El valor crítico encontrado para el espesor en el borde de la lente es de 2,2 mm, para la ságitas de 0,75 mm, para el radio de curvatura de 420 mm y para el espesor en el centro de 0,4 mm, estando de acuerdo el valor de este parámetro geométrico, que resulta ser el más restrictivo, con el conocimiento sobre los procesadores y con los valores obtenidos para otras geometrías sencillas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Ciencia y Tecnología (MAT2001-0677 y MAT2004-01347) por la financiación concedida.

REFERENCIAS

- García, N., Master Tesis : Estudio del espesor mínimo para una tarjeta de crédito con microchip, mediante simulación por ordenador, Univ. Carlos III, Madrid (1999).
- García, N., González, E., Baselga, J., y Bravo J., Critical thickness estimation in ISO-MC cards injection using CAE tools, *Journal of Materials and Processing Technologies*, 143-144, pp 491-494. (2003).
- González, E., Master Tesis: Selección del material más adecuado y optimización del proceso de inyección de una tarjeta de crédito con microchip, mediante simulación con ordenador, Univ. Carlos III, Madrid (2000).
- Harmia, T. y Friederich K., Local fracture resistance based on microstructural efficiency concept and simulation of injection molding *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 26(1-2) 47-52 (1997)
- Kim, E.G., Park, J.K., y Jo, S.H., A Study on fiber orientation during the injection molding of fiber-reinforced polymeric composites (comparison between image processing results and numerical simulation), *J. Of Mat. Proc. Tech.* 111(1-3), 225-232 (2001).
- López, F., Master Tesis: Estudio de la influencia de la curvatura y espesor en el proceso de inyección de una lente bicóncava, empleando herramientas CAE , Univ. Carlos III, Madrid (2002).
- Parvez, M.A., Ong, N.S., Lam, Y.C. y Tor S.B., Gas-assisted injection molding: the effects of process variables and gas channel geometry, *J. Mat. Proces. Tech.*; 121(1), 27-35 (2002).
- Pazos, M., Master tesis: Evaluación de variables críticas en el moldeo por inyección de lentes bicóncavas y biconvexas, Univ. Carlos III, Madrid (2000).
- Pazos, M., Baselga, J., y Bravo J., Limiting thickness estimation in polycarbonate lenses injection using CAE tools, *Journal of Materials and Processing Technologies*, 143-144, pp 438-441 (2003).
- Pnadelidis, I., Zou, Q., Optimization of Injection Molding Design. Part I: Gate Location Optimization, *Pol. Eng. And Sci.* 30(15), 873-882 (1990).
- Pnadelidis, I., y Zou, Q., Optimization of Injection Molding Design. Part II: Molding Conditions Optimization, *Pol. Eng. And Sci.* 30(15), 883-892 (1990).
- Richardson, T., y Lokensgard, E., *Industria del Plástico. Plástico Industrial*, Ed. Paraninfo, Madrid, (2000).
- Seow L.W. y Lam Y.C., Optimizing flow in plastic injection molding. *J. Of Mat. Proces. Tech.*, 72(3), 333-341 (1997)
- Vagelatos, G.A., Rigatos G.G., y Tzafestas, S.G., Incremental fuzzy supervisory controller design for optimizing the injection molding process, *Expert System with applications*, 20(2) 207-216 (2001).
- Yarlagadla, P.K.D.V., Development of an integrated neural network system for prediction of process parameters in metal injection moulding , *J. Mat. Proces. Tech.*, 130, 315-320 (2002).
- Zheng, R., P. Kennedy, N. Phan-Thien y X-J. Fan, Thermoviscelastic simulation of thermally and pressure-induced stresses in injection moulding for the prediction of shrinkage and warpage for fibre-reinforced thermoplastics, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 84 (2-3) 159-190 (1999).