



Universidad  
Carlos III de Madrid



Versión online del documento publicado en:

Padilla, A., Baselga, J. y Bravo, J. (2006). Comparación de Deformaciones de un Aforador Determinadas por Simulación del Proceso de Inyección con Valores del Proceso Real = Comparison of Gauge Deformation Determined by Simulation of the Injection Process With Real Process Values. *Información Tecnológica*, 17 (4), pp. 53-58.

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

Artículo publicado y disponible en:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642006000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

DOI: [10.4067/S0718-07642006000400010](https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000400010)



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-sinderivadas 3.0 España

# Comparación de Deformaciones de un Aforador Determinadas por Simulación del Proceso de Inyección con Valores del Proceso Real

## Comparison of Gauge Deformation Determined by Simulation of the Injection Process With Real Process Values

**Alfredo Padilla, 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](mailto:jbravo@ing.uc3m.es))

\* autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

### Resumen

Se ha realizado un estudio comparativo entre las deformaciones reales de una pieza industrial obtenida por inyección y los desplazamientos obtenidos por simulación empleando C-MOLD, con el objeto de verificar la utilidad predictiva de herramientas de simulación de procesos. La pieza seleccionada es un aforador, fabricado en poliamida 6/10 con un 50% de fibra corta de vidrio, que presenta suaves rechupes en las zonas laterales como principal defecto. La simulación del proceso se realizó con las condiciones empleadas por el fabricante y, posteriormente, se optimizó para máquinas de inyección Engel 125 y 175. Con los parámetros óptimos de proceso se fabricaron piezas y se midieron las deformaciones en puntos situados en dos ejes paralelos a la dirección longitudinal de la pieza. Estas deformaciones se compararon con los valores de desplazamiento obtenidos por simulación encontrándose una coincidencia excelente entre ambos, excepto en las zonas próximas a los extremos de la pieza.

**Palabras Claves:** *inyección, plásticos, deformaciones, herramientas CAE, simulación de procesos*

### Abstract

A comparative study between the actual deformation of a real industrial part obtained by injection moulding and the displacement in the same simulated part has been performed using C-MOLD, with the objective of verifying the predictive capabilities of process simulation tools. The selected part is a gauge, made of polyamide 6/10 reinforced with 50% of fibber glass, that presents soft sink marks in the lateral areas as main defects. Process simulation was initially performed using the process conditions used by the manufacturer and, in a later stage, those conditions were optimised for Engel 125 and 175 injection machines. Using the optimum process parameters a set of parts was manufactured and the deformations were measured in several points located along two parallel longitudinal axis. These deformations were compared with displacement values obtained from simulation. Excellent agreement between the two sets of values was found except in the most external regions of the part.

**Keywords:** *injection, plastics, deformations, CAE tools, process simulation.*

## INTRODUCCIÓN

Las ventajas que ofrecen las herramientas CAE para determinar las mejores condiciones de procesado de piezas realizadas por inyección de plásticos (García N, 2003; Pazos M., 2003) son evidentes pero el grado de confianza de pequeñas y medianas empresas de procesado es moderado. Y ello a pesar del alto nivel de confianza adquirido por herramientas como MOLDFLOW y C-MOLD en el ámbito científico-tecnológico que ha permitido utilizarlas para optimizar el flujo en procesos de inyección de plásticos (Vagelatos, G.A., 2001; Beyerlein, D., 2001; Seow, L.W., 1997; Pnadelidis, I., 1990 Pnadelidis, I., 1990), para predecir la orientación de fibras (Kim, E.G., 2001), la resistencia local a la fractura (Harmia, T., 1997), la contracción y alabeo (Zheng, R., 1999) de plásticos reforzados con fibras o la optimización de procesos de microinyección (Shen, Y.K., 2004).

Este trabajo pretende comparar las predicciones de la simulación con los valores reales de deformación, uno de los parámetros más difíciles de predecir por el gran número de factores que influyen sobre él, para un componente aeronáutico, un aforador ([figura 1](#)) perteneciente a un avión comercial (AIRBUS A-340-600). Este aforador se encuentra ubicado en el estabilizador de cola y no está sometido a cargas importantes pero debe tener una dimensionalidad correcta y un buen acabado ya que de ello depende su correcto posicionamiento en la estructura del estabilizador.

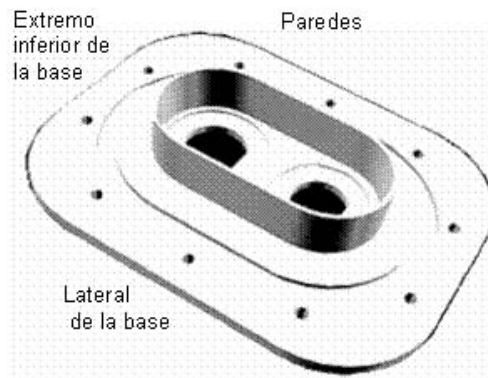


Fig. 1: Visión superior del aforador

Se ha realizado un estudio completo del proceso de inyección de una pieza que presentaba dos defectos: alabeo en la dirección longitudinal y rechupes en las zonas laterales. Estos rechupes se manifestaban como deformaciones en la superficie y pueden provocar el agrietamiento de la pieza al aplicar el par de apriete recomendado para atornillarla. Si estos dos efectos no se minimizan hasta valores admisibles podría ser preciso mecanizar la pieza para cumplir las especificaciones de la empresa. Estos problemas de falta de planitud y de aparición de rechupes pueden deberse a:

- La existencia de diferentes espesores en la base de la pieza que producen contracciones y deformaciones diferenciales. Esta causa no se puede eliminar ya que no es posible modificar la geometría del aforador.

- La geometría del sistema de refrigeración (simetría, distancia canales-pieza y entre canales) y las condiciones de refrigeración (eficiencia y régimen) puede no ser adecuadas. Hay que conseguir una geometría equilibrada y óptima, y un régimen turbulento del fluido refrigerante.

- Las condiciones de llenado pueden no ser óptimas: perfil de velocidades de llenado, presión de mantenimiento y tiempo de enfriamiento.

## METODOLOGÍA

La geometría del aforador, conservando las dimensiones originales, se introdujo en el módulo de geometrías del programa a través de la representación por sus planos medios. Se trata de una pieza con una base plana de 168 mm x 129 mm con un espesor de 7 mm en la mayor parte de esta base, de la que se levanta una pared de 20 mm de altura y 2 mm de espesor. Además se puede apreciar en la [figura 1](#) cómo, en la base, existe una ranura de menor espesor (4 mm), 10 taladros pasantes en la periferia y 2 orificios de diferente diámetro en la zona central.

La pieza está realizada en poliamida 6/10 con un 50% de fibra corta de vidrio, de la casa LNP (Thermocomp QF-100-10), fabricada expresamente para la empresa de inyección de plásticos ZALMU S.A.

Se malló la pieza empleando elementos triangulares de un tamaño inferior a 4,2 mm de lado en toda la pieza a excepción de la zona exterior de la base donde se emplearon elementos triangulares de lado inferior a 2 mm, permitiendo definir mejor los taladros y obteniendo una mayor capacidad de cálculo en la zona de estudio.

El punto de inyección está situado en el punto central de la cara posterior y se emplea un canal frío de aportación cónico de 50 mm de longitud, 7 mm de diámetro mayor y 5 de diámetro menor, con una puerta circular de 2 mm de longitud y 1 mm de diámetro.

La geometría del sistema de refrigeración es la original y posee 4 canales de refrigeración por cada cara del molde, de 8 mm de diámetro cada uno. Cada par de canales de cada cara está conectado entre sí mediante mangueras, con lo que se tienen dos circuitos independientes por cara. No existe simetría entre los circuitos superiores e inferiores. Se emplearon elementos lineales en los canales de refrigeración y en la mazarota.

La [figura 2](#) muestra este mallado que resulta tener un total de 2429 nodos, 4052 elementos triangulares y 294 elementos monodimensionales. Las relaciones de deformación de los triángulos se encuentran entre 1 y 1,89, siendo la relación media de deformación de estos elementos de 1,15.

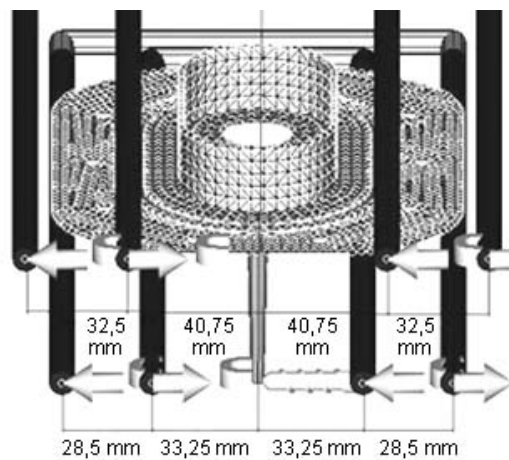


Fig. 2: Geometría de refrigeración.

Para abordar la resolución de los problemas mencionados se utilizó la herramienta CAE de simulación numérica de procesos de transformación de termoplásticos *C-MOLD*, en las versiones 2000.1 y 2000.7. Se procedió, en primer lugar, a la realización de la simulación del proceso de inyección con las condiciones y parámetros que la empresa inyectora tenía determinados inicialmente, que denominaremos condiciones iniciales. Posteriormente se optimizaron esas condiciones para la inyección de la pieza en dos máquinas Engel (las empleadas por la empresa para la producción de esta pieza, Engel 125 y 175) y se fijarán el resto de los parámetros de proceso teniendo en cuenta los medios disponibles en la empresa (material, máquinas de inyección, medios de refrigeración, ...). A continuación se inyectaron las piezas con las condiciones optimizadas para cada máquina y por último se procedió a comparar los resultados de deformaciones entre las piezas inyectadas y las simulaciones correspondientes.

Para comparar las deformaciones se tomaron medidas del desplazamiento en determinados puntos situados en dos ejes paralelos a la dirección longitudinal de la pieza a distancias de 10, 30, 50, 70, 90, 110, 135 y 150 mm del extremo inferior de la pieza. Uno de los ejes está situado a 1,2 mm del borde derecho de la pieza (eje "a") y el otro está situado a 0,5 mm (eje "b"). La distribución de puntos de medida se puede observar en la [figura 3](#).

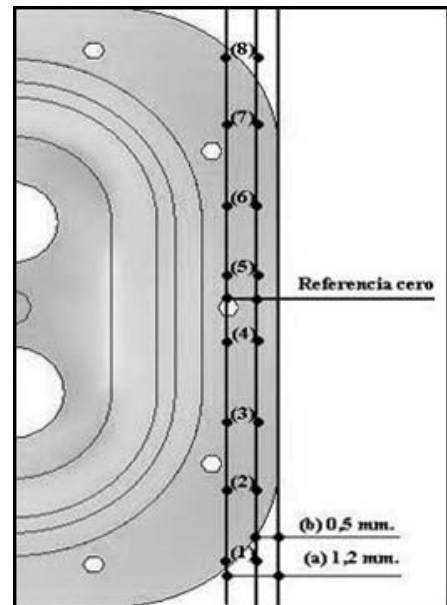


Fig. 3: Puntos de medida de desplazamientos en la pieza.

Los resultados de estas medidas se compararon con las medidas de las deformaciones totales obtenidas de los resultados de las simulaciones que ofrece C-MOLD.

La [tabla 1](#) recoge los valores de los parámetros más representativos para las condiciones iniciales y las optimizadas para las dos inyectoras: Temperaturas del fluido refrigerante (TRF) y del polímero a la entrada del molde (TPEM), Tiempos de inyección (TI), mantenimiento (TM) y enfriamiento (TE); Velocidad de inyección (VI), Presiones máxima de inyección (PMI) y de mantenimiento (PM), Cambio de control por presión (CCP) y Fuerza máxima de cierra (FMC). Para la inyectora Engel 125 no se emplea una velocidad constante de inyección sino que ésta varía a lo largo del proceso según el perfil de velocidades que se muestra en la [tabla 2](#), donde se recogen los valores del porcentaje de carrera de inyección (%CI) y de la velocidad del husillo (VH). Con estos valores se procedió a realizar las simulaciones correspondientes y a inyectar las piezas para poder comparar los resultados reales (de piezas inyectadas) con los obtenidos por simulación.

Tabla 1. Parámetros de procesado más significativos: TRF, TPEM, TI, TM, TE, VI, PMI, PM, CCP, FMC, %CI y VH.

Parámetros	Iniciales	Engel 125	Engel 175
TRF (°C)	92-96	90-95	90-95
TPEM (°C)	270	280	280
VI (mm/s)	20	variable	65
TI (s)	4,2	0,9	1,4
PMI (MPa)	175	180	180
CCP (% vol.)	96,4	96,4	96,4
PM (MPa)	70	95	100
TM (s)	9	30	10
FMC (Tonf)	175	175	125
TE (s)	40	50	40

Tabla 2. Valores de Porcentaje de Carrera de Inyección (%CI) y Velocidades del Husillo (VH) empleados para la Engel 125.

% CI	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
VH (mm/s)	78	80	82	84	86	88	90	92	95	10

## RESULTADOS

Cuando se comparan los desplazamientos totales para las simulaciones en condiciones iniciales y en condiciones optimizadas para las dos inyectoras, el gradiente de desplazamientos entre los extremos y la parte central en la simulación en condiciones iniciales (de 1,25 a 0,6 mm) es mayor que en el caso de la Engel 125 (de 1,08 a 0,6 mm), siendo el menor el calculado para la Engel 175 (de 0,87 a 0,25 mm), como se puede observar comparando las [figuras 4, 5 y 6](#).

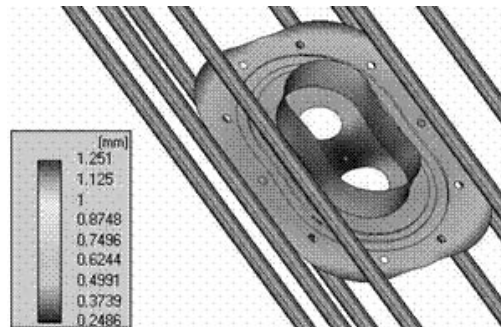


Fig. 4: Desplazamiento total: simulación condiciones iniciales.

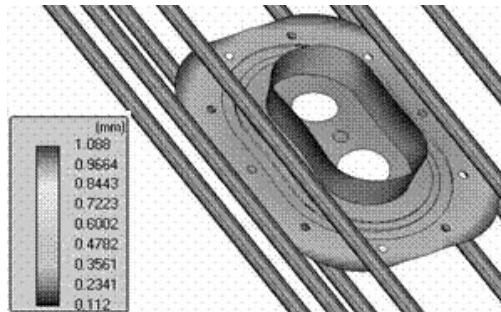


Fig. 5: Desplazamiento total: simulación optimizada Engel 125

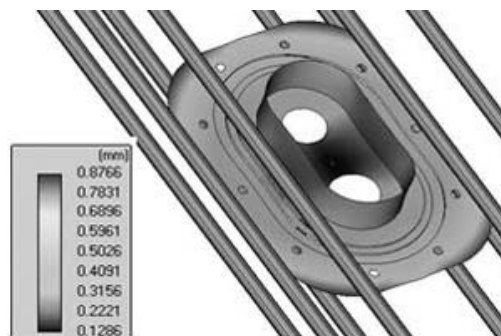


Fig. 6: Desplazamiento total: simulación optimizada Engel 175.

Estos gradientes de desplazamientos son los responsables del alabeo de las piezas y pueden ser debidos a una refrigeración deficiente o a unos valores insuficientes de presión y tiempo de mantenimiento, así como a un perfil de velocidades

inadecuado.

En las [figuras 7 y 8](#) se representan las diferencias entre el desplazamiento en un punto de la zona central de los ejes y el desplazamiento en los distintos puntos marcados en los ejes "a" y "b" para las simulaciones realizadas en condiciones optimizadas y los desplazamientos medidos en las piezas reales correspondientes, empleando la inyectora Engel 125.

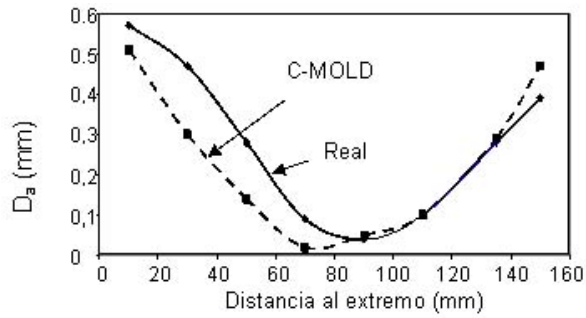


Fig. 7: Diferencia entre los desplazamientos medidos, en el eje de puntos "a", en la pieza real y los medidos.

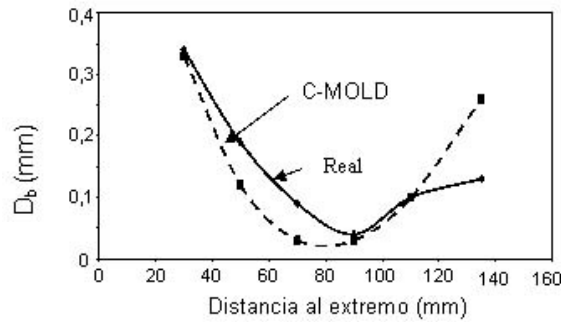


Fig. 8: Diferencia entre los desplazamientos medidos, en el eje de puntos "b",  $D_b$ , en la pieza real y los medidos en el modelo simulado.

En las [figuras 9 y 10](#) se representan las diferencias entre el desplazamiento en un punto de la zona central de los ejes y el desplazamiento en los distintos puntos marcados en los ejes "a" y "b" para las simulaciones realizadas en condiciones optimizadas y los desplazamientos medidos en las piezas reales correspondientes, empleando la inyectora Engel 175.

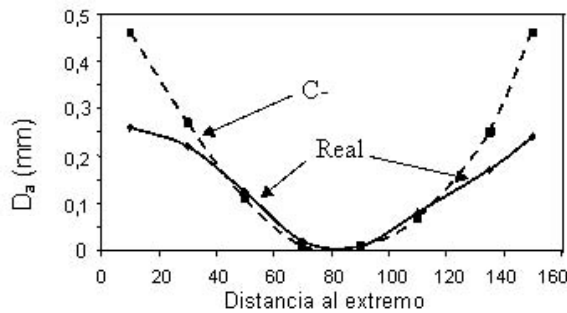


Fig. 9: Diferencia entre los desplazamientos medidos, en el eje de puntos "a",  $D_a$ , en la pieza real y los medidos en el modelo simulado.

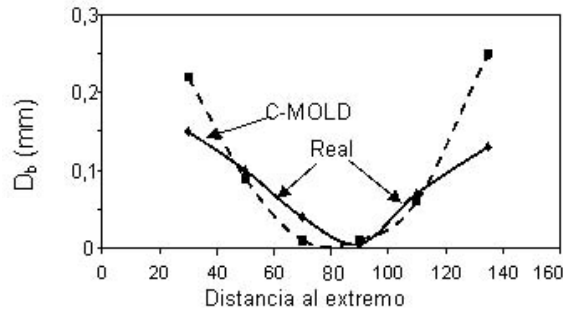


Fig. 10: Diferencia entre los desplazamientos medidos, en el eje de puntos "b",  $D_b$ , en la pieza real y los medidos en el modelo simulado.

Se puede observar que las determinaciones realizadas sobre el modelo simulado con C-MOLD se aproximan bastante a los desplazamientos medidos en las piezas reales. Cabe decir que en las zonas próximas a los extremos de la pieza existen pequeñas diferencias.

## CONCLUSIONES

Para reducir el alabeo y la contracción volumétrica es conveniente actuar sobre la presión y el tiempo de mantenimiento, aumentando ambos parámetros, y sobre la velocidad y presión de inyección, optimizándolos utilizando un perfil de velocidades adecuado.

Se debe actuar sobre el fluido refrigerante para que tenga régimen turbulento, aumentando su caudal y su temperatura, y conseguir así una refrigeración más óptima que la original, sin cambiar su geometría.

Las herramientas de simulación numérica son un instrumento muy valioso, no sólo para el diseño del molde sino para la optimización del proceso, sirviendo de guía para mejorar la calidad de las piezas fabricadas.

## AGRADECIMIENTOS

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

## REFERENCIAS

- Beyerlein, D., Hornberger, L.E., Using Computer Simulation to Validate and Optimize the Design of an Innovative Electronic Packaging Concept, *J Electron Packaging*, 123 (4): 366-371 (2001)
- García, N., González, E., Baselga, J., and 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).
- Harmia, T. and 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., and 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).
- Pazos, M., Baselga, J., and 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., Zou, Q., Optimization of Injection Molding Design. Part II: Molding Conditions Optimization, *Pol. Eng. And Sci.* 30(15), 883-892 (1990).
- Seow, L.W. and Lam, Y.C., Optimizing flow in plastic injection moulding, *J. of Mat. Proces. Tech.*, 72(3), 333-341 (1997).
- Shen, Y. K., Chien, H. W., and Lin Y., Optimization of the Micro-Injection Molding Process using Grey Relational Analysis and MoldFlow Analysis, *J Reinf Plast Comp*, 23 (17): 1799-1814 (2004).
- Vagelatos, G.A., Rigatos G.G., and Tzafestas, S.G., Incremental fuzzy supervisory controller design for optimizing the injection molding process, *Expert System with applications*, 20(2) 207-216 (2001).
- Zheng, R., P. Kennedy, N. Phan-Thien and X-J. Fan, Thermoviscoelastic 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).