

Contracción en engranes plásticos fabricados por inyección

Alfredo Hernández Villalobos, Isaías Regalado Contreras
Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ, A.C.
oderf7@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio evalúa el efecto de algunas de las variables del proceso de inyección, sobre la contracción de engranes plásticos. De entre los objetivos del análisis, destacan el diseño y manufactura del molde utilizado para el desarrollo de este estudio, además de la metodología considerada basada tanto en datos obtenidos por mediciones realizadas en campo, como a través de la simulación del proceso mediante software. Se concluye con una descripción del efecto que tienen las variables del proceso de inyección durante la manufactura de engranes de plástico.

PALABRAS CLAVE

Contracción, engrane, plástico, inyección, molde.

ABSTRACT

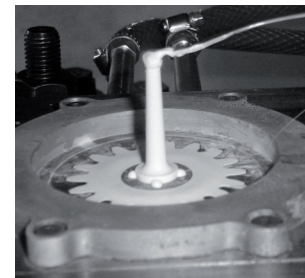
This project studies the effect of some of the implicit variables in the injection process, on the shrinkage of plastic gears. It starts with a detailed description of the elements and systems of the injection mold, as well as of the variables that take part in the injection process. Immediately after this, the methodology used for the analysis is presented, which considers the development of a design of experiments based on data obtained in field and by software. The project concludes with the description of the effect of the injection variables on the manufacture of plastic gears.

KEYWORDS

Contraction, gear, plastic, injection, mold.

INTRODUCCIÓN

Una etapa importante en la manufactura de engranes plásticos por medio de inyección de plástico es el diseño del molde; lo cual requiere estimar la contracción para la geometría del dentado ya que una mala evaluación de esta característica ha causado que muchas transmisiones funcionen inadecuadamente o incluso que fallen. Por lo anterior, el presente estudio evalúa el efecto de algunas variables implícitas en el proceso de inyección de plástico sobre la contracción como lo son: la temperatura de molde y de plástico, la velocidad de inyección, y el tiempo y presión de sostenimiento.



Es incorrecto asumir que los engranes plásticos contraen isotrópicamente (de igual forma en todas las direcciones). Hay dos enfoques en la contracción de engranes plásticos: el macroscópico y el local. El primero se refiere a que el cuerpo y las características más grandes de un engrane simétrico tendrán aproximadamente el mismo valor de contracción. Por otro lado, la contracción local, en el área individual de cada diente del engrane tiene una razón de contracción totalmente distinta, incluso en algunas ocasiones el diente puede expandir en determinadas zonas debido a efectos locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo del molde

Para la inyección de los engranes a analizar en este estudio, se utilizó el molde mostrado en la figura 1.

La figura 2a muestra la cavidad fija, obsérvese que fueron maquinados 4 canales de inyección del tipo media caña (Grupo IMECPLAST 2005) con punto de inyección submarino (Moldflow Corporation 2004), las dimensiones del bebedero corresponden al flujo total de plástico que circuló por los canales, la figura 2c muestra el producto inyectado y cómo

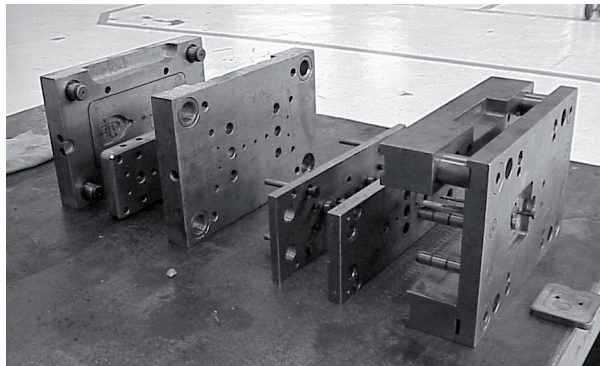


Fig. 1. Molde inicial.

está constituido. Este arreglo fue resultado de la modelación de las geometrías de acuerdo al espacio disponible y la simulación y tiempos de llenado en Moldflow Plastics Insight®. El objetivo de la simulación fue alcanzar un tiempo corto de llenado de molde, sin estrías y con fácil remoción de la colada (sobrantes de la inyección).

La cavidad móvil se muestra en la figura 2b, se aprecian los 4 puntos de inyección tipo submarinos, en el centro de ellos, se observa el botador de la colada en estado contraído. En la periferia puede observarse la cavidad dentada elegida la cual podía ser desprendida del molde. Alrededor de dicha cavidad dentada se observa uno de los canales de refrigeración incluidos (Rees 1995).

El número y localización de los botadores se seleccionó para obtener una expulsión del engrane lo más uniformemente posible evitando pandearlo mediante un desprendimiento rápido y sin complicaciones de la cavidad (Grupo IMECPLAST 2005). La figura 3 muestra los botadores totalmente extendidos.

La configuración del Sistema de Venteo (Rees 1995) utilizado en el molde permite que el aire atrapado dentro de la cavidad tenga escape sobre los 360° en la periferia del engrane. La figura 4 indica el recorrido del aire atrapado en la cavidad hacia el exterior durante la inyección del plástico.

El patrón de los canales del Sistema de Refrigeración se seleccionó lo más cercano al cuerpo del engrane para tener control absoluto sobre la tasa de enfriamiento que fuera requerida durante el proceso de inyección. El objetivo consistió en remover tanto calor como fuera posible de la periferia del dentado de una manera continua y simultánea para evitar contracciones irregulares, la geometría elegida para el canal de refrigeración permitía un

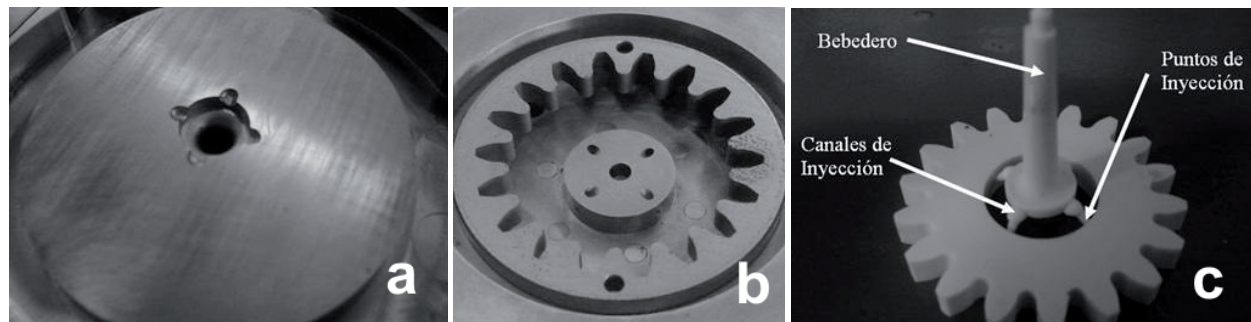


Fig. 2. Cavidades del molde.

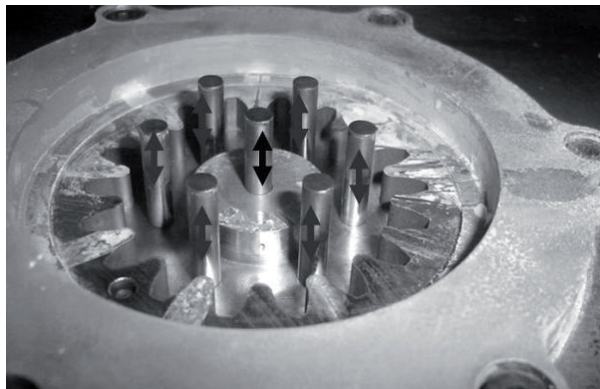


Fig. 3. Botadores de engrane y colada.

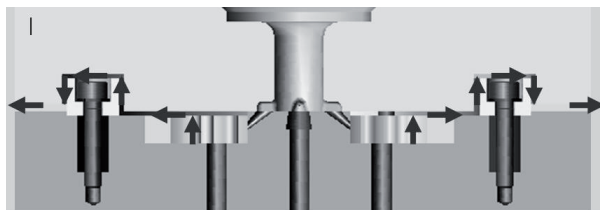


Fig. 4. Sistema de venteo.

flujo continuo y en una sola dirección. Las figuras 5a y 5b indican los canales de refrigeración secundarios utilizados en las cavidades móvil y fija.

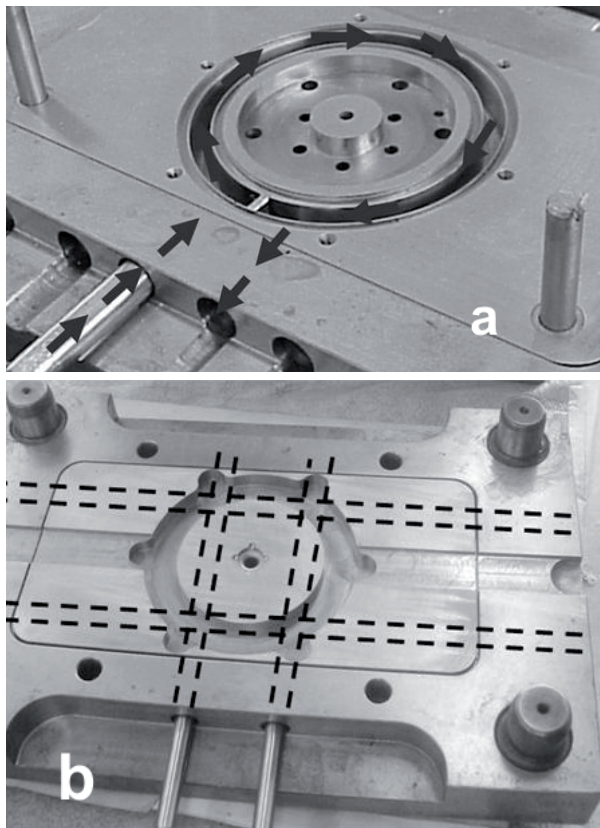


Fig. 5. Canales de refrigeración.

Mediante un ciclo manual fue posible interrumpir las etapas de la inyección para obtener la imagen mostrada en la figura 6, en la que se observa el engrane y la colada completa la cual incluye el plástico dentro del bebedero y en los canales de inyección.

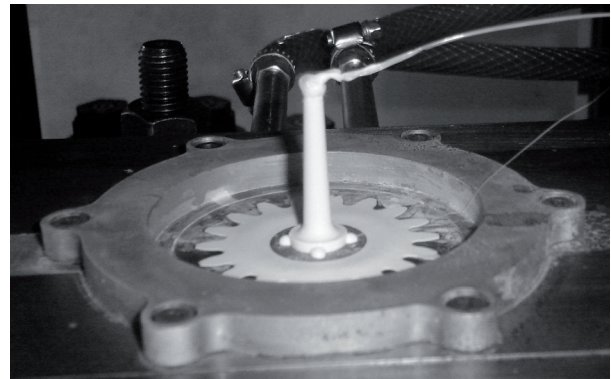


Fig. 6. Engrane y colada antes del desprendimiento del molde.

Simulación

El proceso de inyección corrido en campo además fue simulado en computadora con ayuda del programa Moldflow Plastics Insight®, el cual permitió incluir todas las variables consideradas como lo son: Temperatura de Molde y de Plástico, Velocidad de Inyección, Tiempo y Presión de Sostenimiento. La figura 7a (Moldflow Corporation 2004) muestra el modelo simulado en Moldflow y la figura 7b (Moldflow Corporation 2004) indica algunas etapas de la animación de la inyección.

Nota: Tanto en la inyección en campo como en la simulada con ayuda de Moldflow Plastics Insight® se corrió el mismo diseño de experimentos Ortogonal Taguchi L27, el cual considera 5 variables en 3 niveles (MiC Quality 2009). Este diseño fue elegido debido a la gran cantidad de información que es posible obtener mediante un bajo número de corridas, lo cual redujo el costo del proyecto. Las 5 variables seleccionadas fueron: Temperatura de Molde y de Plástico, Velocidad de Inyección, Tiempo y Presión de sostenimiento. Sin duda el proceso de inyección comprende una cantidad amplia de variables, sin embargo, se decidió considerar estas como significativas para este estudio.

Los niveles de cada variable fueron ajustados en base a las recomendaciones técnicas de procesamiento

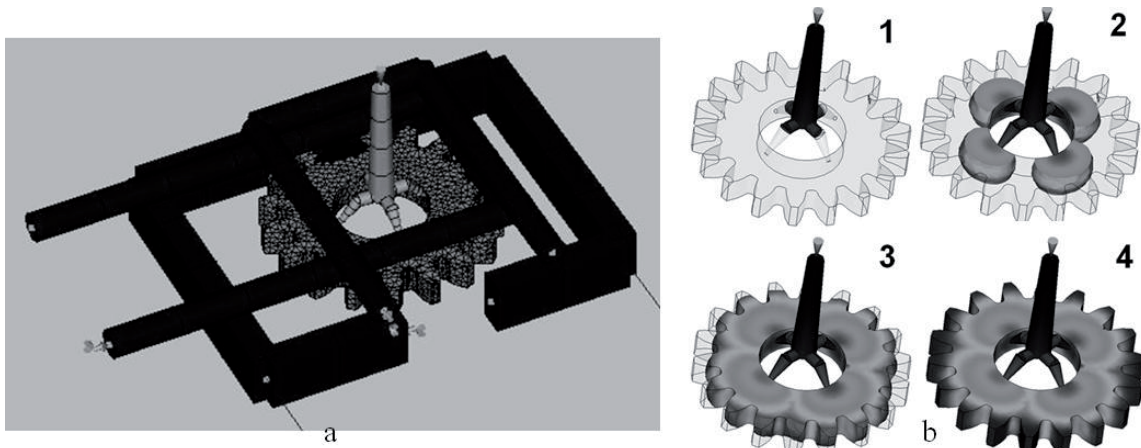


Fig. 7. Modelo simulado para la inyección.⁵

del fabricante del plástico, y partiendo de esos puntos se formaron los rangos en los que se exploró cada variable.

La simulación del proceso en computadora permitió el ajuste de las variables seleccionadas del proceso de inyección de acuerdo al diseño de experimentos elegido sin necesidad de hacerlo en la máquina de inyección, lo que permitió explorar un amplio número de combinaciones. El programa calculó un porcentaje de contracción en cada una de las corridas las cuales fueron alimentadas y analizadas mediante Minitab® (paquete estadístico que abarca todos los aspectos necesarios para el aprendizaje y aplicación de la estadística en general), para hacer una comparativa entre los resultados obtenidos en campo como en la computadora.

Diseño de experimentos

La variación dimensional del engrane fue calculada por 2 vías, la primera consistió en que la

medida entre pernos (figura 8a) obtenida en base a todos los promedios de las medidas en campo fue comparada contra la medida teórica calculada de 49.8056 mm para el engrane “ideal”, calculándose así un porcentaje de contracción.

La segunda vía consistió en considerar la variación volumétrica del engrane en base al cilindro imaginario formado por las medidas entre pernos y el espesor medido en los engranes (figura 8b (Moldflow Corporation 2004)) y así se calculó un segundo porcentaje de contracción.

Nota: La medida entre pernos es un método alternativo de medición basado en los conceptos fundamentales de la Ingeniería Inversa, procedimiento desarrollado por Regalado Contreras,⁷ quien presenta una metodología basada en la medición sobre esferas y medidas de suma acumulada de pasos “span”, para determinar la geometría de un engrane de envolvente pura utilizando herramientas convencionales de medición. (Regalado 2004).

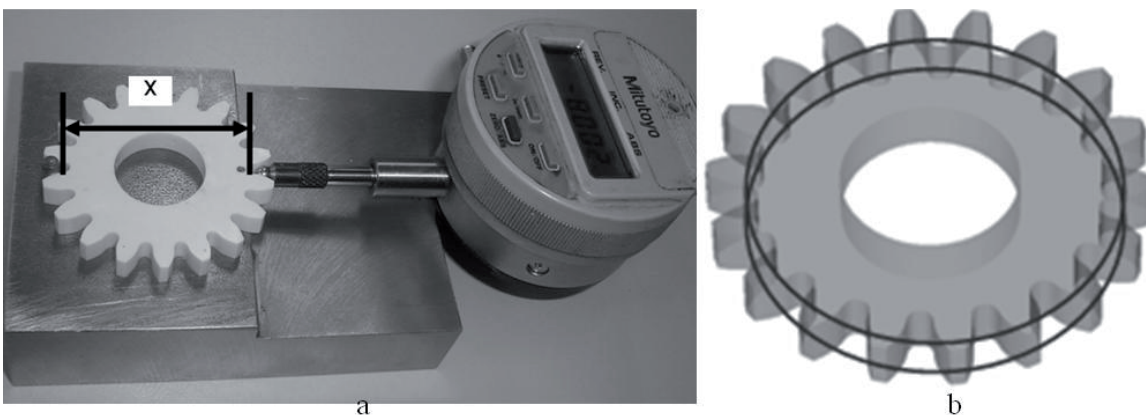


Fig. 8. Medidas consideradas.

Tanto en la inyección en campo como en la simulada con ayuda de Moldflow Plastics Insight® se corrió el mismo diseño de experimentos Ortogonal Taguchi L27, el cual considera 5 variables en 3 niveles.³ Este diseño fue elegido de entre muchos otros por ser característico de arrojar una cantidad considerable de información con un número de corridas bajo lo cual impactó a final de cuentas en el costo del proyecto así como en el tiempo de medición para cada engrane. Las variables seleccionadas para este estudio fueron: Temperatura de Molde y de Plástico, Velocidad de Inyección, Tiempo y Presión de sostenimiento, las cuales fueron asumidas como las de mayor impacto sobre la calidad del producto final. Los niveles de cada variable fueron ajustados en base a las especificaciones técnicas de procesamiento del fabricante del plástico, y partiendo de esos puntos se formaron los rangos en los que cada variable fue modificada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio en campo

Los valores de contracción calculados mediante la medición de engranes inyectados en campo fueron alimentados a Minitab® el cual arrojó las gráficas de efectos de cada una de las variables consideradas sobre la contracción del engrane, como puede observarse en la figura 9a.

Se observa en la figura 9a que los parámetros que tienen mayor efecto en la contracción son la presión de sostenimiento, el tiempo de sostenimiento y la velocidad de inyección, ya que presentan la mayor variación sobre la contracción del engrane, tanto en las mediciones que consideran las distancias entre pernos, como las que comprenden la variación volumétrica del cilindro imaginario considerado mostrado en la figura 8b.

Presión de Sostenimiento. Esta variable presenta un comportamiento lineal decreciente sobre los valores de contracción, mientras es incrementada desde los 25 a los 45 kg/cm², esto conlleva a asumir que el punto de flexión de la gráfica que determinará el valor de presión óptimo de proceso, se encontrará a presiones mayores a las elegidas en este experimento. De esta manera se entiende que en este estudio hubiese sido posible considerar presiones mayores

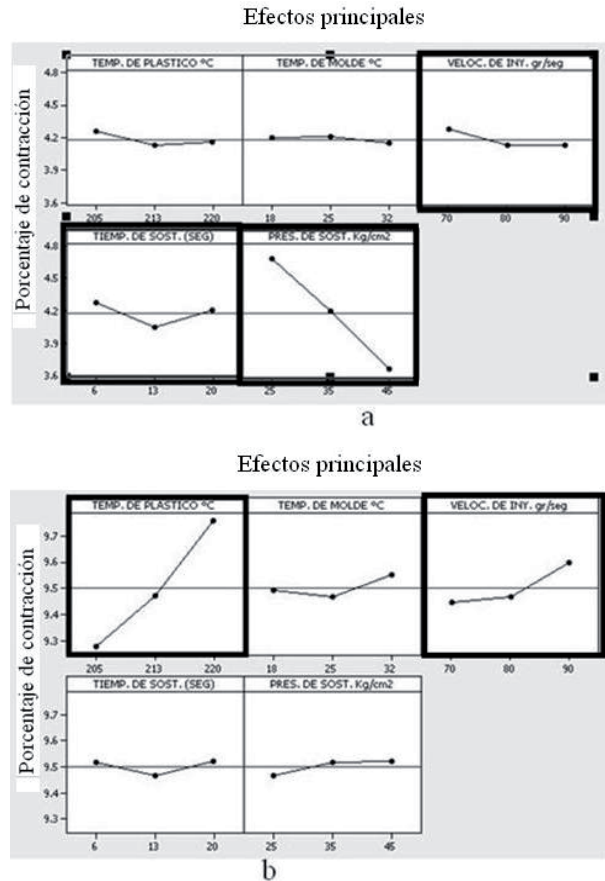


Fig. 9. Gráfica de comportamiento por variable.⁴

de sostenimiento que resultarían en contracciones menores del engrane mejorando la estabilidad dimensional del dentado.

Tiempo de Sostenimiento. La gráfica de contracción de esta variable presentó un punto de flexión a los 13 segundos, que se asume, es el punto óptimo de proceso de entre los rangos seleccionados, pues resulta en el mínimo porcentaje de contracción calculado. El escenario ideal sería haber encontrado un comportamiento asintótico en la gráfica, pues es de esperarse que valores excesivos de tiempo de sostenimiento, no tengan efecto alguno sobre la variación dimensional del producto, por el contrario un tiempo de sostenimiento corto podrá resultar en mayor variación dimensional del engrane debido a que el plástico podría incluso aun no solidificar cuando la presión ha sido removida originando rechupes, pandeo o expansión en el cuerpo del engrane lo que requeriría maquinados posteriores alterando tiempo de ciclo y costos.

Velocidad de Inyección. Al igual que la presión de sostenimiento, esta variable mostró una tendencia lineal, ya que a valores mayores de velocidad de inyección los cálculos arrojaron menores valores de contracción. Esto es debido, a que una velocidad lenta resulta en un flujo lento de plástico dentro de las cavidades, el cual origina que ciertas localizaciones contraigan primero debido a que su temperatura disminuye prematuramente mientras que en otras secciones el plástico aún sigue llenando espacios y formando el producto.

Temperatura del plástico. A los 213 °C el plástico mostró el menor porcentaje de contracción de entre el rango seleccionado. Mediante la gráfica se confirma el hecho de que el plástico presentará contracción en temperaturas altas o bajas: Mientras que un plástico muy caliente puede originar defectos como pandeo y rebaba pues el tiempo de sostenimiento puede no ser el suficiente para que el plástico termine de enfriarse, resultando en engranes deficientes no aptos para operación debido a vibración, calentamiento y desgaste excesivo entre otros factores, por otro lado una temperatura de plástico fría originará que el engrane contraiga demasiado rápido incluso antes de ser inyectado completamente, resultando en piezas incompletas y/o mayor contracción, lo que afectará la precisión del engrane considerablemente pues la geometría del dentado será irregular en los 360°.

Temperatura del Molde. A mayores temperaturas de molde se observa que la contracción tiende a disminuir, esto es debido a que un choque térmico menor entre el plástico y el molde, será benéfico para el acomodo de las moléculas del plástico, lo cual resultará en una disminución en la contracción, mientras que un cambio mayor entre las temperaturas originará que el plástico comience a contraerse más rápido lo cual interferirá con el flujo y la cantidad de plástico que podrá ser introducida libremente al molde, resultando en engranes de menor densidad y mayor contracción, que si bien serían más ligeros carecerían de la integridad estructural para la que fueron diseñados además de presentar irregularidades en la geometría del dentado afectando tanto precisión como desempeño.

Estudio asistido por computadora

De la misma manera los resultados de contracción calculados por Moldflow Plastics Insight® fueron alimentados al diseño de experimentos en Minitab®, la gráfica de efectos obtenida se muestra en la figura 9b.

Se observa que en comparación con los resultados del Diseño de Experimentos en base a las medidas en campo sólo la velocidad de inyección coincide como factor predominante; sin embargo, no presenta la misma tendencia.

Esta variación en los resultados se debe a que refinando los valores de contracción calculados por Moldflow, se encontró que todas las corridas mostraban el mismo valor de contracción de 7.36%. De lo anterior resulta asumir que para grados de precisión altos el software no es confiable, esto se atribuye a que los cálculos del programa dependen directamente sobre la calidad del mallado del modelo.

CONCLUSIONES

- Todas las variables del proceso tienen un efecto distinto sobre la contracción volumétrica del engrane.
- La presión de sostenimiento es la variable con mayor efecto sobre la variación dimensional del engrane, siguiéndole el tiempo de sostenimiento y por último, la velocidad de inyección.
- La gráfica de contracción de la presión de sostenimiento mostró un comportamiento lineal, el punto de flexión de la gráfica (y por ende óptimo de proceso) se asume debe estar en valores de presión mayores.
- Las gráficas de contracción para el tiempo de sostenimiento y la temperatura del plástico calculadas por Minitab® mostraron un punto de flexión, definiéndose éste como el punto óptimo de proceso para un mínimo porcentaje de contracción para estas 2 variables a los 13 segundos y 213 °C respectivamente.

- Los resultados de la simulación por computadora del proceso mostraron una discrepancia en cuanto a los obtenidos en campo, esto es atribuido a que los resultados que calculó el programa no presentaron la precisión requerida. Sin embargo, el programa fue de vital importancia, puesto que permitió explorar una cantidad considerable de variaciones del proceso, que fueron desde el número y localización de puntos de inyección hasta presiones y temperaturas del plástico utilizadas.

REFERENCIAS

1. "Dudley's Gear Handbook"; Mc. Graw Hill 2nd Edition 1986.
2. Grupo IMECPLAST, Asesoría y Capacitación para la Industria del Plástico; 2005. Diseño y construcción de moldes para inyección de plásticos. Estado de México, 2005.
3. MiC Quality; 2009. SIX SIGMA Taguchi Orthogonal arrays. www.micquality.com/reference_tables/taguchi.htm#L27.
4. Minitab®, Statistical Software.
5. Moldflow Corporation; 2004. Moldflow Plastics Insight; Help Module. Moldflow Plastics Insight®.
6. Rees Herbert; 1995. Mold Engineering, Hanser Publishers, Munich Viena. 1995 Herbert Rees. Mold Engineering. Hanser Publishers, Munich Viena. 1995.
7. Regalado Contreras Isaías; 2004. Ingeniería inversa de engranes cilíndricos de envolvente pura utilizando herramientas convencionales de medición. Querétaro Querétaro, CIATEQ A.C. 2004.
8. Ticona, Performance Driven Solutions; 2009 www.ticona.com

2ª. REUNIÓN PANAMERICANA E IBÉRICA DE ACÚSTICA

160th ASA meeting
7° Congreso FIA
17° Congreso IMA

15 - 19 de Noviembre 2010
CANCÚN - MÉXICO

ÁREAS TÉCNICAS

1. Acústica Oceanográfica
2. Bioacústica Animal
3. Acústica Arquitectónica
4. Ultrasonido y Vibraciones Biomédicas
5. Ingeniería Acústica
6. Acústica Musical
7. Ruido y su Control
8. Acústica Física
9. Acústica Fisiológica y Psicológica
10. Comunicación Hablada
11. Acústica y Vibraciones Estructurales
12. Acústica Submarina
13. Proceso de Señales Acústicas
14. Acústica en Educación
15. Audio-Acústica, etc.



COMITÉ ORGANIZADOR

James West (ASA), Co-Chair
Sergio Beristain (IMA) Co-Chair
Samir Gerger (FIA) Co-Chair
Charles Schmid, Vice-Chair
Rebeca de la Fuente, Programa Cultural

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA

Suite INOI, 2 Huntington Quadrangle
Melville, NY 11747-4502, USA
Tel. 516-576-2360 - FAX 516-576-2377
asa@aip.org
<http://asa.aip.org>

FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DE ACÚSTICA

Universidad Federal de Sta. Catarina
Cx Postal 476 Florianópolis SC 88040900 Brasil
Tel. 55-48-234-4074 - FAX 55-48-331-9677
fia@mbox1.ufsc.br
<http://fia.ufsc.br>

INSTITUTO MEXICANO DE ACÚSTICA

P.O. Box 12-1022, México, D.F. 03001, México
Tel. 52-55-5682-2830, 5682-5525
sberista@gmail.com
<http://acustica-cancun.blogspot.com>