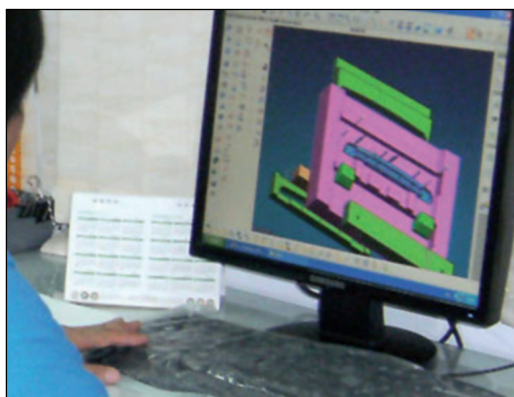


Simulando la inyección de plásticos. Nuevas formas de aprender los procesos



Juan de Juanes-Márquez Dr. Ingeniero Industrial
María Luisa Martínez-Muneta Dr. Ingeniero Industrial
María Rodríguez-Villagrà Ingeniera Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid
Jesús María Pérez-García

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ETSII. Dep. Ingeniería Mecánica y Fabricación.
C/José Gutiérrez Abascal, 2 – 28006 Madrid. Tfno: +34 913 363123. jmarquez@etsii.upm.es

Recibido: 02/02/2012 • Aceptado: 09/07/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4709>

SIMULATING PLASTIC INJECTION. NEW TRENDS TO UNDERSTAND PROCESSES

ABSTRACT

- This project represents a new alternative to improve the user resources to acquire practical knowledge, and to implement successfully the process parameterization in the plastic injection molding environment. Fuzzy decision criteria have been employed, as they are used by the real expert in the process design task, in order to develop a Virtual Injection Molding Machine which allows testing the process parameters. A virtual desk, as similar as possible to real Injection units, has been developed. The desk is easily operated by users. The system response relies on a fuzzy events database experimentally generated. The virtual machine produces a virtual part on which a qualitative defect analysis is carried out. New users must introduce a first combination of process parameters, and running further iterations they should reduce or eliminate completely part defects..
- **Keywords:** Plastic Injection Molding, Virtual Reality, Expert System.

RESUMEN

El presente trabajo describe una aplicación que se presenta como alternativa para ampliar y reforzar la gama de recursos que el aprendiz novel dispone para adquirir conocimientos prácticos en inyección de plásticos, y así poder utilizarlos con éxito en el marco del diseño, selección y parametrización del proceso de inyección. Por medio del empleo de criterios de decisión borrosos, similares a los propios del conocimiento de un diseñador experto, y que resultan imposibles de plasmar en ecuaciones de comportamiento del proceso, se desarrolla una máquina virtual de inyección de plástico, y por tanto un sistema que permite evaluar, por ejemplo, la bondad de los parámetros de transformación elegidos para un proceso, dando como salida aquellas respuestas que proporcionaría un diseñador experto. Se ha desarrollado un panel de control virtual similar al de las máquinas de inyección reales operable por los usuarios,

cuya respuesta varía de acuerdo al modelo borroso incorporado y a los parámetros introducidos por el usuario al utilizarlo. Esta máquina produce piezas virtuales inyectadas que muestran un nivel de defectos que es función de los valores de los parámetros seleccionados por el usuario, permitiéndole una nueva selección de los mismos hasta la obtención de las piezas correctas facilitando así el aprendizaje de la selección de condiciones.

Palabras clave: Moldeo por Inyección de Plásticos, Realidad Virtual, Sistema Experto.

1. INTRODUCCIÓN

El empleo de simuladores en el ámbito de la formación es cada vez mas frecuente. Los primeros en desarrollarse fueron los grandes centros de entrenamiento para aviones, aplicaciones militares, o vehículos, con los que las empresas podían formar a su personal en

las incidencias y habilidades necesarias en el desarrollo de la actividad encomendada. Estos elementos se han ido popularizando de forma progresiva con la disminución de los costes y el aumento de la potencia y complejidad del hardware y software. En los estudios asociados a los procesos de fabricación, se han llevado a cabo experiencias más amplias donde los alumnos controlan todos los factores del proceso productivo como la descrita por Simpson, W., Medeiros, J. et. (2004). Otras experiencias similares se han realizado en la *Universidad de Washington* por Lamancusa (1997) y Lee (2002). Shah (1995), describe una simulación realista de diseño colaborativo consistente en crear un producto desde la base a lo largo de un curso académico. En la *Universidad de Siracusa*, Carranti (1999), realizaban un curso donde los estudiantes de fabricación seriada elaboran un producto proporcionado por el profesor. Simpson (2003), propone comparar la producción manual y la producción en serie en un curso utilizando aviones de papel. Diversas experiencias se han realizado en la enseñanza de prototipado rápido como la de Chua (1997) que desarrolla una plataforma multimedia para la enseñanza de esta técnica. En el ámbito de la formación dirigida a personal técnico en el área de los procesos de transformación de plástico, habitualmente se presenta la dificultad de transmitir una parte del conocimiento fuertemente basado en la experiencia de las personas que llevan a cabo este tipo de procesos, lo cual suele representar muchas horas de trabajo descriptivo poco eficaz, Shah (2004).

El presente trabajo se orienta a la generación y utilización de una herramienta informática optimizada para la consecución de la puesta en práctica de la selección de condiciones de trabajo de forma sencilla, rápida y económica. Existen en este contexto algunas aplicaciones informáticas que abordan parcialmente o de manera colateral este problema. El programa *PICAT®* (<http://www.ptlonline.org.uk/home.htm>), es un sistema que permite simular y modificar los parámetros de inyección de una pieza para estudiar sus posibles defectos. El programa trabaja sobre cuatro piezas tipo, de geometría muy sencilla y poco realista, y está basado en los defectos, y por tanto orientado a completar la formación de personas ya experimentadas en este entorno, por lo que resulta de escasa o nula aplicación en el ámbito de la formación dirigida a técnicos noveles en este campo. Por otro lado, descarta problemas de cierto interés para el inyector de plástico tales como el tamaño de la máquina y el número de cavidades, muy importantes en el planteamiento inicial de la producción de una serie de piezas, y también deja aparte aspectos relacionados con la geometría del molde que son de interés para el proceso.

También existen aplicaciones de simulación numérica orientadas generalmente a asistir en las tareas de diseño de la geometría final de la pieza y del molde de fabricación, tales como *Moldflow®* (<http://www.moldflow.com/stp/>). Estos programas tienen en común su fuerte contenido matemático orientado a la simulación del flujo plástico durante la transformación, que de manera complementaria permiten

analizar defectos debidos a deformaciones, contracciones, etc. Sin embargo presentan gran dificultad, tiempo de aprendizaje, y sobre todo es de destacar la dificultad que entraña la correcta interpretación de los resultados que proporcionan, teniendo en cuenta que generalmente se requiere de un análisis crítico y especializado que sólo se alcanza con el estudio y la experiencia en el proceso analizado. El resultado es que únicamente personal altamente cualificado y entrenado obtiene conclusiones acertadas de su utilización, y por consiguiente los convierte en aplicaciones poco orientadas a la enseñanza de noveles.

En este trabajo se describe una nueva aproximación a este problema con el ánimo de resolver los problemas básicos que se plantean a la hora de formar técnicos noveles en procesos de transformación de plásticos y más concretamente en inyección de termoplásticos.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Dejando aparte los problemas en el diseño y fabricación del útil de moldeo, los problemas básicos a resolver en el proceso de inyección de termoplásticos por la empresa que realiza la transformación pueden establecerse de la siguiente manera:

- 1) Problemas Técnico-Económicos en la definición preliminar del molde.
- 2) Problemas derivados de la selección de maquinaria disponible.
- 3) Problemas de parametrización del ciclo de inyección.

La empresa cliente final (sector de automoción, aeroespacial, etc.) define las características geométricas y de materiales de las piezas a inyectar, así como el tamaño de la serie. Con estos datos, la empresa transformadora debe elaborar un plan de producción que permita obtener la máxima calidad geométrica y visual al menor coste posible, teniendo en cuenta su disponibilidad de personal y maquinaria, y sus costes operativos. Las primeras decisiones son de tipo técnico-económico, tales como número de cavidades del molde, tipo de molde, tipo de colada, etc. (para la viabilidad económica). En segundo lugar se selecciona la maquinaria para llevar a cabo la transformación (viabilidad técnica), para después definir lo que se conoce como parametrización del ciclo: temperaturas, tiempos, presión y velocidad de inyección (que normalmente afecta directamente a la calidad de las piezas inyectadas). Finalmente con estos datos del ciclo, en un molde concreto puede llevarse a cabo una estimación real de los tiempos, costes y defectos de producción derivados, lo que permite a esta empresa establecer el precio final ofertado.

Este procedimiento de toma de decisiones que engloba tanto criterios económicos como técnicos resulta difícil de transmitir de forma completa e integrada al alumno, teniendo en cuenta, además, que dentro de este sector,

las diferentes tareas no son llevadas a cabo por una única empresa sino por otras subcontratadas. Por otro lado, las decisiones que se toman, en gran medida, son llevadas a cabo por personal especializado con años de experiencia. La metodología planteada y el programa desarrollado aquí presentado, pretenden ser una importante ayuda para que un alumno recientemente iniciado en el proceso de inyección de termoplásticos pueda dar respuesta a estos problemas de una manera razonada, eficaz y ordenada.

La secuencia de trabajo definida para llevar a cabo la toma de decisiones descrita puede establecerse de la siguiente forma:

- 1) Primera estimación del número de cavidades del molde.
- 2) Estimación de los límites técnicos del número de cavidades, en cuanto a capacidad de plastificación, capacidad de inyección y fuerza de cierre en la máquina.
- 3) Selección de la maquinaria más adecuada de entre la disponible.
- 4) Definición de los parámetros del ciclo.
- 5) Estimación de la calidad de las piezas inyectadas.
- 6) Optimización del tiempo de ciclo.
- 7) Optimización del número de cavidades.

El diagrama de flujo de la aplicación se muestra en la Fig. 1.

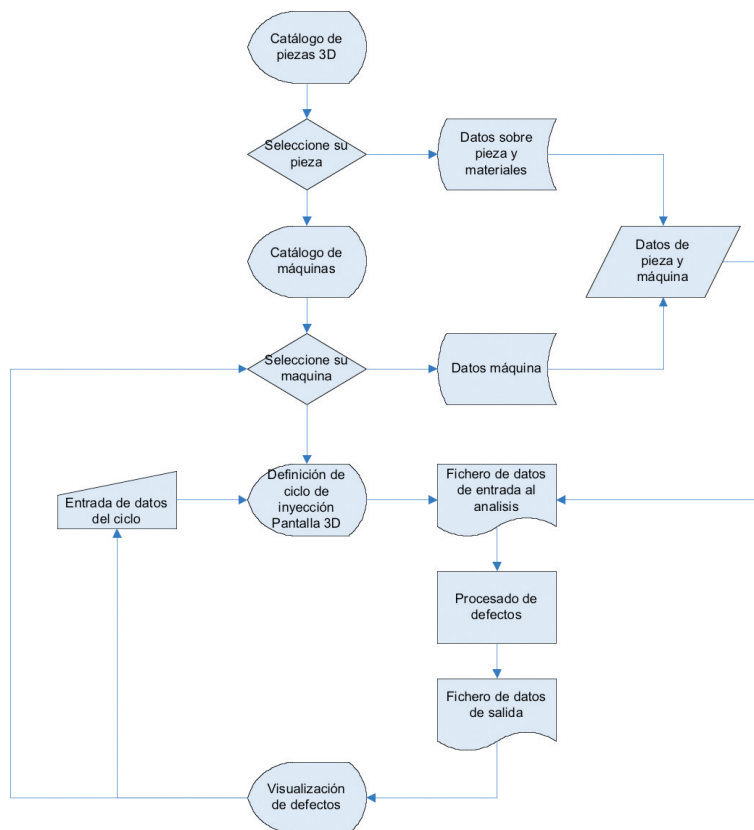


Figura 1: Diagrama de flujo de la aplicación

Para llevar cabo estas tareas se ha desarrollado un sistema experto con un motor de decisión que va permitir mediante un proceso iterativo, llevar a cabo la optimización descrita en los puntos 6 y 7.

La primera estimación del número de cavidades del molde puede realizarse teniendo en cuenta las siguientes expresiones.

$$C = (C_{hm} + C_{ho}) \cdot t_{ciclo} \cdot \frac{Lote}{n^{\circ} cavidades} + C_{molde} \quad (1)$$

La Ecuación (1) representa el coste total de una serie de piezas, sin tener en cuenta el coste del material, y permite obtener una recomendación inicial para el número de cavidades más económico según unas estimaciones concretas de costes horarios de maquinaria, operario, tiempo de ciclo, tamaño del lote y coste del molde. Normalmente y ante los tamaños de lote habituales en productos de consumo de plástico, la evolución suele ser la representada en la Fig. 2, de manera que puede observarse la aparición de un mínimo para un determinado número de cavidades.

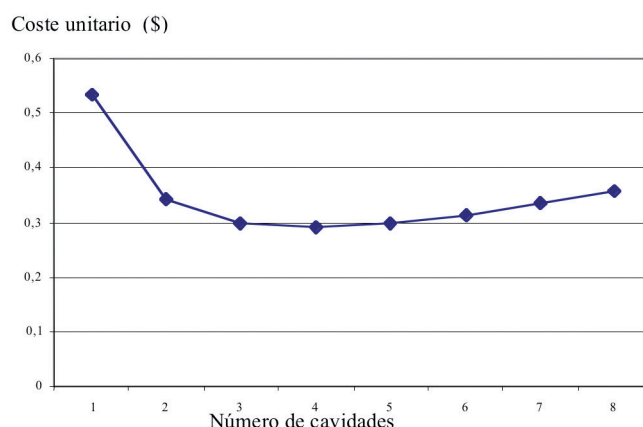


Fig. 2: Coste unitario frente al número de cavidades del molde

Este número económico permite establecer una base de comparación en cuanto a las prestaciones de la maquinaria empleada en el proceso de transformación. De manera que las ecuaciones:

$$N^{\circ} cavidades = \frac{C_p \cdot T_p - P_{maz / canal}}{P_{pieza}} \quad (2)$$

$$N^{\circ} cavidades = \frac{C_i - V_{maz / canal}}{V_{pieza}} \quad (3)$$

$$N^{\circ} cavidades = \frac{\frac{F_{cierre}}{P_{cierre}} - S_{proy / maz / canal}}{S_{proy / pieza}} \quad (4)$$

Que expresan los números máximos teóricos de cavidades con respecto a las prestaciones de la maquinaria empleada atendiendo a: capacidad de plastificación (2), capacidad de inyección (3), y fuerza de cierre (4). Lo que permite hacer una primera selección del número de cavidades más apropiado para el molde, y con ello la selección de la maquinaria más apropiada al proceso concreto.

El siguiente paso es establecer los parámetros del ciclo más adecuados para obtener la calidad objetivo en las piezas inyectadas. Los parámetros representativos del ciclo de inyección seleccionado fueron (Tabla I):

T1	Temperatura de la masa
T2	Temperatura del molde
t1	Tiempo de inyección
t2	Tiempo de mantenimiento de presión
t3	Tiempo de refrigeración
Vi	Volumen de inyección
Pi	Presión de inyección

Tabla I: Parámetros del ciclo de inyección

Se han elegido estos parámetros por ser los más habituales en los menús de configuración del ciclo de las máquinas inyectoras comercialmente disponibles. Para realizar una estimación de la calidad de las piezas inyectadas se ha desarrollado un motor de inferencia basado en un algoritmo de decisión elaborado a partir de la experiencia recogida en procesos reales y simulados de inyección, que va a permitir inferir, en base a los parámetros del ciclo aportados, la presencia o no de defectos de inyección por causa de estos.

Se ha seleccionado un grupo simple de defectos de todos los posibles descritos en los ensayos y en la bibliografía existente, escogiendo únicamente aquellos directamente dependientes de los parámetros del ciclo típicamente ajustables sobre la máquina inyectora, y dejando fuera aquellos defectos derivados de otras causas ajenas al proceso de transformación tales como los derivados fundamentalmente del diseño incorrecto de las piezas (rechupes, líneas de soldadura, etc.) o aquellos derivados del diseño incorrecto del molde (oclusiones de aire, punto de inyección, etc.). En la Tabla II se muestran los defectos seleccionados como representativos y directamente relacionados con los parámetros del ciclo de inyección.

1	Temperatura fuera de Rango
2	Llenado Incompleto
3	Cambio Forma-Alabeo
4	Cambios de color

Tabla II: Jerarquía de defectos considerada

Por otro lado se han establecido unos criterios borrosos de decisión que permiten establecer una correspondencia

entre los parámetros del ciclo y los defectos provocados, de manera que pueda establecerse un nivel de intensidad o grado del defecto que varía entre 1 (grado más leve) y 4 (grado más grave de aparición).

El sistema inteligente desarrollado contiene un motor de inferencia por cada uno de los parámetros del ciclo de inyección considerados: Temperatura de la masa, Temperatura del molde, Tiempo de inyección, Tiempo de mantenimiento, Tiempo de refrigeración, Volumen de inyección, Presión de inyección.

Los datos de entrada del sistema inteligente desarrollado son los cuatro defectos de inyección identificados con su “nivel de defecto” observado en la inspección en la fase experimental. Las funciones de pertenencia de entrada, son las funciones polinómicas calculadas para cada defecto considerado (Figura). Estas funciones de pertenencia se determinaron empleado un análisis de regresión de los datos observados en la fase experimental. Estas funciones representan como cada parámetro de inyección afecta en cada defecto. En la Fig. 3 se observa un ejemplo de la influencia del parámetro volumen de inyección sobre la aparición del defecto, marcas de rechupes. Con medidas que fueron realizadas por operadores diferentes en experimentos sucesivos.

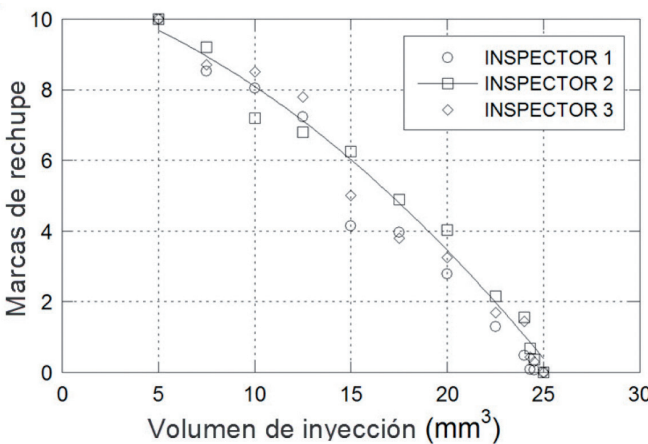


Figura 3: Ejemplo de la función de entrada calculada para un tipo de defecto

Un conjunto de reglas heurísticas fueron definidas para predecir la aparición y posible corrección de cada defecto. Se crearon dos tipos de reglas, un primer tipo para definir si el parámetro esta fuera de rango establecer el rango de severidad del defecto inferido, y un segundo tipo de reglas para establecer la prioridad de aparición del defecto en función de la combinación de parámetros de inyección considerados. Se estableció por tanto una jerarquía de aparición de defectos, donde en primer lugar se establecía la aparición de defectos asociados y en segundo lugar la intensidad de los mismos.

Por último se desarrollaron funciones de pertenencia de salida, básicamente funciones polinómicas calculadas para cada parámetro de inyección, que muestran su influencia en la calidad global de la pieza. Se definió un nivel de no-

conformidad entre 0-1 (0, pieza libre de defecto y 1 pieza con el defecto en nivel más crítico). Y de nuevo fueron evaluadas a partir de los datos recopilados en los ensayos experimentales. De la Fig. 4, se desprende que la geometría de la pieza no tiene una influencia clave en la aparición de un determinado defecto, por lo que puede predecirse en base únicamente a la combinación de parámetros existente.

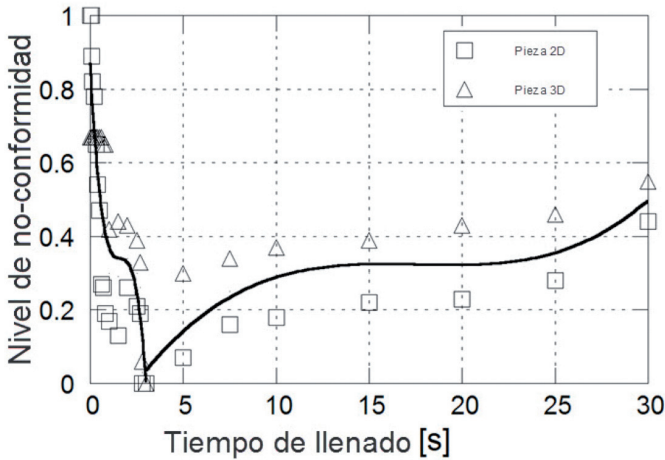


Figura 4: Función de pertenencia de salida para la estimación del nivel de no-conformidad

La Tabla III muestra los defectos inferidos por el motor ante parámetros críticos aislados o combinaciones de los mismos.

El proceso descrito hasta ahora permite que de forma iterativa se llegue a estimaciones realistas de los parámetros del ciclo para obtener piezas con ausencia de defectos, así como obtener una estimación realista del tiempo de ciclo, que permitirá a su vez optimizar también el número de cavidades económico del molde.

Para poder aplicar la metodología desarrollada y ser empleada por los alumnos, se ha desarrollado una aplicación informática que se describe a continuación.

3. EL PROYECTO SIN VIR (SIMULADOR DE INYECCIÓN VIRTUAL)

El *Simulador de Inyección Virtual* es una herramienta cómoda, sencilla de utilizar y por supuesto, útil. La aplicación reproduce una máquina de inyección ya instalada en taller y se simula los pasos que debería seguir un técnico a la hora de realizar una serie de piezas, de forma análoga a como lo haría con la máquina real (elección del material acorde con el tipo de pieza elegida, elección de la máquina

Parámetro Controlado	Defectos inferidos					
	2	3	4	5	6	7
T1	0	2	0	0	1	2
T2	1	0	0	0	0	0
t1 -	2	2	1	0	0	0
t1 --	4	4	4	0	0	0
t2 -	0	1	1	1	0	0
t2 --	0	4	4	4	0	0
t2 ++	0	0	0	0	0	1
pi -	0	1	1	0	0	0
pi --	3	4	4	0	0	0
pi ++	0	0	0	0	0	0
T2 - t1 -	4	4	4	0	0	0
t1 - t2 - pi -	4	4	4	1	0	0
T2 + pi -	0	0	0	0	1	0
t1 + t2 - pi - vi +	2	4	4	1	0	0
T1 + t2+	0	2	0	0	1	4

Códigos de defectos
2 Llenado Incompleto
3 Exfoliación
4 Cambio de Forma-Alabeo
5 Marcas de Expulsores
6 Marcas de Quemado
7 Decoloración

Tabla III: Matriz inferida con ciertos parámetros o combinaciones

acorde con la pieza y el tamaño de la serie...). En el proceso de inyección influyen una serie de parámetros que el usuario ha de tener en cuenta a la hora de trabajar, puesto que una mala elección puede llevar a cometer errores de inyección. Por ejemplo, una selección equivocada del material o unos tiempos de inyección incorrectos dan como resultado un defecto en la pieza. La aplicación muestra el resultado de los errores cometidos visualizando una pieza con los defectos producidos en la inyección.

Por lo tanto, se optó por una aplicación compuesta por un asistente visual que va guiando al usuario a través de la herramienta y un entorno de trabajo amigable. El usuario va rellenando una serie de ventanas que se muestran en pantalla en las que introduce sus datos y elige el ejercicio que desea hacer. Para ello se utiliza ocho piezas predefinidas sobre las cuales el técnico debe tomar decisiones.

La ventana principal de la herramienta consiste en la integración de dos visuales y una ventana de entrada de datos. Al final de la aplicación, el programa visualiza el resultado de los errores cometidos en forma de defectos en la pieza y genera un informe o evaluación con los datos del usuario, los pasos que ha seguido y los errores que ha cometido. De esta manera también se permite al monitor o profesor tener un seguimiento del aprendizaje del usuario.

La aplicación esta basada en *OpenSceneGraph* (<http://www.openscenegraph.org/>), ya que es código abierto, tiene una amplia gama de herramientas para el desarrollo de aplicaciones de alto rendimiento como simuladores de vuelo, juegos, realidad virtual, etc. *OpenSceneGraph* está basado en el concepto de gráficos de escena que proporciona un marco de programación orientada a objetos superior a *OpenGL* (<http://www.opengl.org/>) dando libertad al desarrollador de implementar y optimizar gráficos de bajo nivel y proveyendo múltiples utilidades adicionales para un desarrollo más rápido.

La aplicación que se ha desarrollado consta de los siguientes módulos:

- **Aplicación de configuración y control:** Aplicación generada en *Visual C++* basada en diálogos y que contendrá las herramientas de configuración y de control del simulador.
- **Visual 3D:** Ventana que permite visualizar la base de datos del entorno 3D, creada utilizando el motor gráfico *OpenSceneGraph*. En esta zona se encuentra la inyectora virtual, que puede ser visitada por el usuario.
- **Visual 2D:** Ventana que permite visualizar un entorno 3D pero simulando una vista 2D mediante *OpenSceneGraph*. El punto de vista fijo es el del panel de control de la inyectora. Este panel responde a los eventos del ratón.

- **Comunicaciones:** Se encarga de realizar las comunicaciones entre los módulos anteriores. Está encapsulada y se desarrolla empleando el protocolo *CORBA* (<http://www.corba.org/>).

Una vez se han rellenado correctamente los valores de los parámetros mostrados en las ventanas anteriores, la aplicación lanza la ventana principal que correspondería al trabajo en máquina del alumno (Figura 5). En la ventana aparecen tres zonas bien diferenciadas:

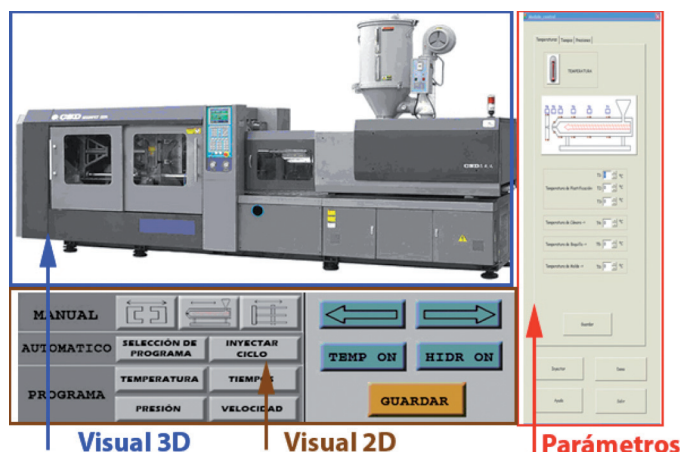


Figura 5: Ventana principal

- **Selección de parámetros:** desde esta ventana el alumno introduce los parámetros con los que va a trabajar a la hora de inyectar. Se dividen en tres subpaneles con las temperaturas de inyección, los tiempos de inyección, y las presiones y velocidades de inyección (Figura 6).

La modificación de los parámetros de presión, temperatura y tiempo son críticos ya que en buena medida los defectos dependen de ellos. Como resultado de esta selección, la aplicación ofrece al usuario los defectos asociados y este a su vez puede introducir nuevos valores obtener mejores resultados (Figura 6).

Por último en la Fig. 7, se muestra la pantalla que permite realizar el análisis técnico-económico del número de cavidades recomendado para el molde. Esta pantalla resulta de gran ayuda para establecer las dimensiones reales del molde, más adecuadas desde el punto de vista económico, así como el tamaño de la máquina inyectora idóneo para llevar a cabo el proceso de transformación.

En la actualidad el entorno virtual permite la visualización de la máquina inyectora y del proceso de inyección de una serie de piezas genéricas, muy amplia perteneciente a objetos reales. Pero se está trabajando la incorporación de piezas definidas por el usuario desde programas externos a la aplicación como *SolidEdge®*, *SolidWorks®* o *Autodesk Inventor®*, permitiendo así mas flexibilidad y adecuación al problema real.

	Pieza correcta	Quemado	Alabamiento	Exfoliación	Mal llenado	Decoloración
Carcasa enrollador de auriculares						
Mango de cutter						
Carcasa de velocímetro						
Carcasa del mando de videoconsola						
Caja porta tarjetas						
Rejilla de ventilación para automoción						
Carcasa de flexómetro						
Tapa de pilas						
Pinza						

Figura 6: Selección de piezas con diferentes defectos

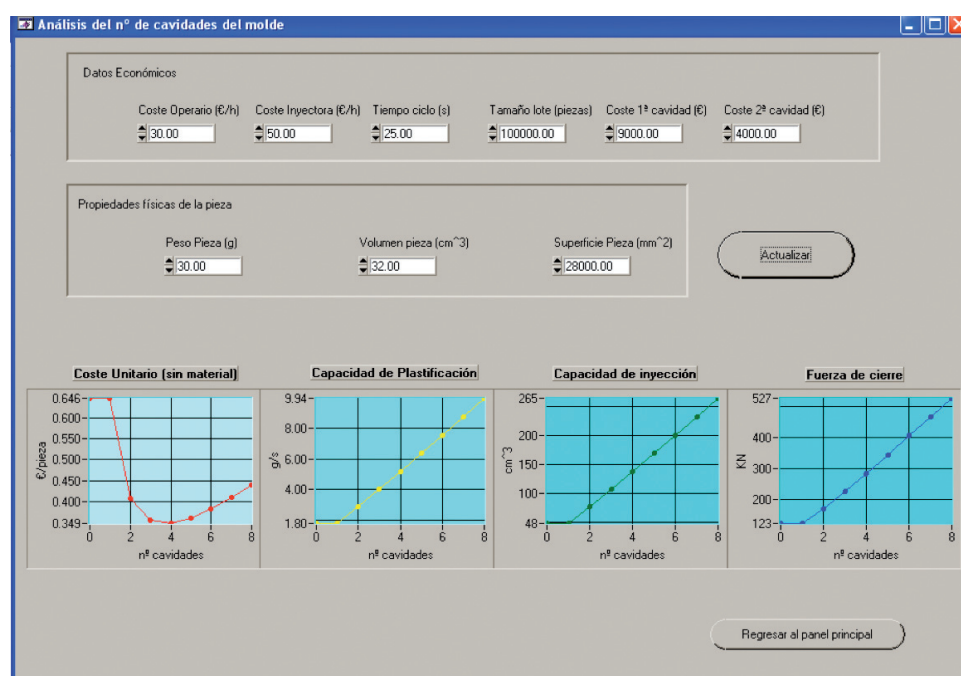


Figura 7: Análisis técnico-económico del proceso

4. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta el desarrollo de un simulador de inyección de plásticos. Se ha intentado recoger el “*know-how*” de un especialista en la materia con la que se intenta afianzar y reforzar los criterios que se transmiten a un aprendiz de estos procesos. Se ha intentado reproducir el proceso de inyección de una pieza de plástico desde la selección de la maquina inyectora, el tipo de molde hasta los parámetros de ajuste de la misma de temperatura, presión y tiempo. Se ofrece un resultado visual de la pieza resultante y los defectos obtenidos, pudiendo repetir el proceso hasta el ajuste correcto de los parámetros.

Por lo tanto, se propone una metodología de trabajo, que permite a personal técnico o alumnos noveles, en proceso de formación en el área de moldeo por inyección de plástico, llevar a cabo el estudio de viabilidad técnico-económica del proceso, así como establecer los parámetros del ciclo más adecuados para obtener la máxima calidad en las piezas inyectadas: la metodología se basa en un motor de inferencia desarrollado según criterios de lógica borrosa, y se ha desarrollado mediante la programación de una aplicación informática con soporte gráfico 3D que facilita el aprendizaje de los conocimientos objetivo, y establece una importante base para desarrollar otras aplicaciones de optimización del proceso de inyección de termoplásticos.

5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto ha sido financiado con fondos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) con referencia IE06 0525-049.

6. ACRÓNIMOS

C	Coste total de la serie producida
C_{hm}	Coste horario de la máquina inyectora
C_{ho}	Coste horario de personal
t_{ciclo}	Tiempo del ciclo de inyección
Lote	Tamaño de la serie producida
C_{molde}	Coste del molde
C_p	Capacidad de plastificación de la máquina inyectora
P_{pieza}	Peso de la pieza inyectada
$P_{maz/canal}$	Peso de la mazarota y los canales de alimentación del molde
C_i	Capacidad de inyección de la máquina inyectora
V_{pieza}	Volumen de la pieza
$V_{maz/canal}$	Volumen de la mazarota y de los canales de alimentación
F_{cierre}	Fuerza de cierre de la máquina
P_{cierre}	Presión de cierre de la máquina
$S_{proy/pieza}$	Superficie proyectada de pieza
$S_{proy/maz/canal}$	Superficie proyectada de mazarota y canales de alimentación

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Simpson W, Medeiros J. et al. "IME.Inc. A new course for integrating design, manufacturing and production into the engineering curriculum". International Journal of Engineering Education. Vol. 20, Num. 5, pp.764-766, 2004.
- [2] Lee WB, Li JG, Cheung CF. "Development of a virtual training workshop in ultra-precision machining".

- International Journal of Engineering Education. Vol. 18, Num. 5, pp.584-596, 2002.
- [3] Lamancusa JS, Jorgesen JE, Zayas-Castro JL. "The learning factory: a new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum". International Journal of Engineering Education. Vol. 88, Num. 6, pp. 103-102, 1997.
- [4] Shah JJ, Sadowky JS, Macia NF et al. "The virtual corporation: simulating real World collaborative design in a university setting". ASME Design and Methodology - DTM'95 Boston MA. Vol. 2, pp. 507-515, 1995.
- [5] Carranti FJ. "A manufacturing enterprise for undergraduates". Successes in M.E. Design Education, ASME International Congress and Exposition, Nashville, TN. pp. 7-12, November 1999.
- [6] Simpson TW. "Experiences with a hands-on activity to contrast craft production and mass production in the classroom". International Journal of Engineering Education. Vol. 19, Num. 2, 2003.
- [7] Chua CK, Leong KF, ChengHK, Chow LM. "A multimedia approach to teaching rapid prototyping systems". International journal engineering education, Vol. 15, n. 2, pp 108-116, 1997
- [8] Shah J, Lin L, Su Y. "Implementation and analysis of polymeric microstructure replication by Micro Injection Moulding". Journal of Micromechanics and Microengineering. Vol. 14, pp. 415-422, 2004. <http://dx.doi.org/10.1088/0960-1317/14/3/015>
- [9] Polymer Training Limited PTL (PICAT). Halesfield 7 Telford. Shropshire TF7 4NA. United Kingdom. <http://www.ptlonline.org.uk/home.htm> (1/mar/2012)
- [10] Moldflow Corporation. 492 Old Connecticut Path, Suite 401. Framingham, MA 01701 USA. <http://www.moldflow.com/stp/> (1/mar/2012)
- [11] OpenSceneGraph: <http://www.openscenegraph.org/> (1/mar/2012)
- [12] Open Graphics Library, <http://www.opengl.org/> (1/mar/2012)
- [13] Corba: <http://www.corba.org/>