

# SIMULACIÓN NUMÉRICA AVANZADA EN LA EXTRUSIÓN DE GOMAS

Ordieres Meré, J<sup>1P</sup>.; González Marcos, A<sup>1</sup>.; Alba Elías, F<sup>1</sup>.; Ortega Fernández, F<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>UNIVERSIDAD DE LA RIOJA. Área de Proyectos de Ingeniería.

<sup>2</sup>UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Área de Proyectos de Ingeniería.

## RESUMEN

En el presente trabajo se describen las líneas de investigación que se están desarrollando en la Universidad de La Rioja en el campo de la concepción de utillaje para la extrusión de gomas en el sector del automóvil. Con el fin de optimizar los tiempos consumidos en la generación de nuevos productos, se emplean técnicas de simulación numérica avanzada en el diseño de los componentes empleados en los mecanismos de extrusión.

Los estudios que se están llevando a cabo señalan que el comportamiento del material no se puede predecir completamente con un análisis de flujo de fluidos no newtonianos. Esto es, con esta aproximación se pueden estudiar fenómenos tales como la ruptura del fundido y la denominada *piel de tiburón*, cuya dependencia con el gradiente de velocidad del material dentro de la matriz de extrusión está comprobada. Sin embargo, con este análisis no se pueden predecir otros fenómenos observados en el proceso de extrusión, tales como el hinchamiento y los giros del material a la salida de la matriz. Para estos casos se está realizando un estudio del comportamiento viscoelástico del material, en el que se tiene en cuenta la fricción del material con las paredes de la matriz, y en el cual si se observan dichos fenómenos.

## ABSTRACT

In this work the research lines that are being developed in the University of La Rioja about the tools conception for the rubber extrusion in the automobile sector are described. For the purpose of optimizing the times consumed in the generation of new products, advanced numerical simulation techniques are used in the design of the components used in the extrusion mechanisms.

The studies that are being carried out indicate that the behaviour of the material cannot be completely predicted with the analysis of non-Newtonian fluids. With this approach we can study the phenomena such as the fused rupture and the denominated *shark skin*, whose relationship with the speed gradient of the material within the extrusion matrix is proved. Nevertheless, other phenomena observed in the extrusion process cannot be predicted with this analysis. These phenomena are the swelling and the turns of the material when coming out of the matrix. For these cases we are studying the viscoelastic behaviour of the material, in which the material friction with the walls of the matrix are considered and these phenomena are observed.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los perfiles extruidos de elastómeros tienen una gran demanda en la industria moderna, especialmente en el sector de la Automoción. El proceso de conformado, que se realiza mediante la extrusión del material al pasar por una hilera que contiene el contorno del perfil a obtener, presenta diversos inconvenientes debido a que la geometría de los componentes de la matriz, que contiene la hilera, influyen de forma considerable en el producto final.

La concepción actual de utillajes de extrusión se realiza conforme a distintas hipótesis de comportamiento del flujo de caucho basada en la experiencia de los operarios de diseño y fabricación de utillajes, y requiere para cada pieza una validación generalmente costosa por la construcción de varios prototipos con funcionamiento controlado en base a técnicas de "prueba y error" hasta encontrar la solución que proporciona el perfil requerido dentro de los rangos de tolerancia definidos. Este proceso, generalmente, consume recursos en tiempo que pueden considerarse críticos en una cadena de producción, ya que dicha operación no puede determinar el número de prototipos a diseñar, ni el tiempo a invertir hasta encontrar la geometría deseada.

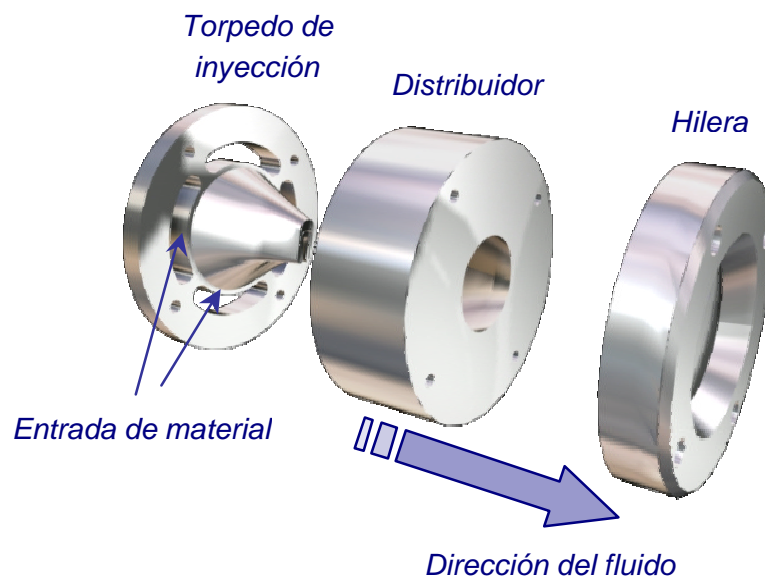


Figura 1. Elementos constitutivos de la matriz de extrusión.

Puesto que el diseño de un nuevo componente de automoción exige que su obtención sea de forma rápida y validada, la Universidad de La Rioja lleva a cabo una investigación cuyo objetivo es el desarrollo de un sistema de ayuda a la concepción del utillaje para la cabeza del inyector de gomas a partir de la geometría de la sección de goma según las necesidades de diseño. Para ello, se estudia en detalle la tecnología actual aplicada en la extrusión de gomas, con el fin de optimizar el sistema de diseño de los distintos utillajes necesarios y automatizar, en lo posible, la fabricación de prototipos de útiles para la extrusión de componentes de caucho.

Parte fundamental de esta investigación es definir el comportamiento del material durante la extrusión, mediante modelización matemática y simulación informática.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La fase de construcción pura del utillaje está perfectamente integrada mediante herramientas de control numérico con sistemas de corte y erosión por hilo; así, dicha operación se realiza en un tiempo muy breve, despreciable en el cómputo de tiempo actual invertido en el diseño, construcción y puesta a punto del utillaje.

Para reducir el tiempo empleado en la fase de diseño, es fundamental conocer la forma definitiva del perfil tras ser extruido en la matriz. Para ello, se emplean técnicas de simulación numérica avanzada que pretenden prever los posibles problemas que puedan surgir en la fabricación de las piezas.

El defecto más común en los perfiles extruidos, conocido como **piel de tiburón**, consiste en una fractura parcial en distintas secciones paralelas a lo largo de la superficie sometida a extrusión. Se produce por un exceso de diferencia en la velocidad entre el extremo y el cuerpo del perfil, que genera tensiones normales que agrietan la sección, provocando una superficie similar a la piel de tiburón.

Si se favorecen las condiciones que causan la piel de tiburón, esto es, si se vuelve excesiva la presión en el extrusor o disminuye la temperatura de la matriz, el efecto provoca una apariencia de grano grueso y poco a poco la restitución de los esfuerzos de tracción provocan que el material se *retraiga*, produciendo una **acumulación de material en los bordes**, al estilo del *bambú*.

Otro defecto en la salida se corresponde con el **hinchamiento** (*swelling*) del material, resultando una pieza con dimensiones diferentes a las de la hilera. El origen de este fenómeno se encuentra en la componente elástica del comportamiento total que tiene el polímero fundido al someterse al esfuerzo. Este hinchamiento puede caracterizarse por la relación del diámetro del extruido y el de la hilera (en casos cilíndricos),  $D/D_0$ . Esta relación oscila entre 1 y 3, dependiendo a su vez de la relación entre el diámetro y la longitud de la hilera  $D_0/L_0$ , además de la velocidad de deformación.

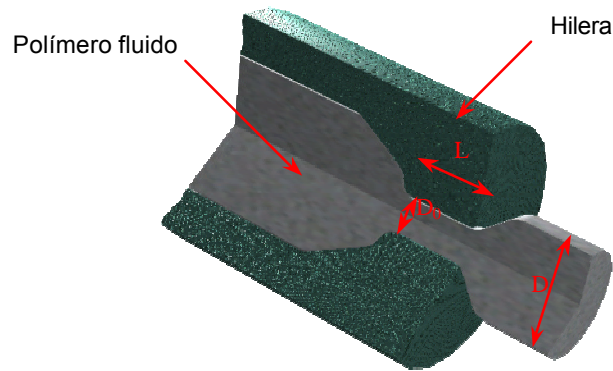


Figura 2. Efecto del hinchamiento durante la extrusión

Otro efecto importante es la **ruptura del fundido** (*melt fracture*), que corresponde a diversas irregularidades y distorsiones: desde pequeñas ondulaciones en la superficie, hasta una discontinuidad completa en el extruido. En ciertas ocasiones se produce una deformación helicoidal, otras se tuerce espiralmente, mientras que otras lo hace en zig-zag, incluso otras veces toma forma de bambú. Su detección se realiza comprobando el gradiente de velocidad: si éste es muy alto en zonas muy próximas, es factible que se produzcan altas tensiones cortantes y como consecuencia aparezca este defecto a la salida de la extrusión.

### 3. SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL

Los primeros estudios realizados se centran en un análisis de flujo de fluidos no newtonianos. Para la simulación se imponen condiciones de contorno según la Teoría de Flujo de Navier-Stokes, para la cual se implementa una presión de entrada de fluido de acuerdo a los parámetros de extrusión, una presión de salida natural o sin efectos de presión, y velocidad de circulación nula en los nodos que conforman las paredes de la geometría de extrusión.

Con estos datos se simulan geometrías simplificadas, ya sean en dos o tres dimensiones, que permiten estudiar la circulación del fluido dentro de la matriz observando los valores de velocidad y presión en el sistema. A raíz de los resultados se proponen cambios en la geometría que en forma automática permita mejorar la uniformidad de los resultados en cuanto a velocidades de circulación.

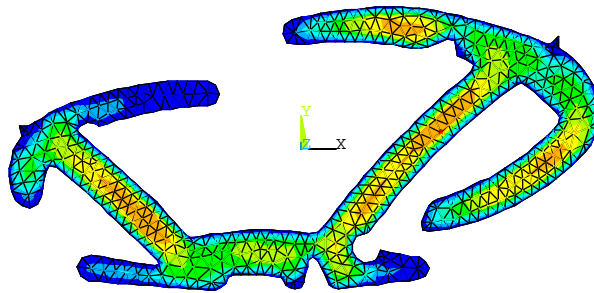


Figura 3. Ejemplo de simulación, realizada con ANSYS®, donde se muestra el gradiente de velocidad en la sección de salida durante la extrusión de una guía.

Las simulaciones realizadas muestran que, con este análisis, únicamente es posible explicar los fenómenos que dependen de la velocidad del material dentro de la matriz de extrusión: la ruptura del fundido, la acumulación de material en los extremos y la denominada *piel de tiburón*. Para comprender el fenómeno del hinchamiento, se propone la implementación de técnicas de simulación numérica para caracterizar el comportamiento elasto-viscoplástico de los elastómeros.

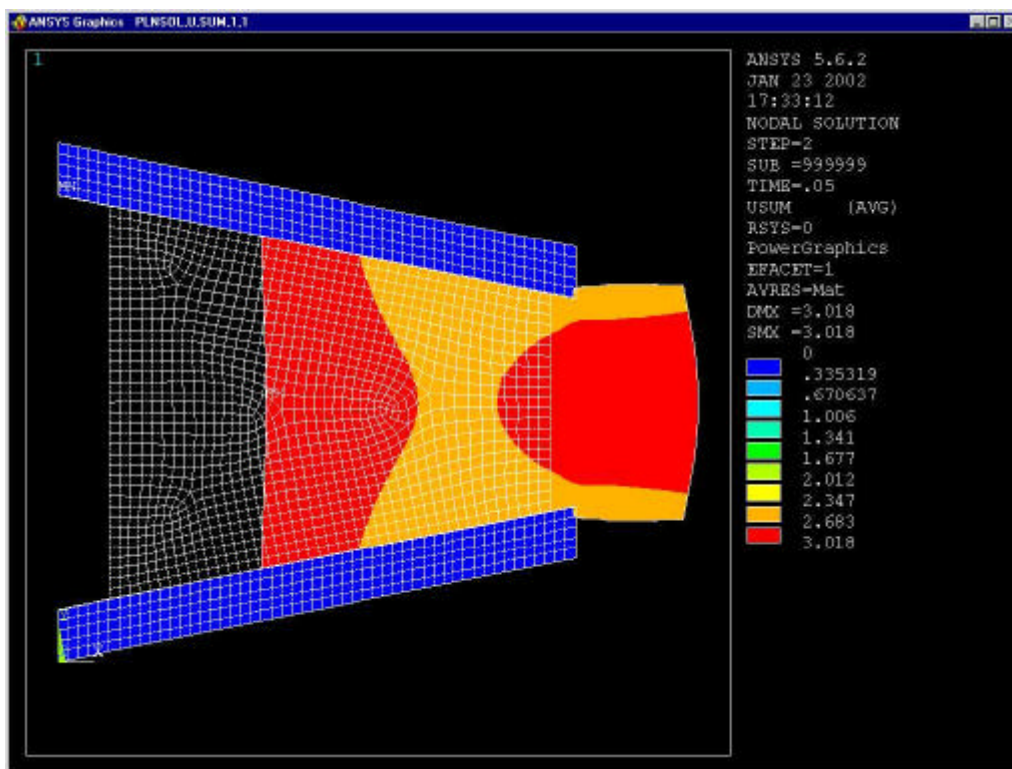


Figura 4. Ejemplo de simulación, realizada con ANSYS®, donde se muestra el hinchamiento producido en la salida.

A diferencia del anterior, este modelo matemático tiene en cuenta la fricción del material con las paredes de la matriz y en las simulaciones realizadas (Figura 4 y Figura 5), se observa el fenómeno de hinchamiento en la salida del material.

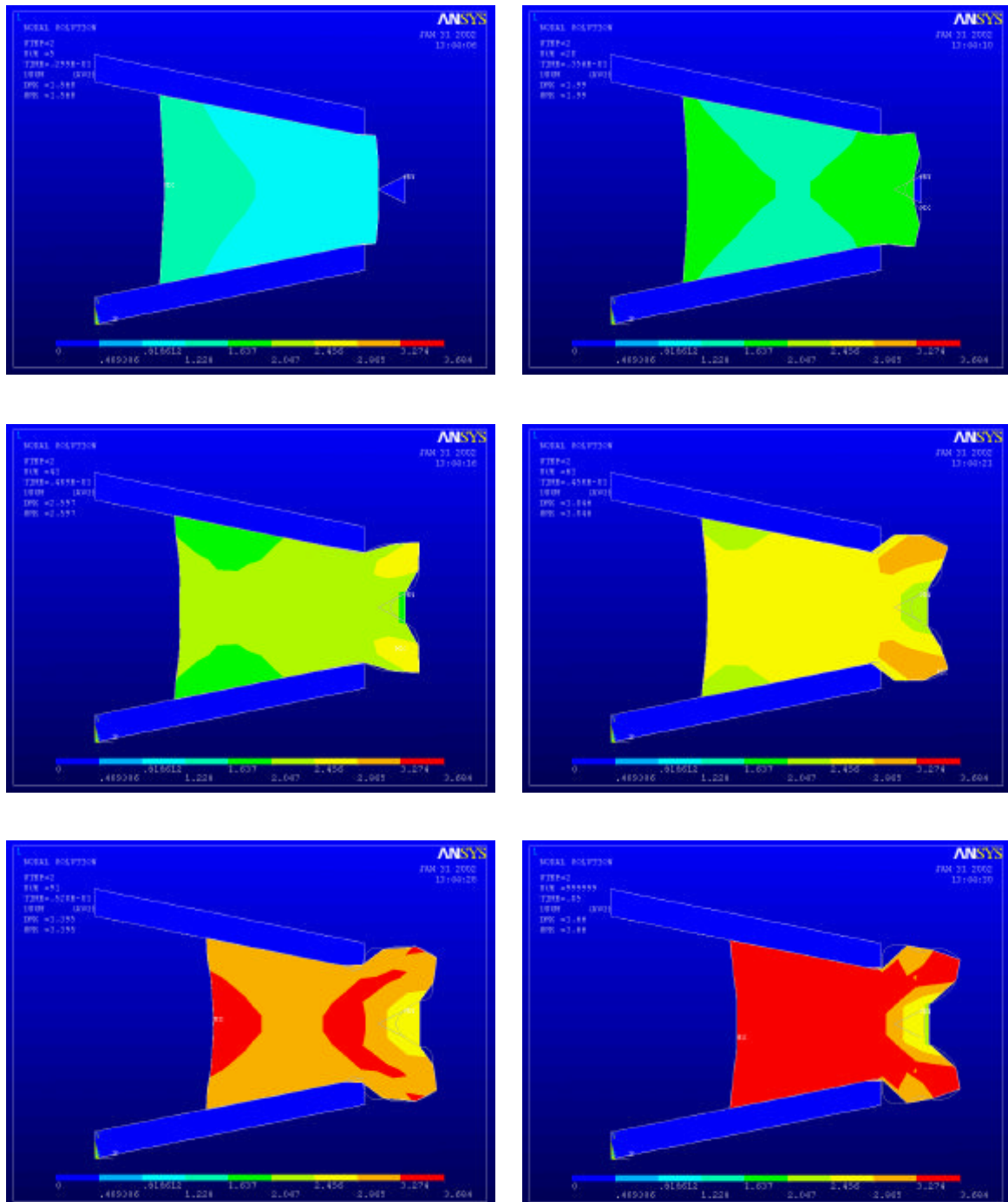


Figura 5. Proceso de salida del material con obstáculos, para un modelo elasto-viscoplástico con una simulación realizada en ANSYS®.

#### **4. CONCLUSIONES**

Las técnicas de simulación numérica propuestas suponen un avance en el diseño del utillaje para la extrusión de gomas. Las principales ventajas son las siguientes:

- ◆ Reducción de costes en la etapa de diseño del utillaje como consecuencia de la disminución del número de prototipos y pruebas realizadas y de la materia prima desechada durante las pruebas de ajuste.
- ◆ Disminución del plazo requerido para la puesta en marcha de un nuevo sistema de hilera para la inyección de un nuevo perfil, fruto del menor tiempo empleado en el diseño de las piezas.
- ◆ Mejora de la calidad del producto terminado, consecuencia de la reducción de incertidumbre respecto al trabajo realizado.

Además, con el uso de un ordenador y sin realizar prototipos ni pruebas en la línea de producción, se pueden mejorar y probar nuevas ideas.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean expresar el agradecimiento al Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través del proyecto 2FD1997-1575, y al Primer Plan Riojano de I+D de la Comunidad Autónoma de La Rioja por su contribución a la financiación parcial de estos trabajos.

#### **6. REFERENCIAS**

- Douglas, A.; 1997. POLYFLOW: a Treatise on Inverse Die/Mandrel Design for High Consistency Silicone Elastomer.
- Langtangen, H.; 1999. Computational Partial Differential Equations: Numerical Methods and Diffpack Programming.
- Michaeli, W.; 1994. Extrusion Dies for Plastics and Rubber.
- Morton – Jones, D.H.; 1992. Procesamiento de plásticos
- Thomas, M.; 1997. Extrusion of Rubber: Prediction of Die Swell.



## **7. CORRESPONDENCIA**

Joaquín B. Ordieres Meré

Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad de La Rioja

C/ Luis de Ulloa 20, 26004 - LOGROÑO, LA RIOJA

E-mail: [joaquin.ordieres@dim.unirioja.es](mailto:joaquin.ordieres@dim.unirioja.es)