

# APLICACIÓN INDUSTRIAL DE MODELOS NUMÉRICOS DE EXTRUSIÓN DE ALUMINIO

Juan M. Torres Zanardi\*, Ana Scarabino\*, Federico Bacchi\* y Luciano Principi †

\*Grupo de Fluidodinámica Computacional - GFC, Universidad Nacional de La Plata

† MADEXA S.A

## Aplicaciones de perfiles de aluminio

Por su versatilidad, resistencia, bajo peso y resistencia a la corrosión, los perfiles de aluminio tienen numerosas aplicaciones:



Construcción

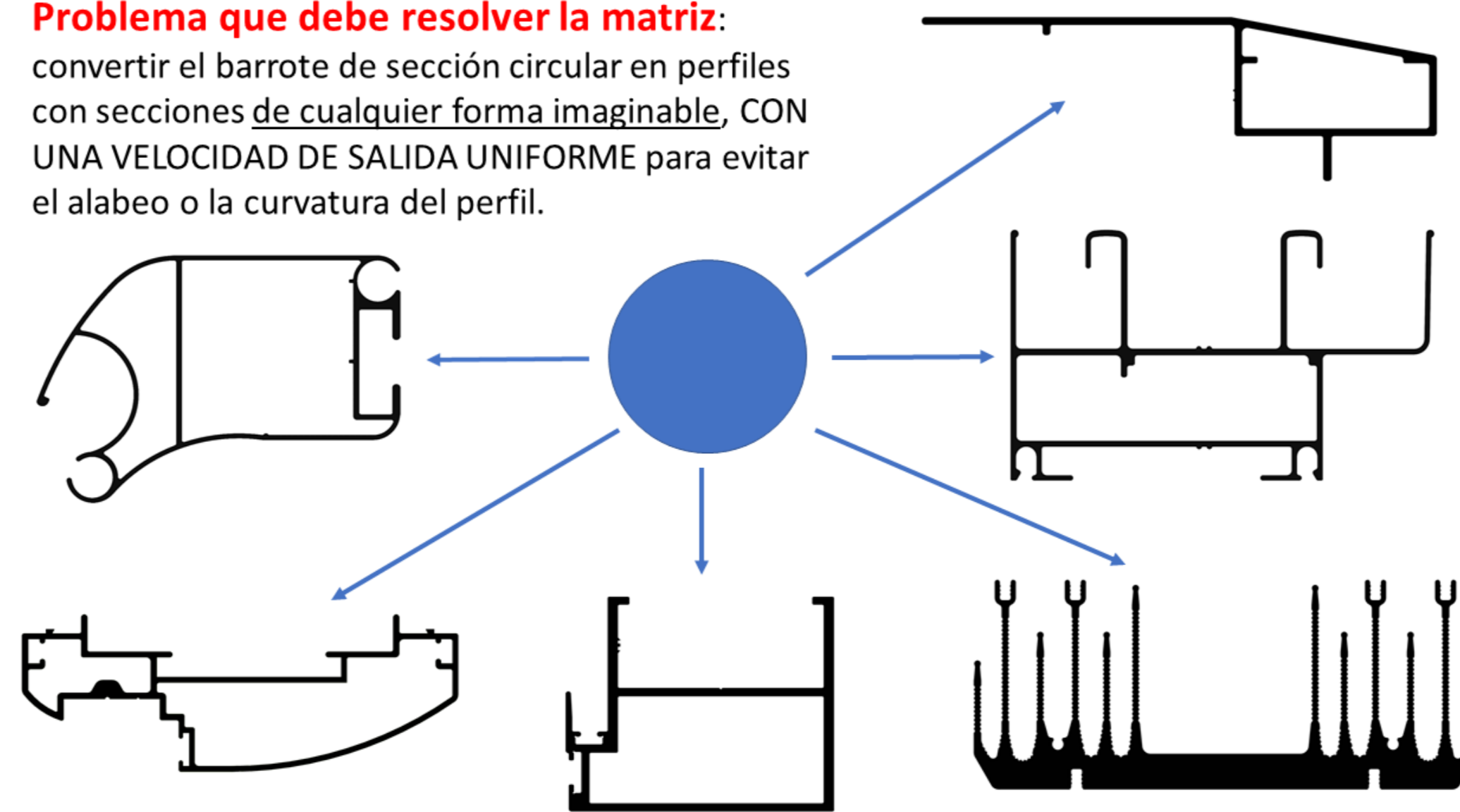


Rieles para cortinas, cerramientos, iluminación



Puertas, cortinas, ventanas

**Problema que debe resolver la matriz:**  
convertir el barrote de sección circular en perfiles con secciones de cualquier forma imaginable, CON UNA VELOCIDAD DE SALIDA UNIFORME para evitar el alabeo o la curvatura del perfil.



**Metodología: Modelo matemático, material viscoplastico.**

Flujo de Stokes, fluido no newtoniano. Tensiones isotropas pero con variación no lineal con la velocidad de deformación y la temperatura del material.

Cons. de masa  $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$

Cantidad de Movimiento  $\nabla \cdot (-P\mathbf{I} + \boldsymbol{\sigma}(\dot{\gamma}, T)) = 0$

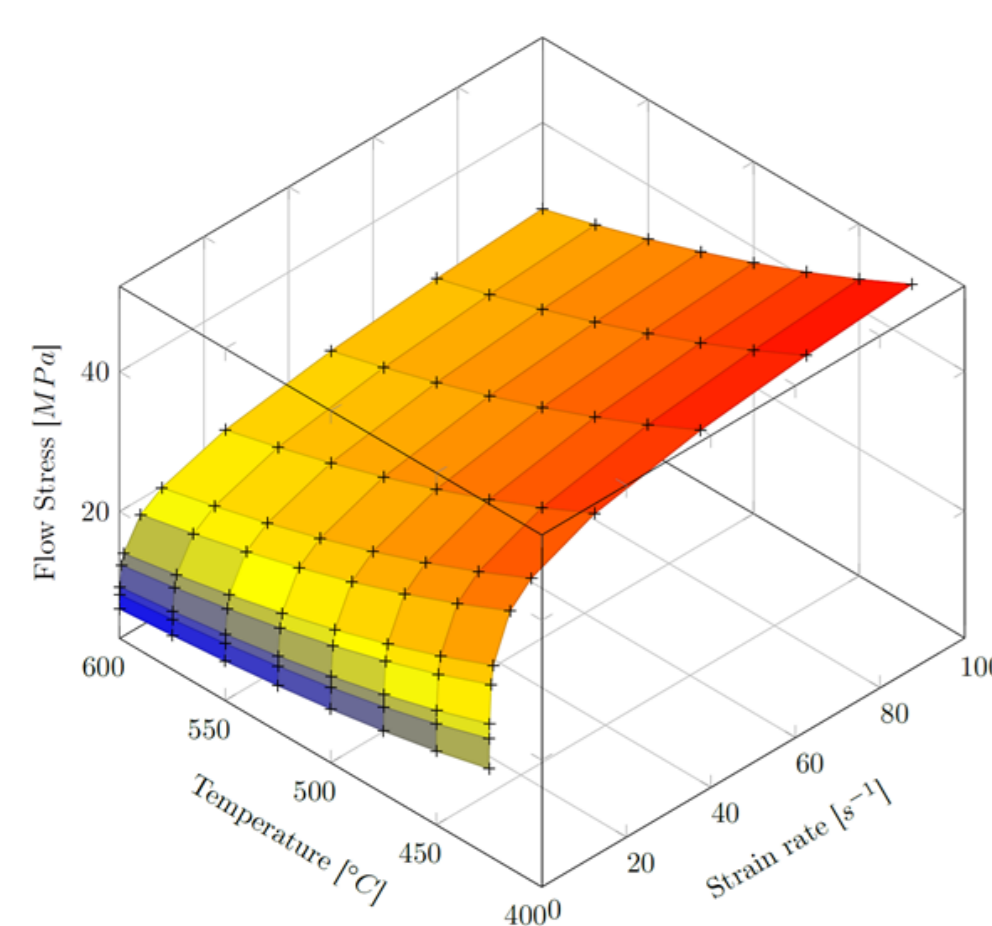
Energía  $\rho C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho(\mathbf{V} \cdot \nabla)T + \nabla \cdot (k\nabla T) + \boldsymbol{\sigma}(\dot{\gamma}, T) : \mathbf{D}$

Con  $\dot{\gamma} = \left(\frac{2}{3}D_{ij}D_{ij}\right)^{1/2}$ , con  $\mathbf{D} = \frac{1}{2}(\mathbf{V}\mathbf{V} + \mathbf{V}\mathbf{V}^T)$

Existe un fuerte acoplamiento de la ecuación de conservación de energía con las de cantidad de movimiento.

Planteo por Elementos Finitos con formulación ALE (Arbitrary Lagrangean – Eulerian).

## Relación tensión – velocidad de deformación – temperatura



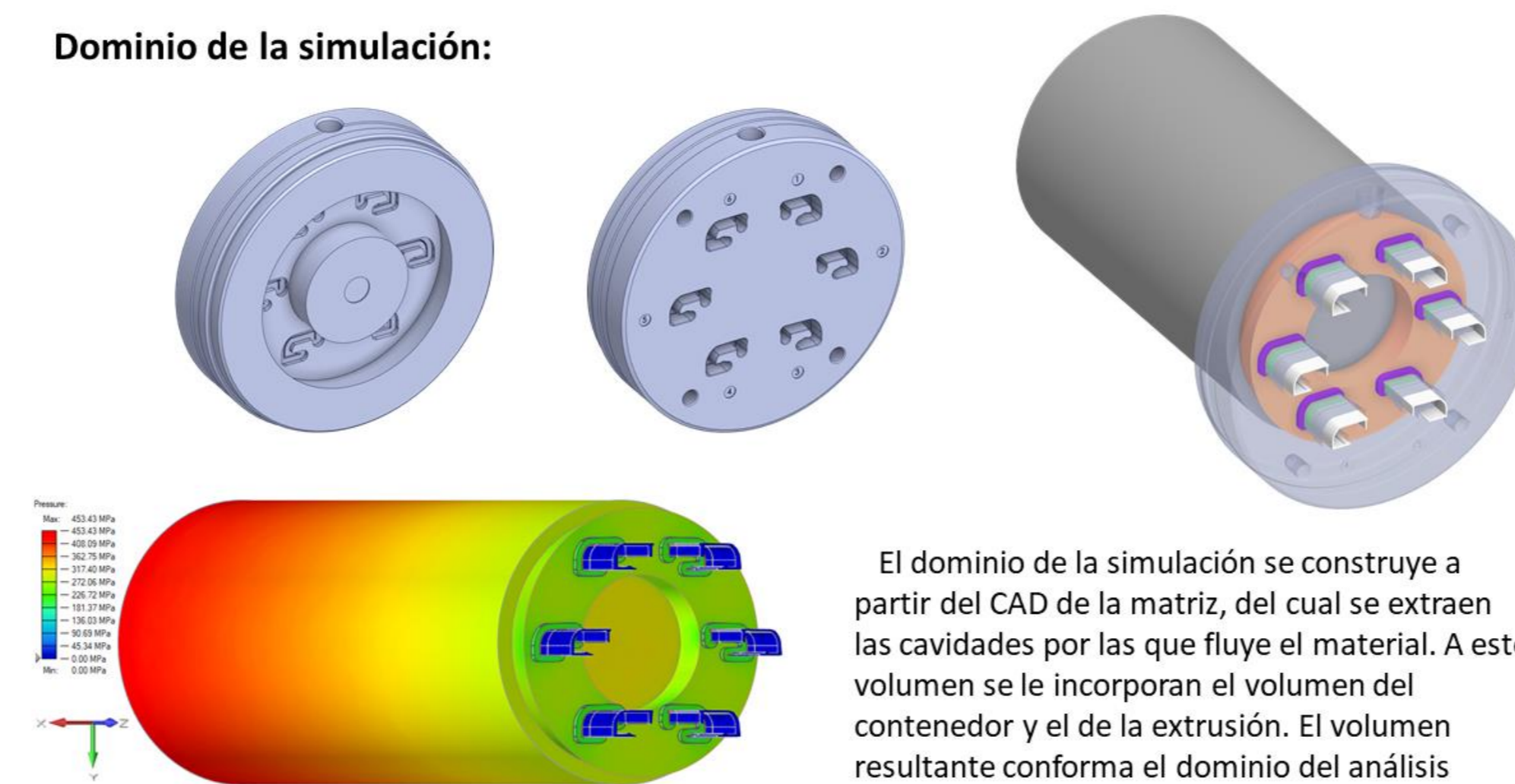
**Modelo "Arcoseno hiperbólico" (Zener-Hollomon)**

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\alpha} \sinh^{-1} \left[ \frac{1}{A} \dot{\gamma} e^{\frac{Q}{RT}} \right]^{\frac{1}{n}}$$

A, α, y n son constantes del material, Q la energía de activación, R es la constante universal de los gases, y T es la temperatura local de la deformación.

Modelos más sofisticados incluyen la dependencia (menor) de las tensiones con la deformación (viscoelastoplásticos), pero los modelos viscoplasticos como el presentado tienen amplia utilización.

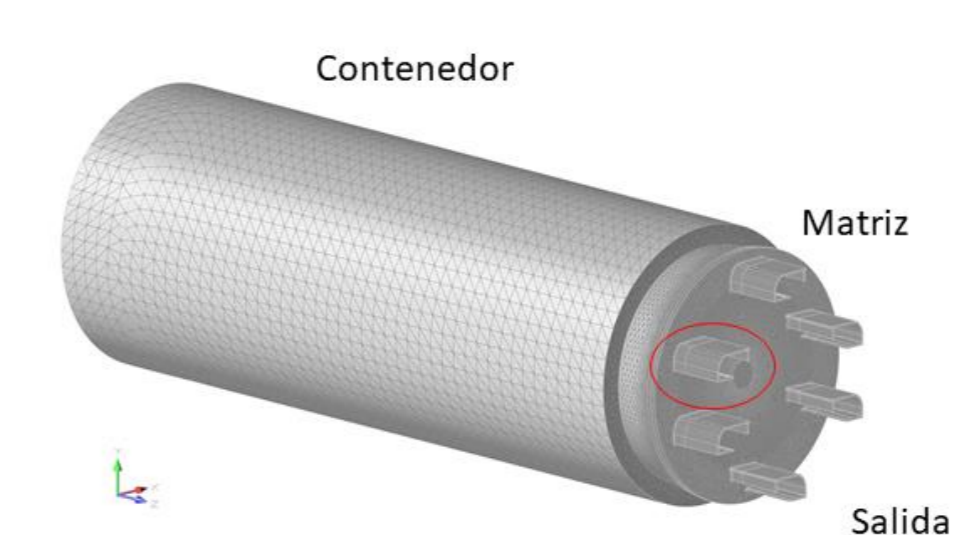
## Dominio de la simulación:



El dominio de la simulación se construye a partir del CAD de la matriz, del cual se extraen las cavidades por las que fluye el material. A este volumen se le incorporan el volumen del contenedor y el de la extrusión. El volumen resultante conforma el dominio del análisis numérico realizado.

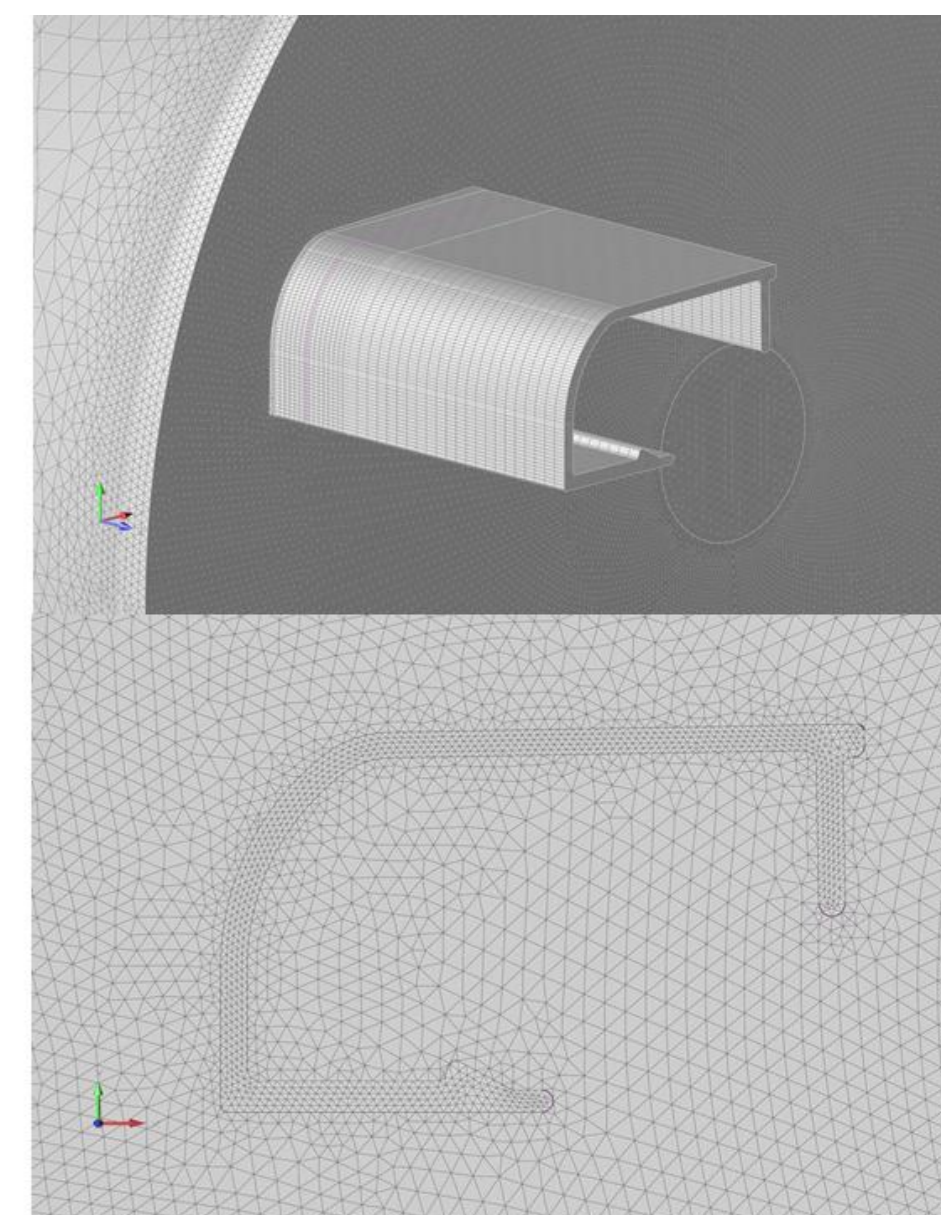
CB: Velocidad del pistón en entrada – Presión atm. en salida

## Mallado:



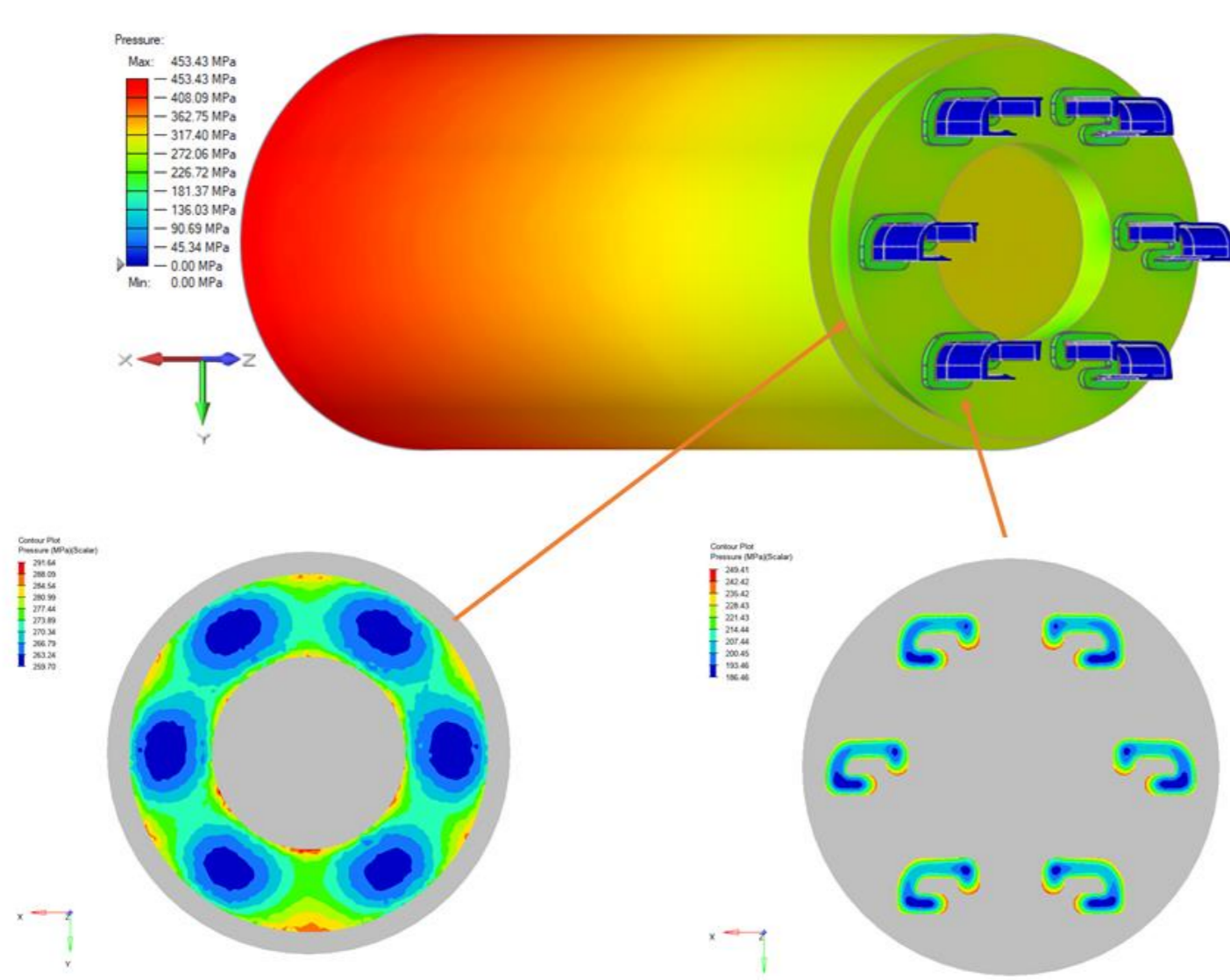
Malla híbrida con elementos tetraédricos, excepto en la salida del perfil, donde se utilizan prismas alineados con la dirección de extrusión.

Típicamente 2-3 E6 elementos.



## Resultados:

Los resultados incluyen todo el campo de presiones, temperaturas, velocidad de fluencia del material, tensiones locales, etc.

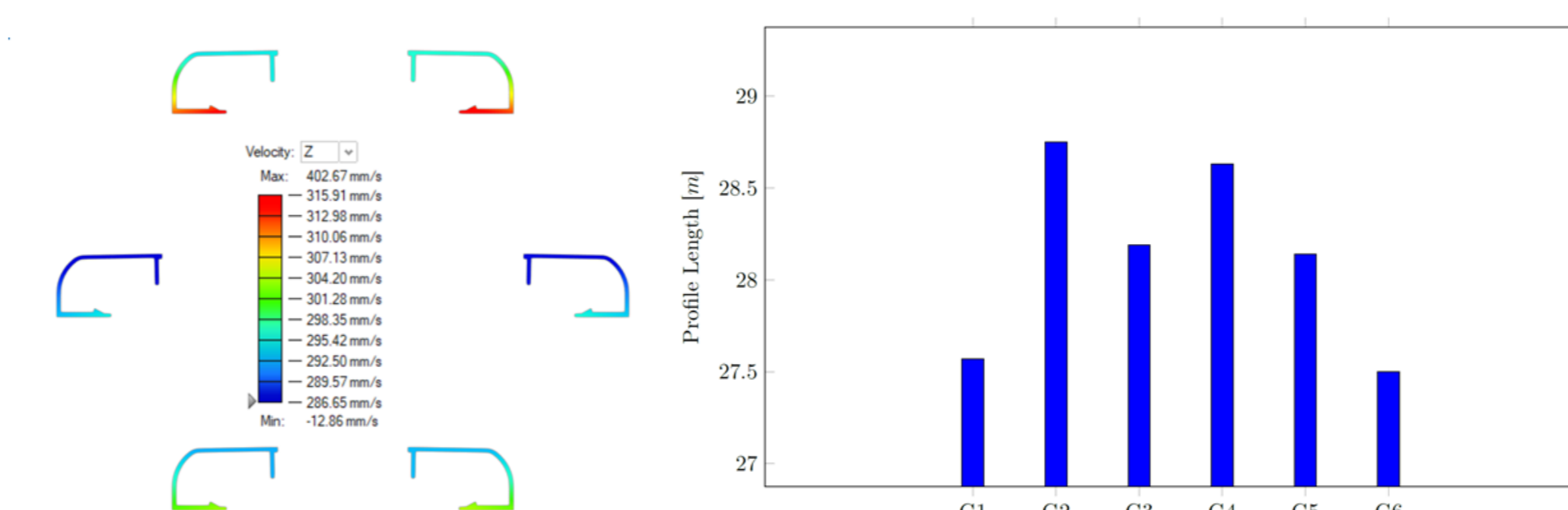


Ej. Distribución de presiones en distintas secciones del dominio

Si se impone como CB la velocidad de desplazamiento del pistón, se obtiene como resultado la fuerza ejercida por la prensa, y viceversa

## Resultados:

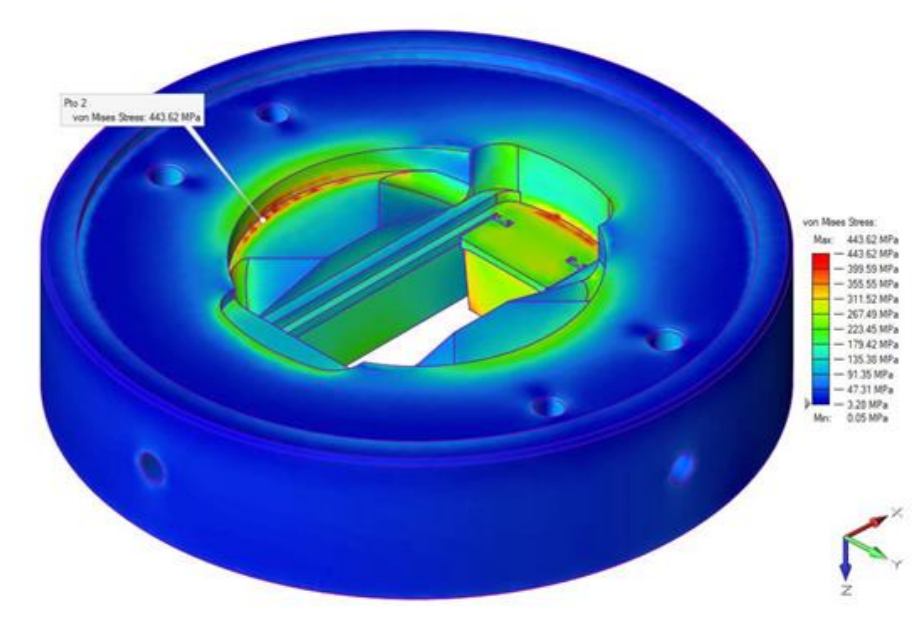
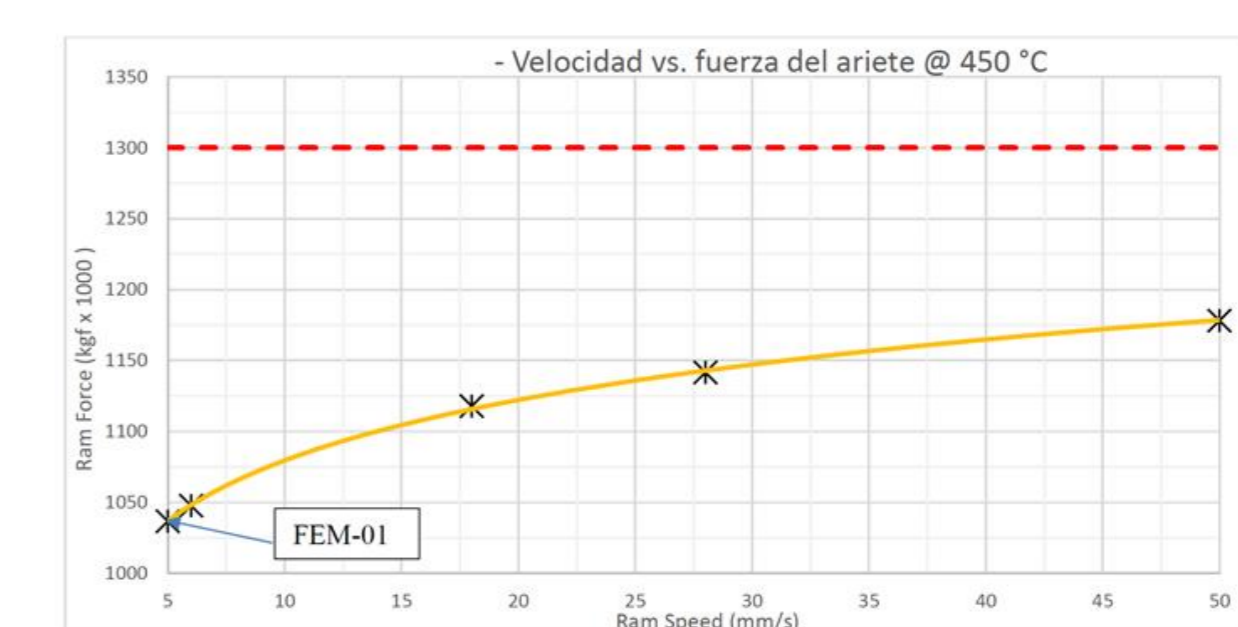
En el caso de matrices para múltiples perfiles, puede calcularse la longitud final de cada uno de ellos (diferencias debidas a variaciones en las velocidades de salida)



## Resultados:

Otros resultados de interés en el diseño de la matriz:

Análisis de tensiones y deformaciones en la matriz:

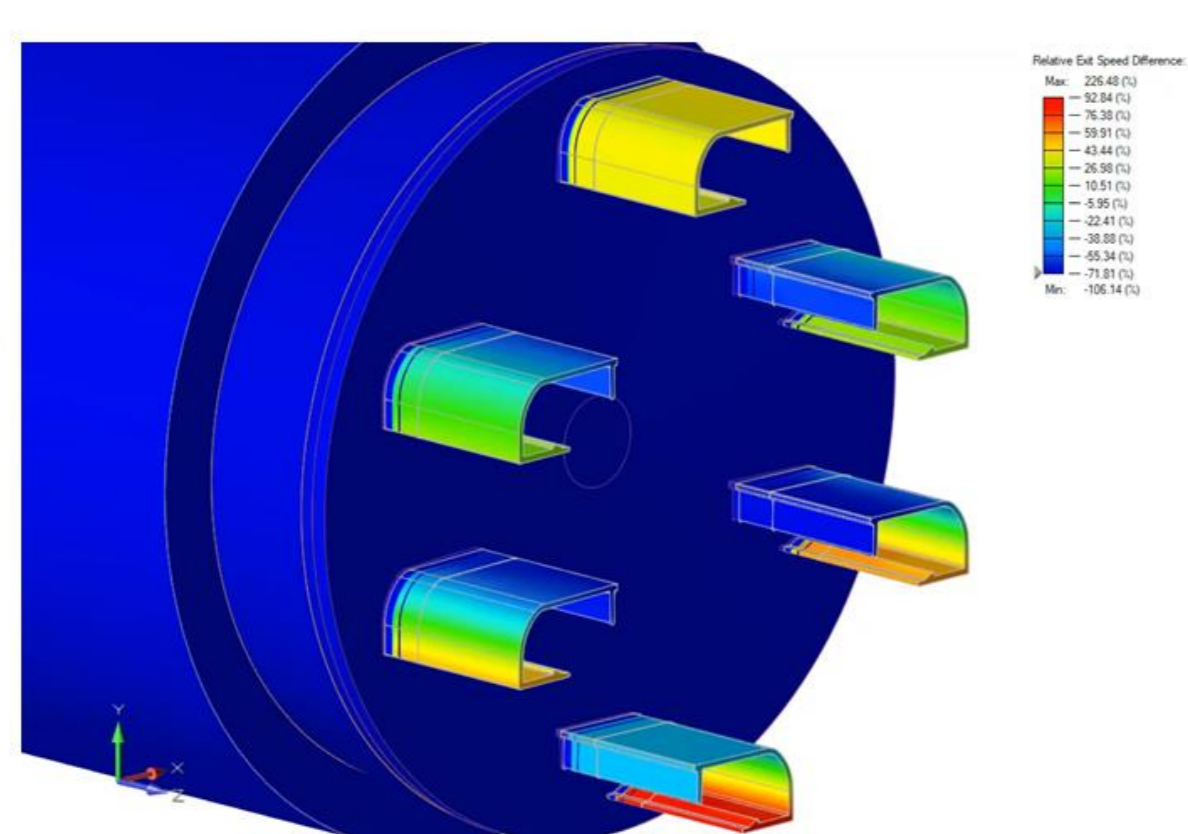


Variación de la fuerza de la prensa con la velocidad de avance, para distintas temperaturas del material

## Resultados:

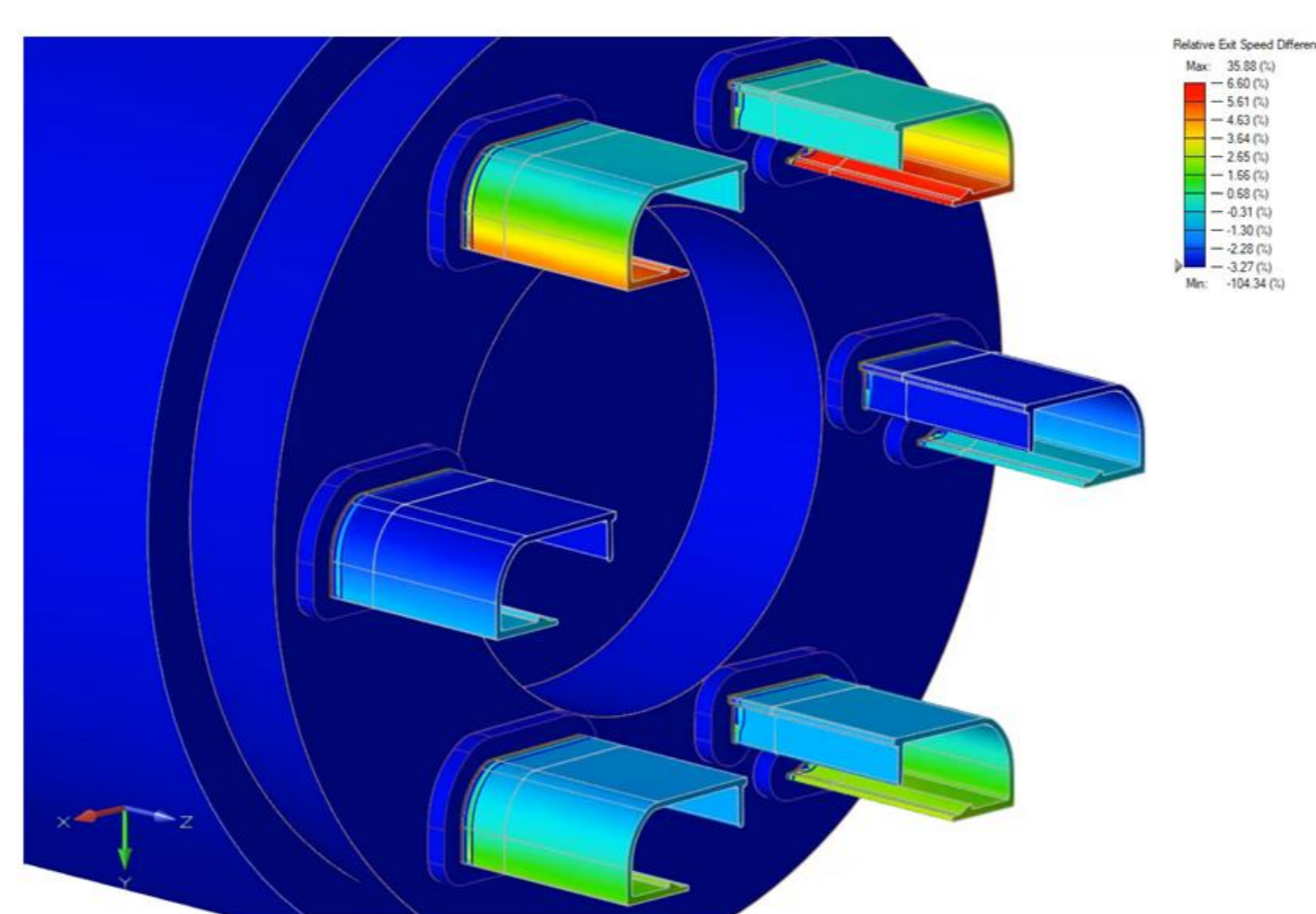
A partir de la distribución de velocidades en la salida, se puede predecir la deformación que sufrirá cada perfil:

Diseño preliminar: grandes variaciones locales de velocidad (70%) producen deformaciones importantes:



## Resultados:

Un rediseño de la matriz en función de los resultados previos redujo las variaciones de velocidad a -3% / +6%



## Conclusiones:

- Se ha descrito el proceso de simulación numérica de la extrusión de perfiles de aluminio, con las complejidades matemáticas del modelado del metal sometido a grandes deformaciones viscoplasticas.
- Se han mostrado algunas de las posibilidades de análisis que permiten las herramientas de la Mecánica de Fluidos Computacional y el análisis numérico estructural para estos problemas.
- Se presentó un caso real para el cual, en función de los resultados numéricos, fue posible rediseñar una matriz que mejoró significativamente la calidad de los perfiles producidos con ella.
- La utilización de herramientas numéricas para la evaluación y el rediseño de matrices ha probado en la práctica ser rentable para una Pyme local, al reducir los costos y tiempos asociados a la construcción, entrega, prueba y recuperación de una matriz que requiere rediseño.
- Adicionalmente, el diferencial en la calidad de sus productos obtenido gracias a la simulación redunda en una mayor satisfacción de los clientes y contribuye a una imagen empresarial innovadora.