

Tema A4 Termofluidos: Extruder cylinder thermal analysis

Simulación numérica computacional del cilindro de una extrusora

Tlatelpa-Becerro A^{1,5*}, Alarcón-Hernández F.B², Fuentes-Albarran M.C², Gadea-Pacheco J.L²,
Ciprian-Rosario M³, Reynoso-Jardón E.L⁴, Cortes S¹, Salgado A¹, Parrilla L², Villanueva G²,
Guzmán F²

¹Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla-UAEM, Yecapixtla, Morelos, C.P. 62820, México.

²Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc-UAEM, Ayala, Morelos, C.P. 62717, México

³Instituto Tecnológico de Zacatepec, Zacatepec de Hidalgo, Morelos, C.P. 62780, México.

⁴Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, Chihuahua, C.P. 32310, México.

⁵Universidad Politécnica de Atlautla, Atlautla, Edo. México, 56970, México.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presentan simulaciones numéricas computacionales para conocer el comportamiento térmico del cilindro de una extrusora. Las simulaciones se desarrollaron en el software SOLIDWORKS con la herramienta Fluid Simulation para tres materiales: Cobre, Acero al Carbono y Titanio. Un estudio de independencia de malla se desarrolló para conocer el número y tamaño de celdas para el mejor mallado. Los resultados de las simulaciones permitieron conocer que los tres materiales alcanzan las temperaturas deseadas en el cilindro para el procesado del PET. Al considerar el efecto de la corrosión por condiciones climáticas, el mejor material para propuesta de diseño se ha considerado al Titanio. Este modelo computacional puede ser considerado como una herramienta para la selección de nuevos materiales para el análisis térmico.

Palabras Clave: Simulación numérica computacional, análisis térmico, máquina extrusora.

ABSTRACT

In this research work, computational numerical simulations are presented to know the thermal behavior of the cylinder of an extruder. The Simulations were developed in SOLIDWORKS software with the Fluid Simulation tool for three materials: Copper, Carbon Steel, and Titanium. A mesh Independence study was developed to know the number and size of cells for the best mesh. The simulation results show that the three materials reach the desired temperatures in the cylinder for the processing of PET. When considering the corrosion effect due to weather conditions, the best materials for design proposals have been considered the Titanium. This computational model can be used as a tool for the selection of new materials for thermal analysis.

Keywords: Numerical simulation computational, thermal analysis, extruder machine.

*Corresponding author. E-mail: angel.tlatelpa@uaem.mx

1. Introducción

Una extrusora es una máquina que emplea un proceso de transformación plástica denominado extrusión, el cual aplica presión y calor a un polímero mediante un tornillo sin fin, impulsado por un motor eléctrico que transporta el material hacia un cabezal que da una forma deseada por medio de un molde [1]. Además, resistencias eléctricas son implementadas para suministrar energía para la fundición del polímero.

Derivado a que hay una gran producción de PET y que provoca contaminación ambiental, es necesario hacer diseños de nuevos prototipos tales como la extrusora que permitan reducir esta gran cantidad de material.

Aunque existen diferentes investigaciones sobre simulación de extrusoras. Algunos se han enfocado a analizar la fricción para calcular la fuerza de punzón [2]. Algunos otros han realizado modelados y simulaciones numéricas para conocer el comportamiento del flujo para propuestas de diseños del tornillo sin fin [3-5]. Mientras que otros autores han modelado y realizado simulaciones para extrusión del aluminio para obtener mayor productividad en la industria [6-8]. Es por ello, que se requiere la aplicación de nuevos materiales que constituyan el cilindro de la extrusora para alcanzar las temperaturas deseadas para la fundición del PET para el proceso de inyección.

En este trabajo de investigación, se presentan simulaciones numéricas computacionales en estado estacionario de una extrusora con el uso del software SOLIDWORKS. Para conocer su comportamiento térmico, se ha considerado el Cobre, Titanio y el Acero al Carbono como material del cilindro.

2. Metodología

2.1 Geometría del extrusor y materiales

En la Figura 1 se puede observar el modelo físico del extrusor que se simula numéricamente para tres materiales distintos con sus respectivas propiedades térmicas: Cobre, Titanio y Acero al Carbono, Tabla 1. Las dimensiones del cilindro del extrusor corresponden a 50 cm de longitud y 3.4 cm de diámetro. Este cuenta con cuatro resistencias térmicas de 3.5 cm de ancho que rodea al cilindro, separadas a 4.9 cm entre cada una. La potencia que emite cada una de las resistencias equivale a 280 watts.

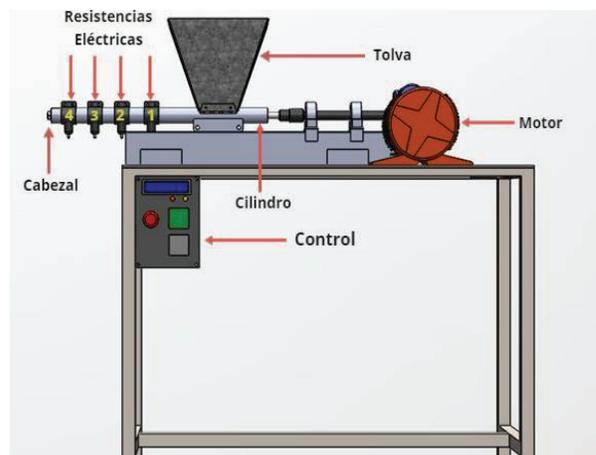


Figura 1. Extrusor a modelar numéricamente.

Tabla 1. Propiedades físicas de los materiales. [8-9].

Material	Conductividad térmica, k (W/m K)	Densidad, ρ (g/cm ³)	Calor específico, C (kJ/kg K)
Cobre	385	8.95	0.38
Titanio	21.9	4.54	0.52
Acero al carbono	54	7.85	0.465

2.2 Simulación numérica

2.2.1 Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

La dinámica de fluidos computacional permite simular de manera rápida y eficaz ahorrando tiempo y costos de desarrollo. Aquí se aplica a la transferencia de calor para el caso particular de este trabajo. Para esto, las simulaciones numéricas se desarrollan para el análisis de la transferencia de calor. Se utilizó el Software Especializado SOLIDWORKS con la herramienta de Fluid Simulation. Esta herramienta resuelve la ecuación de energía de conducción de calor con la siguiente expresión matemática:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q_H \quad (1)$$

Donde:

e es la energía interna específica ($e = cT$).

c es el calor específico.

ρ es la densidad.

Q_H es la velocidad de emisión o absorción de calor específico por unidad de volumen.

λ son los valores propios del tensor de conductividad térmico.

i es la dirección de la coordenada i -th.

T es la temperatura.

2.2.2 Malla computacional y condiciones de simulación.

La transferencia de calor en sólidos y fluidos con intercambio de energía entre ellos es un elemento fundamental e implícito del software en la Dinámica de Fluidos Computacional. El software de SOLIDWORKS con la herramienta de Flow Simulation se usó para el estudio de independencia de malla. Una de las variables para determinar el tamaño de malla fue la temperatura. Para esto, se consideró un mallado tipo estándar para cinco cantidades de elementos de malla (73880, 68954, 66873, 65134). Al realizar la comparación entre los valores de temperatura en la salida del cilindro de la extrusora, se encontró un error relativo aproximado del 0.81 %. Por lo tanto, el tamaño de las celdas para este trabajo de investigación se considera de 73880. Ver Figura 2.

En el estudio se consideró que no hay cambios en las condiciones del sistema con respecto a el tiempo (estacionario). Las condiciones de frontera aplicadas corresponden para las resistencias eléctricas con una potencia calorífica de 280 Watts cada una. Temperatura inicial del cilindro de 300 K. Para el cálculo de los flujos de calor (heat flux) en el cilindro, se usaron las propiedades físicas de los materiales, ver Tabla 1.

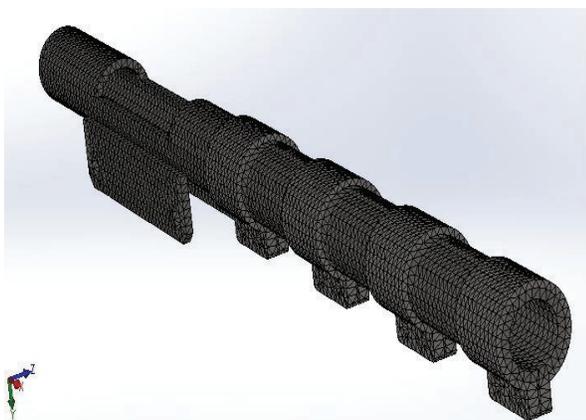


Figura 2. Mallado del cilindro del extrusor.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones numéricas computacionales. La Figura 3 se muestran los resultados de la simulación del cilindro para el material de Titanio. La temperatura máxima alcanzada es de 760 °C cercano al cabezal que corresponde a la posición de la resistencia 4. En la posición de la resistencia 3 se cuenta con una temperatura aproximada de 673 °C, mientras que en la resistencia 2 y 1 que son de menor temperatura corresponde a una magnitud de 544 y 457 °C, respectivamente.

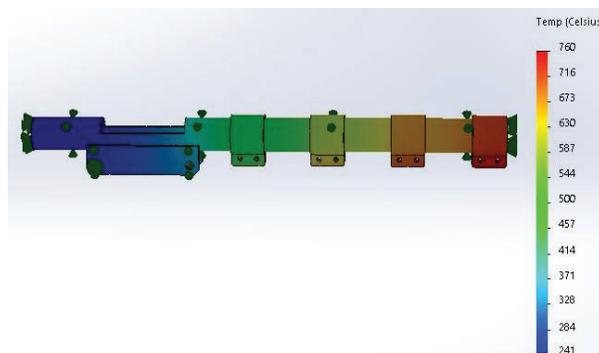


Figura 3. Extrusora con cilindro de Titanio.

En la Figura 4 se presenta la simulación computacional para el cilindro con material de Acero al carbono. La temperatura máxima alcanzada corresponde a 998 °C. Posteriormente la temperatura en la resistencia 3 es de 839 °C. Para la resistencia 2 y 1 se tiene una temperatura aproximada de 681 y 522 °C, respectivamente.

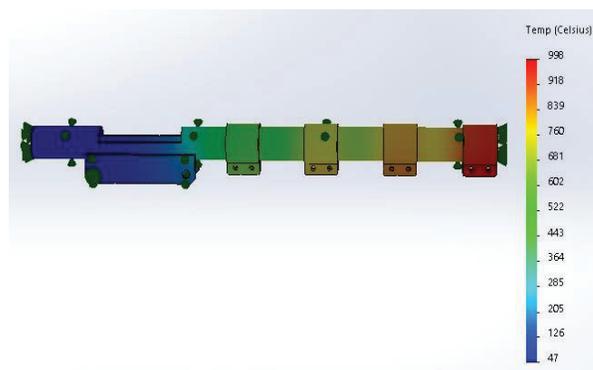


Figura 4. Extrusora con cilindro de Acero.

Para el caso del cilindro con material de Cobre, la temperatura máxima alcanzada es de 1080 °C cercano al cabezal. Para la resistencia 3 la temperatura presenta una magnitud de 905 °C. Mientras que la resistencia 2 la temperatura es de 730 °C y, por último, en la resistencia 1 se cuenta con una temperatura aproximada de 555 °C.

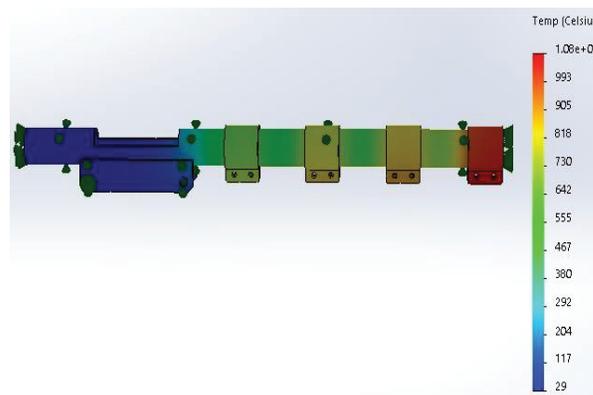


Figura 5. Extrusora con cilindro de Cobre.

Las simulaciones descritas son un modelo de referencia para simular el comportamiento de transferencia de calor en el cilindro de la extrusora para diferentes materiales. Este modelo de simulación puede convertirse en una valiosa herramienta computacional para el diseño optimizado de las extrusoras buscando el material adecuado que reduzca los costos de inversión y operación. Para este caso, los costos de operación se deben contemplar los efectos de corrosión por las incrustaciones de agentes extraños al material que pueden provocar daños, limitando la transferencia de calor y por ende el ciclo de vida de la extrusora [11,12].

En este estudio, el material que presenta una mejor transferencia de calor en el cilindro con mayor temperatura es el material de Cobre. Este material, sin embargo, es propenso a sufrir efectos derivados a los fenómenos de corrosión cuando es expuesto a condiciones de climas con alta humedad. Derivado a esto, se deben contemplar otros materiales que sean más resistentes al efecto de la corrosión.

Por lo tanto, el segundo material que presenta mejor eficiencia en la transferencia de calor es el Acero al Carbono. Este puede presentar un mejor compromiso al considerar los gastos de operación y funcionamiento, así como en su ciclo de vida de la extrusora en comparación a la del Cobre.

El material de Titanio que corresponde al tercer material considerado en este trabajo. Presenta la menor eficiencia en la transferencia de calor comparado con los otros dos materiales. Pero es el que presenta una excelente resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes, esto como resultado de su estable capa protectora de óxido de Titanio. Aunque suele ser de mayor costo de adquisición puede remplazar a los otros dos materiales, ya que la temperatura ideal para realizar la fundición de PET requiere como un máximo de 260 °C en temperatura para su fundición. El costo de este material puede compensarse con su ciclo de vida, por lo que podría proponerse como concepto de diseños en extrusoras.

Para este trabajo, es donde este tipo de modelos de simulación numérica computacional cobra cada vez más importancia. Esto permite probar diferentes materiales y condiciones de una manera sencilla y económica que se refleja en tiempo y costo computacional con respecto de otros.

4. Conclusión

Se han desarrollado tres simulaciones numéricas computacionales de un cilindro de una extrusora en 3D bajo diferentes materiales en el Software Especializado SOLIDWORKS.

Los resultados han mostrado que el mejor material para implementarse en propuestas de diseño es el Cobre. Derivado a al ataque corrosivo que puede sufrir por las condiciones de clima a las que puede exponerse, se considera el Titanio a pesar de que es un material de alto costo. Este puede contribuir a un ciclo de vida de mayor duración. Así mismo, el Acero se puede considerar bajo la premisa que podría tener menor ciclo de vida en comparación al Titanio.

Este modelo de simulación computacional se ha probado con éxito, logrando un modelo general y a su vez robusto. Este modelo, puede convertirse en una herramienta para propuestas de diseño para la selección de otro tipo de materiales y/o aleaciones que permitan obtener una mejor transferencia de calor en el cilindro de la extrusora y a su vez de adquisición económica para su implementación y operación.

REFERENCIAS

- [1] J. Núñez, A. Beltrán, R. Gudiño, Memoria del XXIV congreso internacional anual de la SOMIM, TF1-5 (2018).
- [2] A. L. Moraes, U. Souza, H. Sigvart, *Procedia Manufacturing* 47 (2020) 231–236.
- [3] W. Rolanda, C. Marschika, M. Krieger, B. Löw-Baselli, J. Miethlinger, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 268 (2019) 12–29.
- [4] Q. He, J. Huang, X. Shi, W. Xiao, C. Bi, *Computers and Mathematics with Applications*, 73(2017) 109–121.
- [5] S. Cristian, *Procedia Manufacturing*, 22 (2018) 141–146.
- [6] A. Šupića, A. Bećirović, A. Obućina, M. Zrilić, *Procedia Manufacturing*, 13 (2018) 2077–2082.
- [7] A. Medvedev, A. Bevacqua, A. Molotnikov, R. Axe, *Procedia Manufacturing* 50 (2020) 469–474.
- [8] I. Kniazkin, A. Vlasov, *Procedia Manufacturing* 50 (2020) 433–438.
- [9] A. I. Brown and S. M. Marco. *Introduction to Heat Transfer* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill (1958).
- [10] S. Kakac and Y. Yener, *Heat Conduction* (3rd ed.). United State of America: Taylor and Francis (1993).
- [11] B. Kuźnicka, *Engineering Failure Analysis*, 16(2009) 2382–2387.
- [12] K. Ranjbar, *Materials and Design*, 31(2010) 613–19.