

Análisis térmico aplicado en boquillas metálicas para impresoras 3D con filamento de PET mediante SolidWorks

Thermal analysis applied in metallic nozzles for 3D printers with PET filament using SolidWorks

Yordi E. Rodríguez Domínguez ^a, Carlos E. Borja Soto ^b, Aldo Aguilar Gallegos ^c, Justo F. Montiel Hernández ^d, Rodrigo Cruz Trejo ^e, José L. Rodríguez Muñoz ^f

Abstract:

This work presents a study on the thermal behavior of M6 nozzles with a 0.4 mm diameter bore, which are used in printers based on the fused deposition molding (FDM) technique for processing polyethylene terephthalate (PET) filament. Thermal analyses were performed using SolidWorks version 2022. The following metallic materials were assigned to the three-dimensional model: 316L stainless steel, UNS 22000 bronze, commercial brass, and copper. The thermal analyses performed were established because the use of various materials for the manufacture of nozzles changes due to the differences in thermal conductivity between said materials. Furthermore, there is no information reported in the literature on this matter. The working temperature of the nozzle for the thermal simulation was set to 498.15 K (220 °C), which is the working temperature for PET processing. The thermal behavior of the nozzles was analyzed based on data obtained from the finite element numerical simulation when a heat flux of 2450 W/m² entered the nozzle at the connection surface to the heating unit. The experimental results indicated that the analysed nozzles have a similar thermal behavior, since the temperature difference at the nozzle tip is less than 0.2% with respect to the area where the heat flux enters. The estimation of the specific heat to achieve the increase in temperature in the nozzles from 298 K (25 °C) to the working temperature (498.15 K) indicated that brass has a better performance because it requires less energy, Q = 469.4 W.

Keywords:

Nozzle; 3D printing; SolidWorks; temperature analysis; thermal conductivity.

Resumen:

Este trabajo muestra un estudio acerca del comportamiento térmico de las boquillas M6 con barreno de 0.4 mm de diámetro, las cuales son usadas en las impresoras basadas en la técnica de moldeado por deposición fundida, FDM, para el procesamiento de filamento de tereftalato de polietileno, PET. Los análisis térmicos fueron realizados mediante el programa informático SolidWorks versión 2022. En el desarrollo del modelo tridimensional fueron asignados los siguientes materiales metálicos: acero inoxidable 316L, bronce UNS 22000, latón comercial y cobre. Los análisis térmicos realizados fueron establecidos debido a que el uso de diferentes materiales para la fabricación de boquillas cambia debido a las diferencias en conductividad térmica entre dichos materiales. Además, no hay información reportada en la literatura al respecto. La temperatura de trabajo de la boquilla para la simulación térmica fue establecida a 498.15 K (220°C), la cual es la temperatura de trabajo para el procesamiento de PET. El comportamiento térmico de las boquillas

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México,

<https://orcid.org/0009-0003-0268-2615>, Email: ronaldo.345fer.com@gmail.com

^b Autor de Correspondencia Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0006-3668-7248>, Email: aldo8473aguilar@gmail.com

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México

<https://orcid.org/0000-0001-6890-6069>, Email: justo_montiel@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México,

<https://orcid.org/0009-0001-2907-7605>, Email: rodrigo_cruz@uaeh.edu.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: jose_rodrigo@uaeh.edu.mx

fue analizado a partir de los datos obtenidos de la simulación numérica por elementos finitos al ingresar a la boquilla un flujo de calor de 2450 W/m^2 en la superficie de conexión a la unidad calefactora. Los resultados experimentales indicaron que las boquillas analizadas tienen un comportamiento térmico similar, ya que la diferencia de temperatura en la punta de la boquilla es menor al 0.2% respecto a la zona por donde ingresa el flujo de calor. La estimación del calor específico para lograr el incremento de la temperatura en las boquillas desde 298 K (25 °C) hasta la temperatura de trabajo (498.15 K) indicó que el latón tiene un mejor desempeño debido a que requiere menor cantidad de energía, $Q = 469.4 \text{ W}$.

Palabras Clave:

Boquilla; impresión 3D; SolidWorks; análisis térmico; conductividad térmica.

Introducción

Actualmente, la manufactura de piezas poliméricas mediante impresión en 3 dimensiones es muy usada en la industria de la transformación. Esta técnica permite la obtención de piezas complejas, al igual que otras técnicas de manufactura aditiva, tales como; piezas de sujeción, carcasas para herramientas, pedales, entre otros productos. Cabe mencionar que las piezas obtenidas por impresión 3D pueden dar origen a productos finales y prototipos (Guía de materiales de impresión 3D, 2025). La técnica de moldeado por deposición fundida, FDM, consiste en extruir el material a una temperatura de trabajo, la cual está en función de las propiedades térmicas del material procesado. El material que sale del extrusor por medio de la boquilla metálica es depositado en un sustrato. Por medio de control numérico computarizado, CNC, es posible controlar las posiciones en el sustrato en donde será depositado el material para dar origen a las piezas útiles (Discover 3D Printing, 2025). Las boquillas son usadas en diversos procesos de manufactura para controlar la dirección, presión y caudal de un fluido. Se emplean en diversos procesos industriales como, corte con chorro de agua, extrusión y manufactura aditiva, ya que cada una presenta características específicas de acuerdo a su uso (Spraying Systems Co., 2025). La Figura 1 muestra una boquilla de latón ensamblada mediante roscado en un extrusor de una máquina de impresión 3D de la marca Creality 3S1 que es usada para el procesamiento de filamento de polímeros.

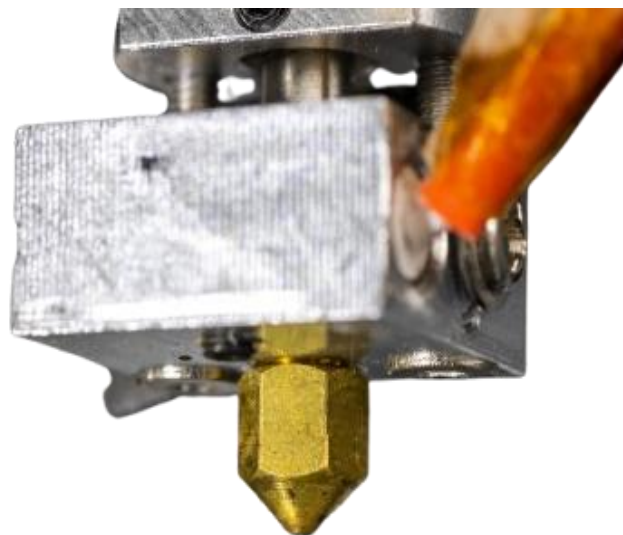


Figura 1. Extrusor de una impresora 3D. Fuente: Hotend en Impresora 3D, 2025.

Los materiales metálicos y sus aleaciones son fundamentales en aplicaciones de la ingeniería, en la cual se prioriza la durabilidad y la conductividad térmica, entre otras propiedades. Los materiales tales como el acero inoxidable, el aluminio y el latón son empleados por sus propiedades; por ejemplo, el acero ofrece una alta resistencia mecánica y a la corrosión, mientras que el aluminio destaca por su ligereza y buena conductividad térmica (Callister et al., 2025). En este sentido, la selección de materiales en la ingeniería es importante para garantizar el funcionamiento de componentes y maquinarias. Por lo tanto, es necesario considerar las propiedades de los materiales tales, como las propiedades mecánicas, térmicas, entre otras (Ashby et al., 2025).

En relación a lo anterior, el diseño mecánico es una disciplina primordial en la ingeniería mecánica para determinar de forma muy aproximada el comportamiento de elementos y sistemas que conforman las maquinarias en determinadas condiciones de operación. Además, a partir del diseño mecánico se establecen las rutas de fabricación para la obtención de productos. Su principal función radica en asegurar que los productos cumplan con

requisitos de seguridad, eficiencia y durabilidad. Existen varios programas informáticos para este fin, entre los que destacan SolidWorks, AutoCAD, Fusión 360, y CATIA entre muchos otros. Tales programas informáticos permiten obtener modelos tridimensionales y simulaciones numéricas por elementos finitos al estar expuestos a condiciones de temperatura y condiciones de esfuerzos, entre otras variables. El programa informático SolidWorks es usado en la industria por su enfoque intuitivo que permite el diseño paramétrico y la posibilidad de generar de planos (Shih, 2020).

Este trabajo muestra un estudio acerca del comportamiento térmico de las boquillas M6 con barreno de 0.4 mm de diámetro, las cuales son usadas en las impresoras basadas en la técnica de moldeo por deposición fundida, FDM, para el procesamiento de filamento de PET. Dicho estudio fue realizado en el programa informático SolidWorks a partir de la obtención de un modelo tridimensional y la asignación de los siguientes materiales metálicos: acero inoxidable 316L, bronce UNS 22000, latón comercial y cobre. Los análisis térmicos realizados fueron establecidos debido a que el uso de diferentes materiales para la fabricación de boquillas cambia debido a las diferencias en conductividad térmica entre estos.

Metodología

Fue obtenido un modelo tridimensional de una boquilla para extrusión para el procesamiento de PET mediante el programa informático de SolidWorks versión 2022 con la finalidad de realizar una simulación de su comportamiento térmico. Las Figuras 2-3 muestran las dimensiones y la geometría de una boquilla comercial M6 con barreno de 0.4 mm de diámetro interior.

La simulación térmica para determinar el comportamiento térmico de la boquilla en diferentes materiales fue realizada considerando el inicio del calentamiento de la boquilla al asignar los siguientes materiales: acero inoxidable 316L, bronce UNS 22000, latón comercial y cobre. Fue establecida una temperatura de trabajo en la boquilla de 493.15 K que es necesaria para el procesamiento de PET.

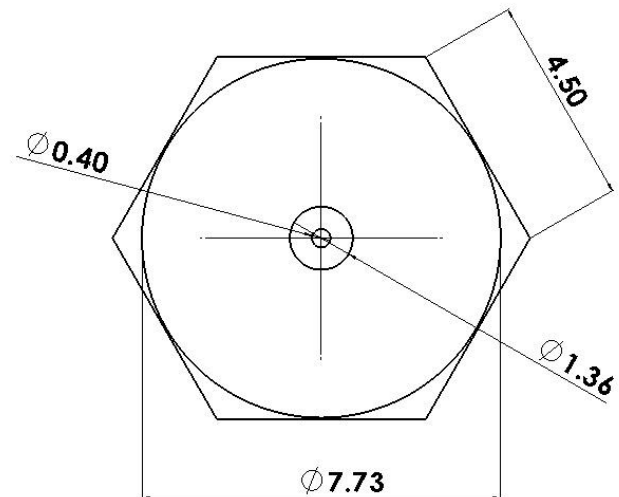


Figura 2. Vista frontal de la boquilla. Cotas en mm. Fuente: Elaboración propia

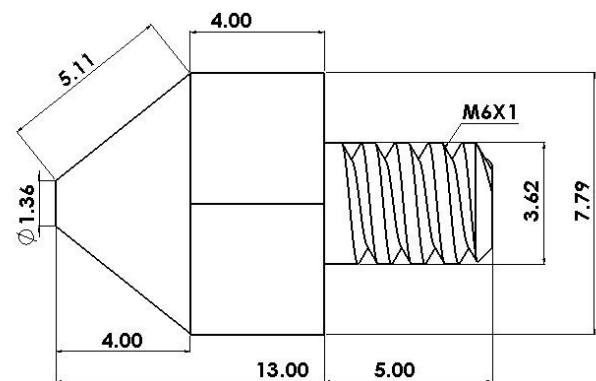


Figura 3. Vista lateral de la boquilla. Cotas en mm. Fuente: Elaboración propia

La Ec. 1 fue usada para determinar la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura en la totalidad del volumen de las boquillas desde los 298 K hasta 493.15 K. Cabe mencionar que dicha ecuación no considera la disipación de calor por el sistema. Dicha ecuación ha sido reportada en la literatura (Tapia-Segarra, 2021).

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

Donde:

C, es el calor específico (J/KgK).

Q, es el calor transferido (W).

ΔT , es la diferencia de temperatura (K).

m, es la masa del material (kg).

La Ec. 2 permite determinar la masa del material mediante. Dicha ecuación ha sido reportada en la literatura (Scantech, 2025).

$$m = \rho V \quad (2)$$

Donde:

m, es la masa (kg).

ρ , es la densidad (kg/m^3).

V, es el volumen (m^3).

El comportamiento térmico de las boquillas fue analizado a partir de los datos obtenidos de la simulación numérica por elementos finitos en el programa SolidWorks, esto cuando ocurre el ingreso a la boquilla de un flujo de calor de $2450 \text{ W}/\text{m}^2$ por conducción a la superficie de conexión a la unidad calefactora; en el resto del área superficial de la boquilla, es disipada al aire por convección y radiación. El flujo de calor fue determinado cuando en la boquilla se alcanzará 493.15 K al inicio del calentamiento, tomando como referencia el flujo de calor necesario para incrementar la temperatura de una boquilla comercial M6 con barrenado de 0.4 mm de diámetro interior fabricada en latón.

La simulación térmica en SolidWorks incluye los mecanismos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación, los cuales fueron indicados en las diferentes superficies del modelo tridimensional. Los mecanismos de transferencia de calor han sido ampliamente descritos en la literatura. De acuerdo con Barrera et al. (2021), las Ecs. 3-5 permiten calcular la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, respectivamente.

$$Q = -kA\Delta T \quad (3)$$

Donde:

Q, es la transferencia de calor por conducción (W).

k, es la conductividad térmica del material (W/mk).

ΔT , es la diferencia de temperatura (K).

A, es el área de la superficie expuesta (m^2).

$$Q = hA(TA - T) \quad (4)$$

Donde:

Q, es la transferencia de calor por convección (W).

h, es el coeficiente de convección (W/mk).

A, área de la superficie expuesta (m^2).

TA, temperatura del ambiente (K).

T, temperatura (K).

$$Q = \varepsilon \sigma AT \quad (5)$$

Donde:

Q, es la transferencia de calor por radiación (W).

ε , es la emisividad.

σ , es la constante de Stefan-Boltzmann ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

A, área de la superficie expuesta (m^2).

T, temperatura K

Para el modelado de la boquilla, es necesario emplear las ecuaciones de continuidad, momento y energía, las cuales se describen a continuación:

Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una expresión matemática que describe la conservación de la masa en un flujo de fluido, lo que representa que la masa total del sistema se mantiene constante con el tiempo, siempre que se tenga un sistema cerrado. Si se trabaja dentro de un volumen de control, la masa que entra debe ser igual a la masa que sale, en ausencia de fuentes o sumideros de masa (Jesús Capistrán, 2021).

$$\nabla \cdot \rho v = 0 \quad (6)$$

∇ , es la divergencia del campo vectorial, (m/s).

ρ , es la densidad del fluido, (kg/m^3).

v, es el vector de velocidad del fluido, (m/s).

Ecuación de conservación de momento

La ecuación de conservación de momento se utiliza en la dinámica de fluidos y en muchos otros campos de la física e ingeniería, la cual se basa en Navier-Stokes. En el contexto de los fluidos, la ecuación describe cómo se conserva el momento lineal en un sistema fluido bajo la acción de fuerzas internas y externas.

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f_b \quad (7)$$

La ecuación 1 se aplica principalmente en situaciones donde se necesita analizar el comportamiento del fluido bajo la acción de fuerzas internas (como la viscosidad) y externas (como la gravedad o la presión). En dicha expresión, ρ es la densidad del fluido, v es el vector de velocidad del fluido, t es el tiempo, p es la presión del fluido, μ es la viscosidad del fluido y f representa las fuerzas externas o del cuerpo.

Ecuación de energía

La ecuación de conservación de la energía térmica describe cómo la energía térmica se distribuye y se conserva dentro de un sistema de fluido. Esta ecuación es fundamental para entender y modelar el comportamiento térmico de un fluido en diversos procesos, dicha ecuación se describe a continuación:

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + q \quad (8)$$

Donde, T representa la temperatura del fluido, v es la velocidad del fluido, k es la conductividad térmica del material, ρ es la densidad del fluido, c_p es la capacidad calorífica a presión constante, mientras q es la tasa de generación de calor por unidad de volumen.

La Tabla 1 contiene la composición química aproximada de los materiales asignados para la simulación numérica en SolidWorks para la finalidad de determinar su comportamiento térmico.

Tabla 1. Composición química en peso aproximada para algunos materiales metálicos. Fuente: Carpenter, 2025; Fundición Magna, 2022; Emetal, 2025.

Composición química		Material		
Elemento	Bronce	Latón	Acero inoxidable 316L	Cobre
Pb		2%		
Zn	10%	40%		
Cu	90%	58%		100%
C			0.03%	
P			0.05%	
Si			1%	
Ni			12%	
Fe			65.40%	
Mn			2%	
S			0.03%	
Cr			17%	
Mo			2.50%	

La Tabla 2 presenta algunas de las propiedades físicas del acero inoxidable 316L, bronce, latón y cobre. Es posible identificar diferencias significativas en su capacidad de transferencia de calor por conducción, ya que el cobre muestra el valor más elevado (390 W/mK) y el acero inoxidable 316L tiene el menor valor de dicha propiedad (15 W/mK), aunque sobresale por su mayor calor específico (450 J/KgK). La conductividad por convección y la emisividad se mantienen constantes en todos los materiales mencionados anteriormente (5 W/mK y 0.05, respectivamente).

Tabla 2. Propiedades físicas de los materiales (Incropera, 2010; SolidWorks, 2022).

Material	Acero Inoxidable 316L	Bronce	Latón	Cobre
----------	-----------------------	--------	-------	-------

Conductividad térmica por conducción, k, W/mK	15	64	123	390
Conductividad térmica por convección, h, W/mK	5	5	5	5
Emisividad, ϵ	0.05	0.05	0.05	0.05
Calor específico, J/KgK	450	390	380	385
Masa, Kg	0.0025	0.0027	0.0026	0.0027

Resultados

La Figura 4 muestra el modelo tridimensional de la boquilla que fue realizado en el programa informático SolidWorks. El programa permite el modelado de piezas mediante operaciones de extrusión por revolución, insertar planos, extruir corte, entre otras operaciones.



Figura 4. Modelo de la boquilla M6 con barreno de 0.4 mm de diámetro interior. Vista isométrica. Fuente: Elaboración propia

Las Figuras 5-8 muestran los resultados de la simulación numérica obtenida de acuerdo a la asignación de diferentes tipos de materiales al modelo de la boquilla metálica.

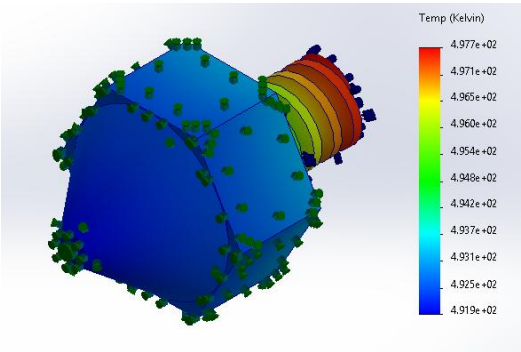


Figura 5. Simulación térmica de una boquilla de acero inoxidable 316L. Fuente: Elaboración propia

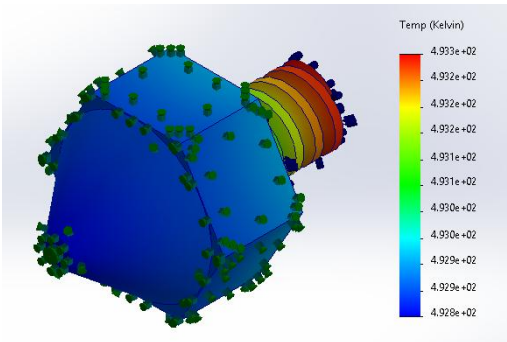


Figura 6. Simulación térmica de una boquilla de bronce. Fuente: Autoría propia.

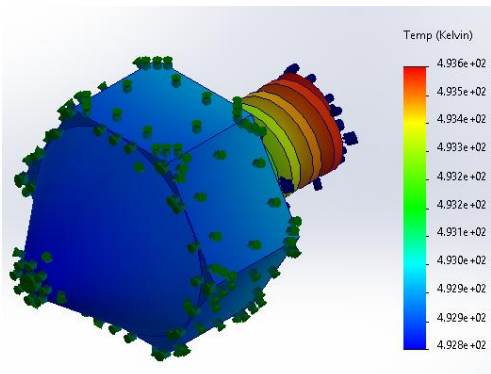


Figura 7. Simulación térmica de una boquilla de latón. Fuente: Elaboración propia.

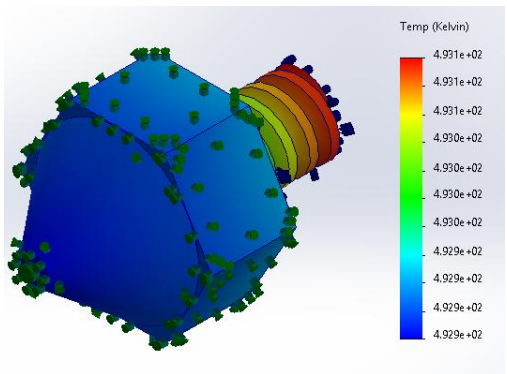


Figura 8. Simulación térmica de una boquilla de cobre. Fuente: Autoría propia.

La Tabla 4 contiene las temperaturas máximas y mínimas obtenidas a partir de las simulaciones numéricas mostradas en las Figuras 5-8. Las temperaturas máximas corresponden a la sección transversal de la superficie roscada de la pieza y la cara plana de la sección hexagonal. En dichas superficies se determinó que ingresa el flujo de calor a la boquilla (2450 W/m^2) cuando la boquilla de latón alcanza la temperatura de trabajo para el procesamiento del PET. El calor es transferido dentro

del volumen del material de la boquilla mediante transferencia de calor por conducción. El mecanismo de transferencia de calor por convección ocurre a partir de la superficie de las boquillas hacia el aire circundante a una temperatura de 298 K. En el caso, de la transferencia de calor por radiación, esta ocurre en todas las superficies del cuerpo de la pieza. Los resultados muestran que la temperatura en la superficie de ingreso de flujo de calor para el acero inoxidable es de 497 K, mientras que para el caso del bronce, latón y cobre es de 493.3K, 493.6 K y 493.1 K, respectivamente. Con lo que respecta a la temperatura en la superficie de la punta de la boquilla, la mayor temperatura corresponde al cobre, cuyo valor es de 492.9 K, mientras que la menor temperatura corresponde al acero inoxidable.

Tabla 4. Temperaturas en la superficie de ingreso del flujo de calor y temperaturas en la punta de las boquillas en diferentes materiales asignados. Fuente: Elaboración propia.

Material	Temperatura en la superficie de ingreso del flujo de calor, K	Temperatura en la superficie de la punta de la boquilla, K
Acero Inoxidable 316L	497	491.9
Bronce	493.3	492.8
Latón	493.6	492.8
Cobre	493.1	492.9

Las Figuras 9-10 muestran los datos graficados que están contenidos en la Tabla 3. De acuerdo a lo anterior, cuando ingresa un flujo de calor a la boquilla de 2450 W/m^2 , las boquillas transfieren el calor de diferente forma dadas las diferencias en propiedades térmicas.

Las aleaciones de base cobre asignadas a la boquilla alcanzaron temperaturas de 493.5 K en la zona de ingreso de calor al sistema, aproximadamente. En el caso de la boquilla con material asignado de acero inoxidable 316L, esta alcanzó una temperatura de 497 K; una diferencia de 0.8% respecto a las boquillas base Cu.

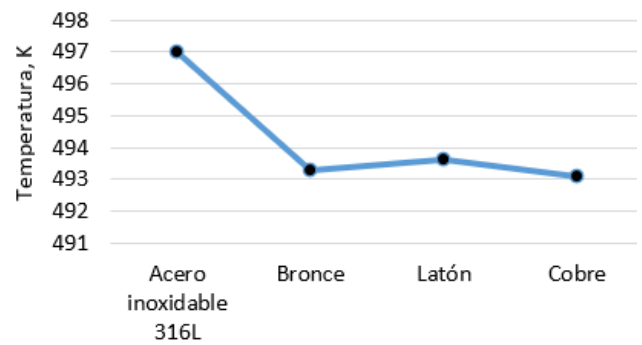


Figura 9. Temperatura en la superficie de ingreso del flujo de calor a las boquillas de diferentes materiales. Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo anterior, todos los materiales analizados pueden ser usados para la manufactura de boquillas para impresoras 3D con técnica FDM, esto debido a que la diferencia de temperaturas no supera 4 K.

De acuerdo a la Figura 10, las temperaturas en la punta de las boquillas cuando ingresa un flujo de calor de 2450 W/m^2 son muy cercanas al valor promedio de 492.6 K y la diferencia de temperaturas no es mayor a 1 K (0.2%). De acuerdo a los resultados experimentales, el comportamiento térmico de las boquillas analizadas en este trabajo es muy similar.

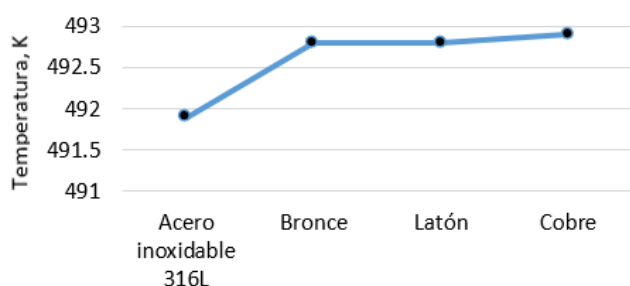


Figura 10. Temperatura en las superficies de las puntas de las boquillas para los diferentes materiales asignados. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 contiene los valores calculados del calor necesario para que la boquilla alcance la temperatura de 493.15 K (220°C) para los materiales asignados a las boquillas cuando no existe transferencia de calor hacia los alrededores. El valor de Q depende del calor específico de cada uno de los materiales asignados a las boquillas y su área superficial total.

Tabla 5. Cantidad de calor necesario de las boquillas para llegar a 493.15 K sin transferencia de calor a los alrededores. Fuente: Elaboración propia.

Material	Calor Q , W
Acero Inoxidable 316L	526.5
Bronce	500.1
Latón	469.4
Cobre	500.9

Dados los valores de calor, Q , el latón requiere la menor cantidad de energía (469.4 W) para alcanzar la temperatura de 493.15 K . En el caso del cobre y el bronce

comercial UNS22000, mostraron valores muy aproximados a 500 W .

De los resultados se pudo determinar que el acero inoxidable 316L requiere un valor de $Q = 526.5 \text{ W}$ (5% más que el latón comercial). Sin embargo, aunque las condiciones de operación de las boquillas no ocurren sin disipación de calor, cualitativamente, el comportamiento térmico de las boquillas en acero inoxidable 316L, cobre y bronce tendría un comportamiento térmico similar de acuerdo a los valores contenidos en la Tabla 4.

Finalmente, se puede observar que las temperaturas en la superficie de las boquillas de latón, cobre y bronce no cambian significativamente, sin embargo, el acero inoxidable 316L sí presenta variaciones significativas en la temperatura, esto es debido a su conductividad térmica. Por otra parte, el cobre es el que presenta el mayor valor de conductividad térmica, lo que beneficia en alcanzar el valor de temperatura más cercano a las condiciones óptimas de operación 493.15 K (220°C). También se pudo determinar que, para llegar a la temperatura requerida de 493.15 K (220°C), el latón es el que requiere la menor cantidad de calor, siendo este de 469.4 W .

Conclusiones

A partir de la simulación del comportamiento térmico de las boquillas en los materiales asignados mediante el uso del programa SolidWorks, permitió concluir que estas tienen un comportamiento térmico similar. La diferencia de temperatura en las superficies de las boquillas entre los diferentes materiales asignados no es mayor a 4 K al ingresar un flujo de calor de 2450 W/m^2 ; esto cuando la temperatura de trabajo es establecida en 493.15 K para el procesamiento de PET en impresoras 3D configuradas de acuerdo a la técnica FMD.

Fue posible determinar la ventaja de usar boquillas de latón, ya que es requerida una menor cantidad de energía calorífica para llegar a la temperatura de trabajo en relación al resto de los materiales analizados en el presente trabajo, $Q = 469.4 \text{ W}$.

En trabajos futuros, podrá ser analizado el desempeño de otras aleaciones metálicas que aún no han sido usadas en la fabricación de boquillas en aplicaciones de impresión 3D con el uso de polímeros, así como el desarrollo de un prototipo didáctico que permita validar los resultados obtenidos en la simulación.

Referencias

- Alumeco. (n.d.). Copper, brass and bronze. Alumeco.com. Retrieved August 7, 2025, from <https://www.alumeco.com/copper-brass-and-bronze/>
- Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2021). Materials: Engineering, Science, Processing and Design (4th ed.). Elsevier.

- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2021). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
- Capistrán J. (2021). *Mecánica de fluidos*. Recuperado de: <https://jesuscapistran.com/courses/mecanica-de-fluidos/lessons/principio-de-conservacion-de-la-masa/>
- Carpenter Technology. (s/f). *Carpenter Aceros Fortuna*. Com.mx. Recuperado el 11 de agosto de 2025, de <https://acerosfortuna.com.mx/acero-316l>
- Guía de materiales de impresión 3D: Tipos, aplicaciones y propiedades. (s/f). Formlabs. Recuperado el 4 de agosto de 2025, de <https://formlabs.com/latam/blog/materiales-impresion-3d/>
- Incropera, F. P. (2010). *Fundamentals of heat and mass transfer*, 6th edition binder ready version comp set (6a ed.). Wiley.
- Shih, R. H. (2020). *Parametric Modeling with solidworks 2020*. SDC Publications.
- Spraying Systems Co. (2022). *Tipos de Boquillas y Aplicaciones*. <https://www.spray.com>
- Tapia-Segarra, I. E., Pacheco-Cunduri, M. A., García-Ledesma, A. M., Padilla-Cauja, H. A., Cajamarca-Paz, F. V., & Valdez-Sánchez, K. V. (2021). Determinación del calor específico de materiales industriales utilizando simuladores en el proceso de enseñanza virtual. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 584-604.
- Cómo Calcular la Masa: Fórmulas, Ejemplos y Consejos Prácticos. (2025, enero 22). SCANTECH. <https://scantech.com/es/informacion/como-calcular-la-masa-formulas-ejemplos-y-consejos-practicos/>
- Barrera, J., León, S. A. R., Trujillo, J. A. P., Angeles, E. S., & Alvarez, A. C. (2021). Mecanismos de transferencia de calor. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 8(16), 38-42.
- Mecánica de fluidos*. (2021, agosto 5). Jesús Capistrán. <https://jesuscapistran.com/courses/mecanica-de-fluidos/lessons/principio-de-conservacion-de-la-masa/>