

# DISIPACIÓN DE ALTOS FLUJOS ENERGÉTICOS EN COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Cárdenas Delgado Kelvin Daniel (1), Hernández Guerrero Abel (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: kelvin\_cardenas@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: abel@ugto.mx]

## Resumen

En este trabajo se presenta el análisis numérico del flujo y la transferencia de calor en microcanales fungiendo como disipador de calor para distintas configuraciones geométricas. Se utilizó agua como fluido de enfriamiento, debido a su alto coeficiente convectivo, entrando a 293 K. El disipador de calor consiste de diversos canales de escala microscópica con un largo de 20 mm. Un flujo de calor constante es suministrado en la pared inferior del disipador. Se determinó que la temperatura en la pared inferior del disipador de calor de microcanales aumenta aproximadamente de forma lineal en el área en la cual se encuentra el flujo de calor. Con un incremento en el número de Reynolds, la temperatura en la pared inferior disminuye aumentando la temperatura del agua, teniendo con esto una disminución de la viscosidad, conllevando a menores pérdidas por fricción en el canal. La transferencia de calor está muy relacionada con la geometría del canal, ya que con la disminución del diámetro hidráulico se ve aumentada la transferencia de calor en el canal.

## Abstract

In this work a numerical analysis of flow and heat transfer in microchannels acting as heat sinks for different geometrical configurations is presented. Water at 293 K was used as cooling fluid, due to its high heat transfer coefficient. The heat sink consists of channels of microscopic scale with a 20 mm length. A constant heat flux is applied at the heat sink bottom wall. It was determined that the temperature in the bottom wall of the microchannels heat sink increases approximately in a linear fashion along the surface where the heat flux is applied. By increasing the Reynolds number, the temperature in the bottom wall diminishes increasing the water temperature, which in turn lowers the viscosity and the friction loss in the channel. The heat transfer is closely related to the geometry of the channel because decreasing the channels hydraulic diameter the heat transfer in the channel is increased.

## Palabras Clave

Microcanal; Transferencia; Calor; Temperatura; Canal trapecoidal.

## INTRODUCCIÓN

### Disipadores de Calor

#### *Disipadores de calor de escala microscópica*

- *Relevancia de disipadores de calor en la actualidad.*

Hoy en día, el rápido desarrollo y la aplicación de mejoras en la tecnología *Very Large-Scale Integration (VLSI)* en el desarrollo de dispositivos electrónicos y microelectrónicos, ha llevado a tener una mayor densidad de circuitos con una mayor velocidad de operación, generando con ello una mayor cantidad de calor, esto debido al enfoque de hacer estos dispositivos de menor tamaño con una muy elevada capacidad de procesamiento [1]. Colgan et al. demostraron un enfriamiento líquido utilizando tiras de aletas compensadas en microcanales para disipar grandes flujos de calor del orden de  $1 \text{ kW/cm}^2$  [2].

Lo anterior lleva a requerir un riguroso control térmico teniendo como objetivo mantener a los componentes por debajo de una temperatura de operación máxima permisible, esto es determinante para el funcionamiento y vida útil del dispositivo electrónico.

Por otro lado Wang y Peng encontraron que los regímenes para flujo laminar se encuentran a números de Reynolds menores de 1000 [3]. Con esto, Toh et al. demostraron que variando el número de Reynolds la resistencia térmica disminuye. Mientras se incrementa el número de Reynolds el coeficiente de fricción se aproxima al valor de los canales convencionales [4].

Debido a estas razones, es importante saber el tipo de geometrías más adecuadas para los canales en los disipadores de calor tipo microcanal. Esto para obtener una correcta disipación de calor que cumpla con los requerimientos de operación.

Teniendo esto en cuenta, en el presente trabajo se desarrolla un análisis para determinar qué tipo de canales son los más adecuados para los disipadores de calor de escala microscópica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El dispositivo a analizar es el mostrado en la IMAGEN 1, la cual presenta al disipador de calor colocado arriba del dispositivo electrónico que necesita enfriamiento intensivo. El disipador de calor está fabricado de sustrato de silicio y es cubierto con una fina película Pyrex, con el fin de tener la pared superior adiabática.

Un flujo de calor constante es suministrado en la pared inferior del disipador de calor. Éste flujo de calor proviene del dispositivo electrónico. Para todas las configuraciones geométricas analizadas en el presente trabajo, se consideró el mismo valor de flujo de calor utilizado por Tuckerman et al. en sus trabajos experimentales [5].

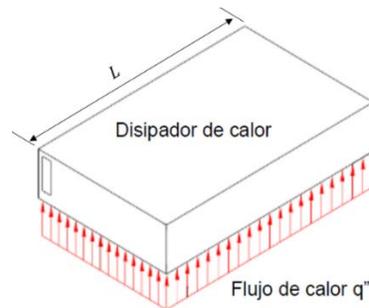


IMAGEN 1: Esquema de un disipador de calor.

En la IMAGEN 2, se muestran las configuraciones geométricas generales para los canales a analizar. Donde a) corresponde a los Casos 1 al 8, b) corresponde al Caso 9, y c) corresponde al Caso 10.

Debido a las simetrías presentes en las diferentes geometrías, para los Casos 1 a 8 se puede analizar solamente medio canal, para el 9 se analizan los trapecios superior e inferior izquierdos, y para el 10 se analizan los trapecios superior e inferior izquierdos conjuntamente con la mitad del canal circular. Donde  $H$  es la altura total del disipador,  $h$  la altura del canal para los Casos 1 a 8,  $W_s$  es la separación entre canales,  $\theta$  es el ángulo de apertura del canal,  $W_a$  y  $W_b$  los lados mayor y menor de los trapecios, además para el Caso 9 y 10,  $h_c$  es la altura de cada canal traapezoidal y por último para el Caso 10,  $D$  corresponde al diámetro del canal circular. Dichos parámetros se muestran en la Tabla 1.

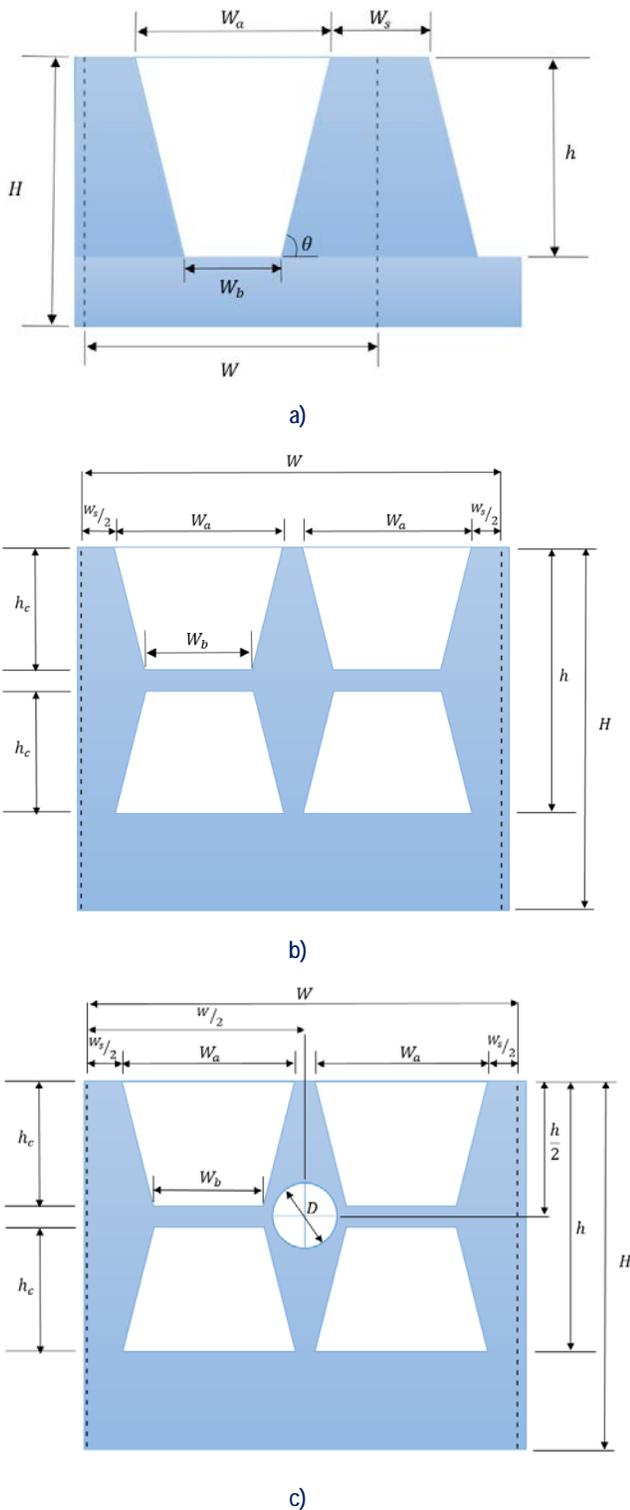


IMAGEN 2: Configuraciones geométricas generales, a) Casos 1 a 8, b) Caso 9 y c) Caso 10.

El problema fue resuelto bajo las siguientes condiciones:

1. Temperatura del fluido a la entrada de los canales a temperatura ambiente (293 K).
2. Flujo laminar e incompresible.
3. Estado estable para el flujo de calor y la transferencia de calor.
4. Transferencia de calor por radiación despreciable.

En cuanto a las propiedades del fluido y del sólido, se sabe que algunas presentan ligera variación con la temperatura, sin embargo otras presentan considerables variaciones, tal es el caso de la viscosidad para el fluido y la conductividad térmica para el sólido. Para ellas se consideran las Ecuaciones (1) y (2), para la viscosidad en  $N s/m^2$  y para la conductividad térmica en  $W/m K$ . La temperatura debe estar en Kelvin [6].

$$\mu_f = -1.717 \times 10^{-9} T^3 + 1.815 \times 10^{-6} T^2 - 6.4442 \times 10^{-4} T + 0.077189 \quad (1)$$

$$k_s = 0.003345 T^2 - 2.8325 T + 696.7 \quad (2)$$

Con estas condiciones del modelo y las variaciones de las propiedades con la temperatura, las ecuaciones gobernantes son:

Ecuación de continuidad, momento y energía para el fluido:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3)$$

$$\rho_f (V \cdot \nabla V) = -\nabla P + \mu_f \nabla^2 V \quad (4)$$

$$\rho_f C_{p,f} (V \cdot \nabla V) = k_f \nabla^2 T \quad (5)$$

Ecuación de energía para el sólido:

$$\nabla^2 (k_s T) = 0 \quad (6)$$

Las condiciones de frontera para el modelo se toman de manera que el fluido interacciones con su entorno. A la entrada del canal ( $x=0$ ) se toma una velocidad dada, el flujo generado por el dispositivo electrónico actúa en el rango  $0 \leq x \leq L$ . Las paredes próximas a esta zona y las que están en la parte superior del canal se consideran adiabáticas debido a que no presentan un gradiente alto de temperatura. En las paredes donde se efectúan los cortes se consideran condiciones de simetría.

Tabla 1: Parámetros geométricos para los diferentes casos analizados.

Caso	H (mm)	h (mm)	W <sub>a</sub> (mm)	W <sub>b</sub> (mm)	W <sub>s</sub> (mm)	D <sub>h</sub> (mm)	W (mm)	h <sub>c</sub> (mm)	D (mm)	q'' (W/cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Tipo
1	0.489	0.289	0.032	0.032	0.068	0.05744	0.100	-	-	34.6	2	Rectangular
2	0.489	0.289	0.040	0.02044	0.068	0.05453	0.108	-	-	34.6	2	Trapezoidal
3	0.489	0.289	0.33887	0.60	0.068	0.3377	1.0189	-	-	34.6	2	Trapezoidal
4	0.489	0.289	0.032	0.016	0.068	0.04419	0.100	-	-	34.6	2	Trapezoidal
5	0.489	0.289	0.050	0.020	0.068	0.06214	0.118	-	-	34.6	2	Trapezoidal
6	0.489	0.289	0.080	0.040	0.068	0.09862	0.148	-	-	34.6	2	Trapezoidal
7	0.489	0.289	0.150	0.050	0.068	0.1457	0.218	-	-	34.6	2	Trapezoidal
8	0.489	0.289	0.400	0.240	0.068	0.2932	0.468	-	-	34.6	2	Trapezoidal
9	0.489	0.289	0.230	0.091436	0.068	0.1289	0.568	0.12	-	34.6	2	Trapezoidal
10	0.489	0.289	0.230	0.091436	0.068	0.1289 / 0.1	0.568	0.12	0.1	34.6	2	Trapezoidal/Circular

## RESUMEN Y DISCUSIÓN

La Ecuación (7) determina el valor de la resistencia térmica global con respecto a la temperatura de entrada del fluido, y de esta forma, conocer la efectividad de los disipadores de calor. Las Ecuaciones (8) y (9) son de ayuda para determinar la condición de frontera a la entrada del canal.

$$R(x) = \frac{T(x) - T_{entrada}}{q''} \quad (7)$$

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (8)$$

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (9)$$

En las IMÁGENES 3, 4, 5 y 6 se muestra la variación de la resistencia térmica en función de la posición para las diferentes configuraciones geométricas y para distintos números de Reynolds.

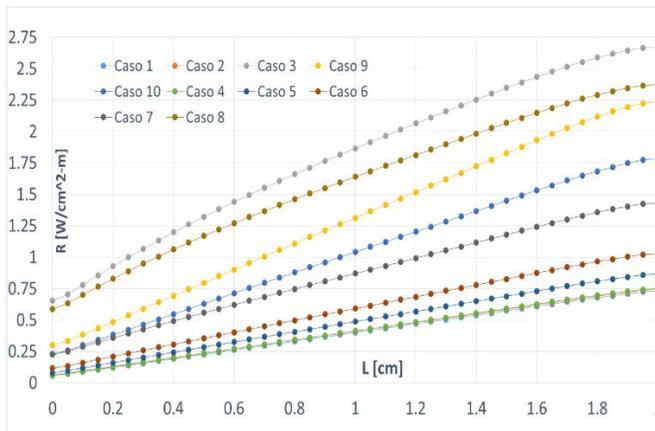


IMAGEN 3: Resistencia térmica para los diferentes casos en función de la longitud, para un número de Reynolds de 22.

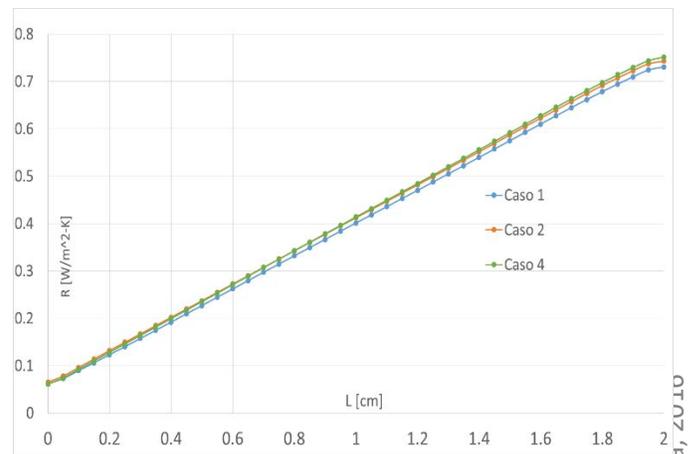


IMAGEN 4: Apoyo para mejor visualización de los casos 1, 2, y 4 de la IMAGEN 3.

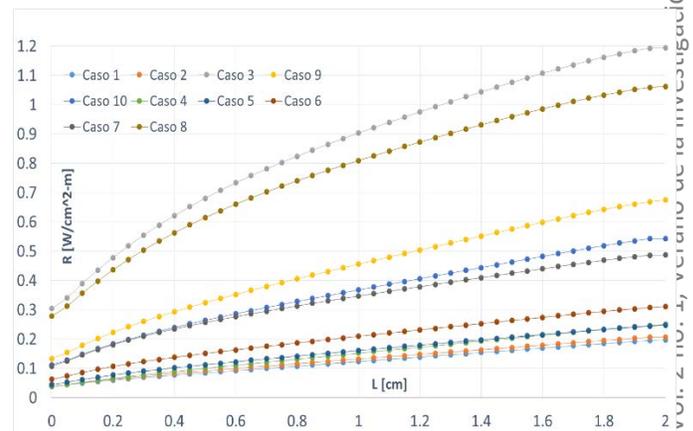


IMAGEN 5: Resistencia térmica para los diferentes casos en función de la longitud, para un número de Reynolds de 100.

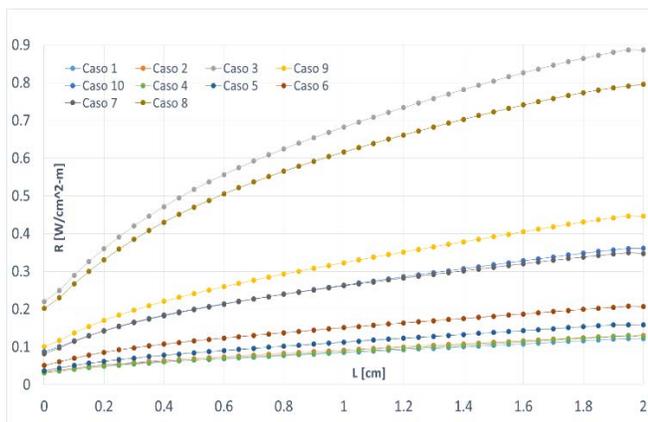


IMAGEN 6: Resistencia térmica para los diferentes casos en función de la longitud, para un número de Reynolds de 200.

En las IMÁGENES 3, 4, 5, y 6 se observa que para un canal rectangular se presenta la menor resistencia térmica, y para el canal trapezoidal correspondiente al Caso 3 se observa la mayor resistencia térmica.

Además se puede apreciar que el comportamiento de la resistencia térmica a través de todo el canal para todos los casos es aproximadamente lineal.

Otra de las situaciones a destacar es que con el aumento del número de Reynolds la resistencia térmica disminuye para todos los casos, manteniendo al dispositivo electrónico con una temperatura menor.

## CONCLUSIONES

Los resultados del presente análisis muestran que para un mismo número de Reynolds, se obtiene un valor menor de resistencia térmica en los canales rectangulares. Lo contrario ocurre con el canal trapezoidal, correspondiente al Caso 4, el cual presenta la mayor resistencia térmica. Esto también se ve afectado con el diámetro hidráulico, ya que el caso que presentó mayor resistencia térmica es el que tiene un mayor diámetro hidráulico (se presenta mayor transferencia de calor cuando el diámetro hidráulico disminuye).

En cuanto a los canales rectangulares, la existencia de mayor área de transferencia de calor, hace que la convección en esas zonas sea más eficaz que en cualquier otra geometría.

Por esas razones se ha llegado a la conclusión de que es mejor el uso de microcanales rectangulares para la disipación de calor bajo las condiciones de flujo laminar en una sola fase que se presentaron en este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mis padres y a mi hermano que siempre han estado conmigo brindándome todo su apoyo en cualquier situación. Al Dr. Abel Hernández Guerrero por haber confiado en mí para la realización de este proyecto, por darme un gran soporte y ayudarme a rodearme de personas que están en constante crecimiento. Y por último, agradezco al Ingeniero Fernando Cano Banda, por su gran disposición para la aclaración de dudas surgidas durante este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] García-González, J., Rubio-Jiménez, C. A., Hernández-Guerrero, A., Rubio-Arana, J. C. (2006). Análisis de Flujo y Transferencia de Calor en Microcanales para Diversas Configuraciones Geométricas. XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Acapulco.
- [2] Colgan, E. G., Furman, B., Gaynes, M., LaBianca, N., Magerlein, J. H., Polastre, R., Bezama, R., Marston, K., and Schmidt, R., 2007, "High Performance and Subambient Silicon Microchannel Cooling," ASME.
- [3] B. Wang, X. Peng, "Experimental Investigation on Liquid Forced-convection Heat Transfer through Microchannels", Int. J. Heat Mass Transfer 37 (1994) 73-82.
- [4] K. C. Toh, X. Y. Chen, J. C. Chai, "Numerical Computation of Fluid Flow and Heat Transfer in Microchannels", Int. J. Heat and Mass Transfer 45 (2002) 5133-5141.
- [5] Tuckerman, D. B., Heat Transfer Microstructures for Integrated Circuits, Ph. D. Thesis, Stanford University, 1981.
- [6] García-González, J., Rubio-Jiménez, C. A., Hernández-Guerrero, A., Popescu, D. (2007). Single-Phase Capillary Effects in Rectangular Microchannels Heat Sinks. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition November 11-16, 2007, Seattle, Washington.