

# ANÁLISIS TÉRMICO DE DIFERENTES ARREGLOS GEOMÉTRICOS CONSTRUCTALES PARA LA DISIPACIÓN DE CALOR

Josué Tapia Méndez (1), Carlos Alberto Rubio Jiménez (2)

<sup>1</sup> [Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [josh18\_24@hotmail.com]

<sup>2</sup> [Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [carlos.rubio@ugto.mx]

## Resumen

El apropiado enfriamiento de dispositivos electrónicos de nueva generación es esencial para continuar con la mejora de equipo de procesamiento de datos, así como su portabilidad. Tendencia a disminuir tamaños de los sistemas de enfriamiento y el uso de líquido en una sola fase o cambio de fase como fluido de enfriamiento son actualmente las líneas de investigación en esta área. Por otra parte, la búsqueda de configuraciones geométricas que permitan un mejor manejo térmico es debido a que están tomando un gran impulso. Teorías novedosas como la Teoría Constructal pueden ayudar en el diseño de sistemas de enfriamiento para disipación de altos flujos de calor. El presente trabajo propone el diseño y análisis numérico de configuraciones geométricas de disipadores de calor basados en la Teoría Constructal. Los resultados que se generaron demuestran que la disipación de calor no es totalmente uniforme debido a la presencia de puntos calientes en las esquinas de la placa de cobre, estos puntos calientes se pueden observar en las dos geometrías propuestas. Se comparan ambas geometrías para ver cuál de las dos es más viable.

## Abstract

The proper cooling of new generation electronic devices is essential to continue the improvement of data processing equipment and portability. Tendency to decrease sizes and cooling systems using a single liquid phase or a phase changing liquid as cooling fluid are currently the research in this area. Moreover, the search for geometric configurations that allow better thermal management it's because they are taking a big boost. Novel theories as the Constructal Theory can help in the design of cooling systems to dissipate high heat fluxes. This investigation proposes the design and numerical analysis of geometric configurations of heat sinks based on the Constructal Theory. The results show that generated heat dissipation is not entirely uniform because of the presence of hot spots at the corners of the copper plate, these hot spots can be observed in the two proposed geometries. Both geometries are compared to see which one is more viable.

## Palabras Clave

Sistemas de Enfriamiento; Teoría Constructal; Altos Flujos de Calor

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día los dispositivos electrónicos son cada vez más sofisticados exigiendo un sistema de enfriamiento de mayor utilidad. La tendencia de hacer estos dispositivos cada vez más pequeños y con mayor potencial depende mucho de la capacidad desarrollar mejores técnicas para poder disipar el calor generado debido a los altos flujos de calor generados por ellos. El enfriamiento por aire ha llegado a su capacidad máxima dando lugar a implementar la tecnología de enfriamiento por líquido, eh aquí donde está la gran oportunidad de desarrollo de nuevos diseños y tecnología para lograr dicho propósito [1]. En 1981, Tukerman and Pease [2] introdujeron el concepto de micro canales, demostrando que el flujo a través de estos canales es capaz de remover hasta  $790 \text{ W/cm}^2$  con una resistencia térmica de  $0.09 \text{ cm}^2\text{K/W}$ . Después de esta investigación una numerosa cantidad de investigadores se han enfocado en mejorar esta tecnología. Muchas investigaciones han logrado disipar mayor cantidad de flujo de calor pero a costa de un gran caída de presión, además de una distribución no uniforme de temperatura. Esta última consideración que se menciona es de suma importancia ya que al no desarrollar una temperatura uniforme puede dañar seriamente el dispositivo electrónico.

En esta investigación se usó la Teoría Constructal [3] para diseñar una nueva geometría. La Teoría Constructal establece que:

“For a finite-size flow system to persist in time (to live) it must evolve such that it provides greater and greater access to the currents that flow through it” [4, 5].

Debido a que en la naturaleza existen sistemas de flujo que tiene una configuración en específico esta teoría establece que esto es debido a un fenómeno que esta basado en un principio científico.

Siguiendo esta evolución que experimentan los sistemas como se menciona en la Teoría Constructal, sus estructuras nos pueden proveer de nuevos diseños para sistemas de enfriamiento con micro canales. Estos sistemas tienen formas en común: un canal principal que si divide en dos o más canales a una determinada distancia, repitiéndose n-veces; a estas formas se les

denomina ramales. Varias investigaciones se han concentrado en la transferencia de calor y en la hidrodinámica en este tipo de ramales, que han servido para mejorar los sistemas de enfriamiento en los dispositivos electrónicos. Pence et al. [6] propuso un modelo unidimensional para un sistema de ramales así como la distribución de presión y temperatura.

En la presente investigación se desarrollan modelos basado en la Teoría Constructal, se analiza la caída de presión en ambos modelos así como la distribución de temperatura, se compran ambos modelos para ver las diferencias entre uno y otro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción geométrica

Dos modelos con diferentes arreglos geométricos son propuestos, estos modelos serán analizados para determinar su caída de presión y su eficiencia de enfriamiento. Son diseñados en base a las medidas de los microchips que tiene una geometría cuadrada de  $37.5 \text{ mm}$  de longitud por lado. Para este análisis se tomara un placa cuadrada como base ( $50 \text{ mm}$  de longitud por lado), las geometrías se analizan completamente debido a que no se puede aplicar el principio de simetría. Las dimensiones de las geometrías son descritas en la Imagen 1 y 2.

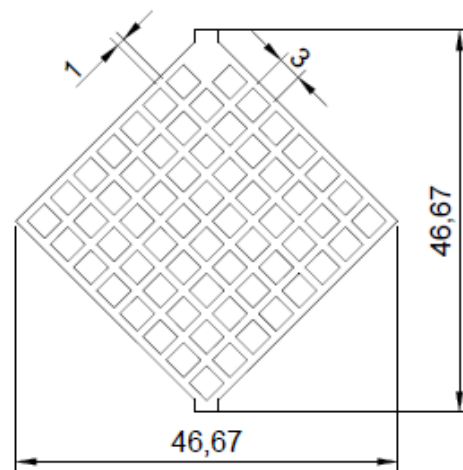


IMAGEN 1: Modelo geométrico 1 (mm)

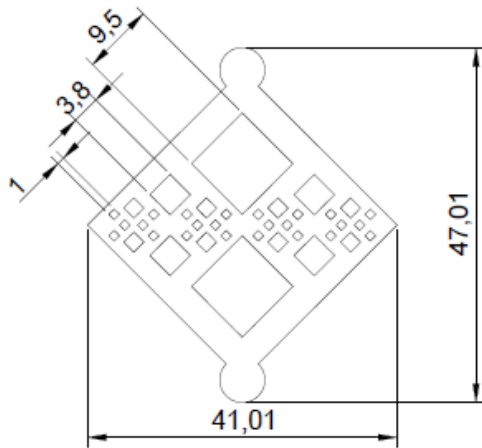


IMAGEN 2: Modelo geométrico 2 (mm)

## Modelo computacional

### Consideraciones

Las consideraciones para el modelo numérico que se utilizaron para este análisis de transferencia de calor son las siguientes:

- 1) Estado estable.
- 2) Flujo de una sola fase
- 3) Propiedades constantes del fluido.
- 4) Se desprecia radiación debido a la transferencia de calor.

En esta investigación, se eligió agua como fluido de enfriamiento a través de los microcanales en la placa de cobre, usando las propiedades termofísicas enlistadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades termofísicas de agua líquida y placa de cobre (a 297 K)

Propiedad	Valor	Unidades
Agua		
1. Viscosidad, $\mu$	0.0008899	Kg/(m-s)
2. Conductividad térmica, $k_f$	0.6	W/(m-K)
3. Densidad, $\rho_f$	998.3	kg/m <sup>3</sup>
4. Calor específico, $c_{pf}$	4.183	kJ/(kg-K)
Cobre		
1. Conductividad térmica, $k_{cu}$	387.6	W/(m-K)
2. Densidad, $\rho_{cu}$	8978	kg/m <sup>3</sup>
3. Calor específico, $c_{pcu}$	0.381	kJ/(kg-K)

### Ecuaciones gobernantes

Considerando las condiciones que se establecieron para el modelo, las ecuaciones de conservación de momento y masa en coordenadas cartesianas son:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (2)$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (3)$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (4)$$

La ecuación de conservación de energía para el dominio del fluido es:

$$\rho_f c_{pf} \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_f \nabla^2 T \quad (5)$$

Mientras la ecuación de conservación de energía para el dominio sólido con una conductividad dependiente de la temperatura es:

$$\nabla \cdot (k_{cu} \nabla \cdot T) = 0 \quad (6)$$

### Condiciones de frontera

Los casos son analizados con un flujo constante a la entrada, con un flujo másico de  $0.028 \text{ kg s}^{-1}$  y una temperatura a la entrada de  $297 \text{ K}$ . las paredes entre el dominio líquido y sólido fueron definidas como interfaces, mientras la paredes que rodean al disipador de calor, con excepción de la base son indicadas como adiabáticas. Un flujo constante y uniforme fue aplicado en la base de la placa de cobre con un valor de  $q'' = 100 \text{ kW/m}^2$ . No se declaran paredes deslizantes en el interior.

### Procedimiento numérico

Un software comercial para el análisis de dinámico de fluidos (ANSYS®), es usado para el análisis numérico de las ecuaciones gobernantes con el método de volumen finito, se utiliza el grado de excelencia para la discretización de las ecuaciones, considerando los residuales para todas la ecuaciones en  $10^{-4}$ . Las geometrías fueron malladas en el software comercial ICEM Imagen 3 y 4. Los volúmenes finitos en cada una de las mallas es de:

- 1) Geometría 1: 125,268 elementos
- 2) Geometría 2: 121,827 elementos

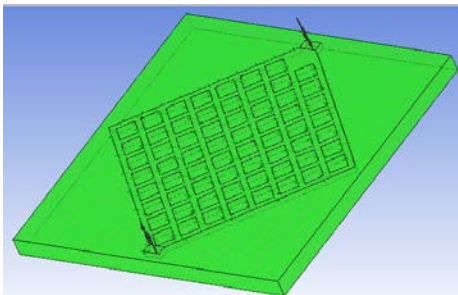


IMAGEN 3: Mallado geometría 1

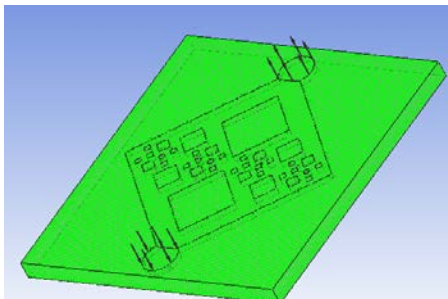


IMAGEN 4: Mallado geometría 2

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Temperatura superficial de los modelos analizados

En esta investigación los principales mecanismos de transferencia de calor son por convección y conducción con el fluido de trabajo. Para este tipo de sistemas de enfriamiento la convección es el mecanismo predominante. En la convección depende mucho de la velocidad del fluido y demás propiedades. En los modelos propuestos la velocidad varía dependiendo de la posición en la que se encuentre el fluido en la placa. Para el modelo en el que no se aplica la Teoría Constructral se puede observar como existen puntos calientes en las esquinas esto es debido a que la transferencia de calor es muy poca Imagen 5. En el modelo que se diseñó con la Teoría Constructral se observa el mismo problema Imagen 6. Se puede observar una mejor distribución de temperatura en el segundo módelo, debido a que el flujo es más uniforme a lo largo de la placa.

### Caída de presión

La caída de presión es un parámetro muy importante para el diseño de disipadores de calor con enfriamiento líquido. Este parámetro influye directamente en el trabajo de bomba. Un diseño óptimo presenta buena distribución de temperatura, alta transferencia de calor y baja caída de presión.

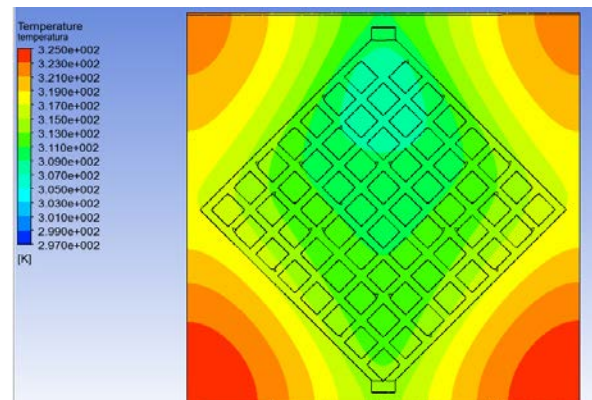


IMAGEN 5: Contornos de temperatura geometría 1

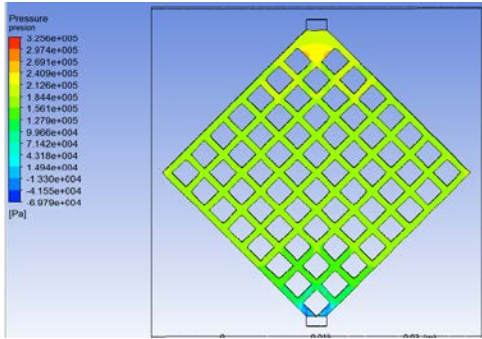


IMAGEN 7: Distribución de presión geometría 1

Como se muestra en la Imagen 7 este modelo tiene una caída de presión de 395 kPa y en la imagen se observa el modelo basado en la Teoría Constructal con una caída de presión de 92.4 kPa.

## CONCLUSIONES

La distribución de temperatura no fue la mejor debido a los puntos calientes en las esquinas de las placas, se puede notar que la caída de presión varía mucho de un modelo a otro, dando como resultado que el modelo diseñado con la Teoría Constructal fue el mejor de estos.

Se puede hacer una mejora en los modelos, distribuyendo los patrones geométricos a lo largo de toda la placa.

El concepto que deja esta investigación es satisfactorio debido a que se pudieron ver resultados congruentes, además de poder definir mejoras para investigaciones próximas.

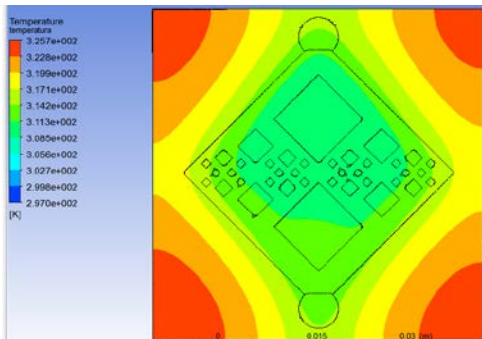


IMAGEN 6: Contornos de temperatura geometría 2

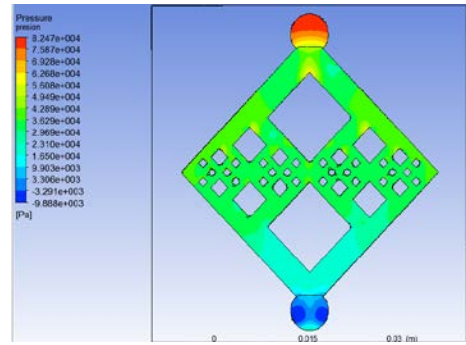


IMAGEN 8: Distribución de presión geometría 2

## REFERENCIAS

- [1] S.G. Kandlikar, High Flux Heat Removal with Microchannels –A Roadmap of Challenges and Opportunities, *Heat Transfer Engineering*, 26 (8), 2005, 5-14.
- [2] D.B. Tuckerman, R.F.W. Pease, High-performance heat sinking for VLSI, *IEEE Electron Devices Lett*, EDI-2 (5), 1981, 126-129.
- [3] A. Bejan and S. Lorente, *Design with Constructal Theory*, Wiley, Hoboken, 2008.
- [4] A. Bejan, *Advanced Engineering Thermodynamics*, 2nd edn, Wiley, New York, 1997.
- [5] A. Bejan and S. Lorente, Constructal theory of generation of configuration in nature and engineering, *J. Appl. Phys.* **100**, 041301 (2006).
- [6] D.V. Pence, Reduced pumping power and wall temperature in microchannel heat sinks with fractal-like branching channel networks, *Microscale Thermophys. Eng.*, 2002, 6, 319-30.