

# ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DE UN MEDIO POROSO CONFINADO EN UN CANAL HORIZONTAL

Oscar Sarabia (1), Carlos Ulises González Valle (2)

<sup>1</sup> [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [oscar\_sarab@hotmail.com]

<sup>2</sup> [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [gonzalezv.cu@gmail.com]

## Resumen

En este proyecto realizó un estudio sofisticado fluido-dinámico computacional (mediante un análisis numérico), el cual consiste básicamente en proponer un disipador de calor poroso homogéneo al interior de un canal horizontal de sección transversal rectangular constante, el propósito es permitir tener enfriamiento al interior del disipador de calor. Los resultados permiten analizar el comportamiento hidrodinámico del flujo cuando se usa un disipador poroso en comparación a cuando el disipador es no-poroso lo cual permite definir sus ventajas y desventajas. Donde se concluyó que implementar un medio poroso podría ser de gran ventaja en posteriores análisis de transferencia de energía, ya que un espécimen de estas características presenta; entrada de fluido al interior del disipador, un aumento en el área de disipación de energía, presenta también un vórtice de estancamiento a la salida del disipador menos alargado, no obstante se presenta una mayor caída de presión en comparación con el medio no poroso. Por último, cabe señalar que el fluido de trabajo fue aire en flujo laminar y que el material que conformó el disipador de calor poroso fue aluminio, con dimensiones de 60 mm x 60 mm x 24 mm.

## Abstract

This project conducted a fluid-dynamic computational sophisticated study (using a numerical analysis), which is basically propose a sink porous heat homogeneous within a horizontal channel of constant rectangular cross section, the purpose is to allow having cooling the interior heatsink. The results allow to analyze the hydrodynamic flow behavior when a porous sink is used compared to when the sink is non-porous which allows you to define its advantages and disadvantages. Where it was concluded that implementing a porous medium could be of great benefit in further analysis of energy transfer as a specimen of its kind filled; entry of fluid into the sink, one increases the power dissipation area, also has a vortex output stagnation less elongated sink, though it has a higher pressure drop compared to the non-porous medium. Finally, it notes that the working fluid was laminar air flow and the material that formed the heat sink was porous aluminum with dimensions of 60 mm x 60 mm x 24 mm.

## Palabras Clave

Disipador de calor; Porosidad; Transferencia de calor; Líneas de flujo

## INTRODUCCIÓN

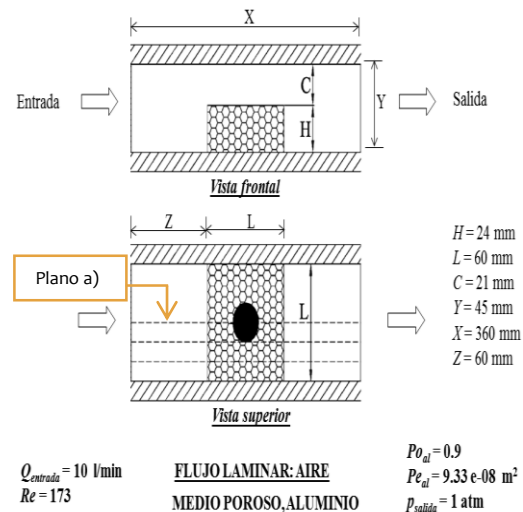
En la actualidad la tendencia de las nuevas computadoras consiste en generar altos flujos de energía en sus dispositivos electrónicos lo cual conlleva por lo tanto a la producción de grandes cantidades de calor, lo anterior tiene como consecuencia que se requiera de un enfriamiento óptimo en dichos dispositivos para evitar con ello causarles daño. Las supercomputadoras utilizan la convección forzada de aire a través de estos dispositivos electrónicos (como por ejemplo los chips) para lograr mantener los dispositivos dentro de un rango de operación. Muchos disipadores de calor se encuentran aletados para lograr este fin, sin embargo, las nuevas tendencias e investigaciones indican que los disipadores de calor porosos tienen una gran ventaja sobre los anteriormente mencionados, debido a que poseen un mayor potencial en transferencia de energía, ya que éstos tienen una mayor área de disipación de energía para un mismo volumen [1]. Muchos estudios acerca del comportamiento hidrodinámico y térmico de un medio poroso confinado en un canal horizontal se han publicado recientemente. Hunt y Tien [2] investigaron experimentalmente la transferencia de energía de distintas espumas porosas completamente confinadas en canales rectos. Calmidi y Mahajan [3] exploraron la convección forzada de espumas de aluminio en canales rectangulares. La porosidad y densidad de poro de las espumas de aluminio usadas por Calmidi y Mahajan [3] fueron 0.90 – 0.97 y 5 – 40 PPI (poros por pulgada, por sus siglas en inglés) respectivamente. Angirasa [4] estudió experimentalmente la optimización en transferencia de energía de espumas de aluminio parcialmente confinadas en canales rectangulares. Tzeng [5] logró medir las características de transferencia de calor de un disipador de calor poroso de aluminio (porosidad de 0.97) completamente confinado, con un cilindro conductor de cobre insertado en el medio poroso, para aumentar la transferencia de calor, debido a que se logra extender la superficie a la cual se le suministra un flujo de calor a lo largo del interior del disipador de calor poroso.

Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de los estudios se enfocan en disipadores de calor porosos totalmente confinados en canales horizontales, siendo estos estudios experimentales.

Tomando en cuenta que la ejecución de un estudio experimental es costoso en cuanto a su montaje y tiempo. En el presente estudio se muestran las características de un análisis hidrodinámico computacional (numérico) de un disipador de calor poroso (con una porosidad de 0.9) de aluminio, parcialmente confinado en un canal de sección transversal rectangular constante. El objetivo de este estudio está enfocado a la comparación del comportamiento hidrodinámico y de las características del disipador poroso con el no poroso. Ya que este análisis permitirá determinar las ventajas de un disipador sobre el otro, de igual forma se mostrara la tendencia de comportamiento del disipador para el diseño del mismo. Los resultados aquí mostrados permitirán dar un salto hacia el estudio de transferencia de energía en disipadores porosos y este análisis será mostrado en publicaciones posteriores, por esta razón la presente investigación es de suma importancia e interés.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como se mencionó anteriormente el fenómeno a analizar es un disipador poroso y no poroso de aluminio con las medidas y condiciones de operación mostradas es la IMAGEN 1.



**IMAGEN 1: Vista frontal y superior, de disipador de calor poroso de aluminio, mostrando dimensiones y condiciones de operación.**

Primeramente, al dissipador poroso con dimensiones 60 mm [L] x 60 mm [L] x 24 mm [H] fabricado de aluminio con porosidad de 0.9, se le suministra un flujo de aire a razón de 10 l/min ( $Re = 173$ ) mediante un compresor. El aire ingresa al ducto horizontal de sección transversal rectangular constante, fluye internamente y pasa a través del dissipador poroso, para posteriormente salir del ducto a presión atmosférica.

Por otra parte las ecuaciones que describen el fenómeno son:

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + X + S_x \dots (1)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + Y + S_y \dots (2)$$

$$S_i = -\frac{\mu}{\alpha} \bar{V} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

Como se observa, en las ecuaciones que describen el fenómeno de estudio, el flujo de fluido a través de un medio poroso es complejo. Representado por ecuaciones diferenciales parciales, acopladas y no lineales, por ende se debe recurrir a métodos que implican aproximaciones.

Sin embargo las ecuaciones diferenciales parciales que describen el fenómeno se pueden reducir en cuestión a su complejidad tomando en cuenta las siguientes suposiciones:

- 1) Estado estacionario
- 2) Estudio en una sola fase
- 3) Medio poroso isotrópico y homogéneo
- 4) Propiedades constantes al variar posición y temperatura
- 5) Coeficiente de resistencia inercial cero
- 6) Flujo laminar e incompresible
- 7) Efectos de gravedad despreciables

Una vez establecidas las ecuaciones gobernantes y tomando en cuenta las suposiciones pertinentes la solución del fenómeno se reduce en complejidad, pese a esto, aún es difícil una solución analítica. Por ende, se auxilió de métodos numéricos que proporcionaron soluciones aproximadas, mediante el método de volumen finito. Lo anterior logró mediante el uso y manejo de los paquetes de simulación en el área de termo-fluidos.

Por último, en la Tabla 1 se muestran las propiedades del fluido de trabajo y del dissipador de calor poroso.

Tabla 1: Propiedades del aire y del aluminio poroso [1]

| Propiedades                                   | Escala; $\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ $\mu \left[ \frac{kg}{m-s} \right]$<br>$c_p \left[ \frac{J}{kg-K} \right]$ $\alpha \left[ m^2 \right]$<br>$D \left[ m^{-2} \right]$ |           |
|---|--|-----------|
|   | Aluminio poroso  | Aire      |
| 1. Densidad ( $\rho$ )                        | 2707   | 1.1614    |
| 2. Viscosidad ( $\mu$ )                       | *  | 1.846e-05 |
| 3. Calor específico ( $c_p$ )                 | 903  | *         |
| 4. Permeabilidad ( $\alpha$ )                 | 9.33e-08   | *         |
| 5. Coeficiente de resistencia viscosa ( $D$ ) | 0 ó<br>1.071811e+07  | *         |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del análisis hidrodinámico del dissipador poroso y no poroso se observan en las IMÁGENES 2–4, mediante la visualización del flujo de aire.

Los resultados de líneas de corriente a través del canal horizontal, coloreadas con la magnitud de la velocidad del flujo de trabajo (aire) se muestran en la IMAGEN 2. Tres configuraciones de bloques (confinados en el canal horizontal) se muestran para su análisis. Un medio no poroso de aluminio **a**), un medio de aluminio con porosidad 0.9 y un coeficiente de resistencia viscosa igual a cero **b**) y un medio de aluminio con porosidad 0.9 y un coeficiente de resistencia viscosa igual al inverso de la permeabilidad **c**). En las tres configuraciones se observa claramente el desarrollo de la capa límite hidrodinámica a lo largo del canal horizontal, en donde para los tres casos hay un aumento y disminución en la velocidad de las líneas de corriente, esto provocado por la reducción y aumento en el área de la sección transversal,

respectivamente, al introducir el medio poroso o no poroso en el canal. Donde este fenómeno es explicado por la ecuación de continuidad.

También se observa que para los tres casos se forma un vórtice de estancamiento a la salida del dissipador de calor, esto es inducido por la pérdida de energía debido a la fricción del aire con las paredes del canal, con las paredes del dissipador de calor ya sea poroso o no poroso, y con la energía de rozamiento disipada por la acción de entrada y salida de aire al dissipador poroso. Este vórtice de estancamiento es no deseado desde un enfoque de transferencia de energía, ya que como su nombre lo dice éste provoca que el aire se recircule alrededor de un punto crítico (donde su velocidad es cero y hay casi nulo movimiento del aire), lo cual no es favorable si se desea mantener el dissipador de calor a baja temperatura, lo ideal sería que el aire entrara al canal, rodeara rápidamente el dissipador si es no poroso o fluyera rápidamente al interior del dissipador poroso y saliera, evitando lo más posible la recirculación de aire ya caliente en el canal, lo cual es lo que incita un vórtice de estancamiento. No obstante de los tres casos presentados en la IMAGEN 2, el caso **c)** es el que presenta un vórtice de estancamiento a la salida del dissipador menos alargado (125 mm) y por ende menos aire que en teoría estaría caliente se recircularía.

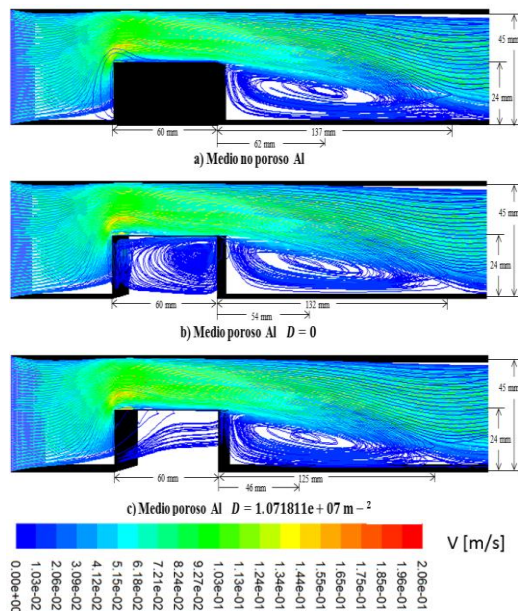


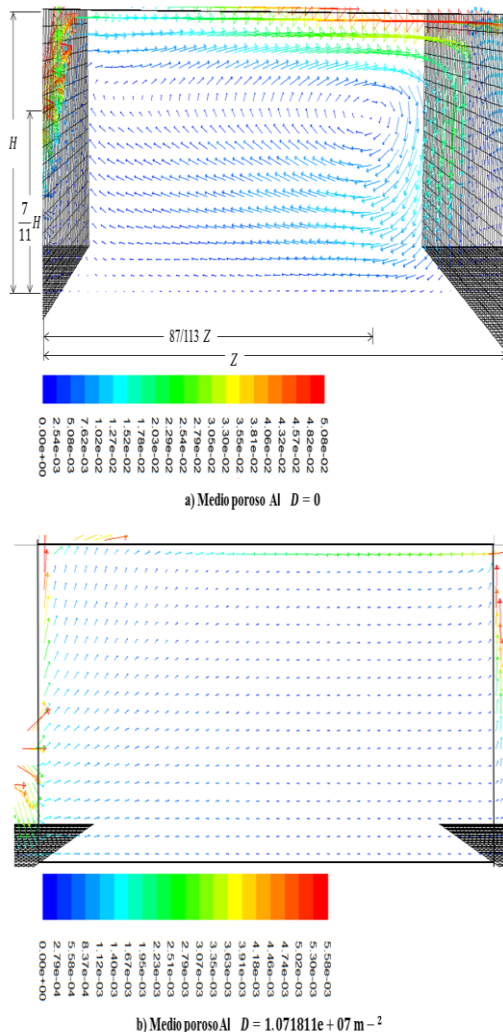
IMAGEN 2: Líneas de corriente a través de canal horizontal.

De tal forma que el vórtice más alargado que se podría presentar es el caso **a)** (137 mm), y los especímenes **b)** y **c)** son casos en el que el dissipador es un medio poroso. Por consiguiente el flujo másico que entra y en especial que sale del medio poroso es el actor que mitiga o intenta destruir el vórtice a la salida de los dissipadores, es por eso que estos vórtices son menos alargados (132 mm, 125 mm).

Para finalizar con el análisis de la IMAGEN 2 no se debe de perder de vista que para el medio no poroso Al no hay entrada de aire al interior, debido a que es completamente sólido, sin embargo en los especímenes porosos si hay entrada. Esto sería de gran ventaja en un análisis térmico ya que se incrementaría el área de disipación de energía. Observando detalladamente el interior del medio poroso para los casos **b)** y **c)** se perciben dos comportamientos distintos, debido al coeficiente de resistencia viscosa  $D$ . Este es un término fuente que se le agrega a la ecuación de momento de Newton, el cual es un factor de pérdida de energía debido a la viscosidad, cuando hay paso de un fluido a través de un medio poroso, contribuyendo a gradientes de presión negativos en la zona porosa, causando una caída de presión a lo largo del medio poroso. Por esta razón es que se observan dos comportamientos distintos, donde para el espécimen **b)** se aprecia un vórtice de estancamiento al interior del medio poroso, lo cual es no favorable si se desea disipar energía, esto por lo ya anteriormente explicado de estos vórtices. Mientras que el espécimen **c)** muestra un comportamiento distinto al interior del dissipador, donde entra y sale rápidamente el fluido, sin recircularse, favoreciendo a la transferencia de energía si hubiese. Ambas velocidades al interior de los medios poroso tienden a cero.

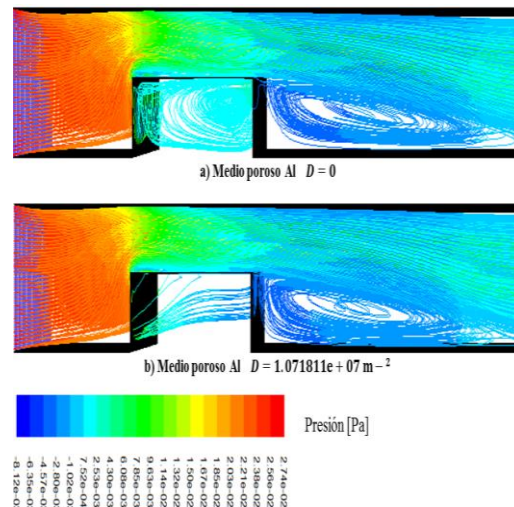
Es de suma importancia conocer el comportamiento hidrodinámico al interior del medio poroso, por esta razón en la IMAGEN 3 se muestran los vectores de velocidad. En el cual para el espécimen ideal (medio poroso Al  $D = 0$ ) se muestra el punto crítico o centro del vórtice de estancamiento, donde debido a que su velocidad en ese punto es cero se esperaría nula transferencia de energía y por ende una falla del dissipador de calor. Se observa también que las velocidades son relativamente altas en la parte superior del medio poroso. Mientras que el medio poroso Al  $D = 1.071811e + 07 \text{ m}^{-2}$  muestra un comportamiento apegado a la realidad, donde no

hay recirculación del fluido, entra al medio poroso y sale de este. Donde ingresa a velocidades relativamente altas en comparación a la velocidad que posee el fluido casi a la salida del medio poroso. Esta pérdida de velocidad o energía se debe a la fricción al pasar entre los poros. Cabe mencionar que al comparar los perfiles hidrodinámicos de los especímenes de la IMAGEN 3 el caso **b)** presenta un mejor comportamiento visto desde un enfoque a transferencia de energía, no obstante las velocidades del aire al interior del medio poroso son bajas comparadas con el caso **a)** afectando por ende la transferencia de energía.



**IMAGEN 3: Vectores de velocidad al interior del medio poroso.**

Para finalizar con los resultados en la IMAGEN 4 se muestran las líneas de corriente a través del canal horizontal donde el color indica la presión del fluido. Esta imagen es de gran ayuda ya que el vórtice que se presenta al final del medio poroso es derivado de los gradientes de presión negativos debido del paso del fluido por el canal y a través del medio poroso, produciendo una zona donde la presión es negativa (zona azul), lo que conlleva a la formación del vórtice. El fluido se mueve hacia a la zona donde hay menor resistencia. Se puede percibir que dentro del medio poroso para el espécimen **a)** hay caída de presión despreciable, mientras que para el caso **b)** si se presenta una caída de presión en su interior, debido al coeficiente de resistencia viscosa. Por ende un disipador de calor poroso apegado a la realidad presenta mayor caída de presión, en comparación con un medio no poroso, caídas de presión que se deben de considerar para la implementación del compresor.



**IMAGEN 4: Líneas de corriente a través de canal horizontal.**

## CONCLUSIONES

Este trabajo consistió en realizar un estudio sofisticado fluido-dinámico computacional (mediante un análisis numérico), el cual consiste básicamente en proponer un disipador de calor poroso homogéneo al interior de un canal horizontal de sección transversal rectangular constante y comparar los resultados con un disipador de calor no poroso de aluminio. Cabe señalar que el fluido de trabajo será aire en flujo laminar y que el material

que conforma el disipador de calor poroso es aluminio, con dimensiones de 60 mm [L] x 60 mm [L] x 24 mm [H]. Las conclusiones más importantes se describen a continuación:

En un medio no poroso no hay entrada de fluido al interior de este, debido a que es completamente sólido, sin embargo en los especímenes porosos si hay entrada. Esto sería una gran ventaja en un análisis térmico ya que se incrementaría el área de disipación de energía.

De los tres casos presentados en la IMAGEN 2, el caso **c)** es el que presenta un vórtice de estancamiento a la salida del disipador menos alargado (125 mm) y por ende menos aire que en teoría estaría caliente se recircularía. Esta es una ventaja del disipador de calor poroso sobre el no poroso.

El flujo másico que entra y en especial que sale de un medio poroso es el actor que mitiga o intenta destruir los vórtices a la salida de los disipadores, es por eso que estos vórtices son menos alargados (132 mm, 125 mm), ver IMAGEN 2. Siendo esta una ventaja de los medios porosos sobre los no porosos.

El espécimen **c)** (de IMAGEN 2) muestra un comportamiento agradable al interior del disipador, donde entra y sale rápidamente el fluido, sin recircularse, favoreciendo a la transferencia de energía si hubiese.

Al comparar los perfiles hidrodinámicos de los especímenes de la IMAGEN 3 el caso **b)** presenta un mejor comportamiento visto desde un enfoque a transferencia de energía, no obstante las velocidades del aire al interior del medio poros son bajas comparadas con el caso **a)** afectando por ende la transferencia de energía.

Un disipador de calor poroso apegado a la realidad (especimen **b)** de IMAGEN 4) presenta una mayor caída de presión, en comparación con un medio no poroso, caídas de presión que se deben de considerar para la implementación del compresor.

## AGRADECIMIENTOS

Se extiende el agradecimiento al Ing. Carlos Ulises González Valle, por su apoyo, consejos y tiempo invertido para el desarrollo del proyecto.

Agradezco también al Dr. Abel Hernández Guerrero y al Dr. José Luis Luviano Ortiz por su apoyo y sugerencias.

## REFERENCIAS

- [1] T.M. Jeng, S.C. Tzeng, F.Z. Tang, Fluid flow and heat transfer characteristics of the porous metallic heat sink with a conductive cylinder partially filled in a rectangular channel, *Int. J. Heat Mass Transfer* 53 (2010) 4216–4227.
- [2] M.L. Hunt, C.L. Tien, Effects of thermal dispersion on forced convection in fibrous media, *Int. J. Heat Mass Transfer* 31 (1988) 301–309.
- [3] V.V. Calmidi, R.L. Mahajan, Forced convection in high porosity metal foams, *ASME J. Heat Transfer* 122 (2000) 557–565.
- [4] D. Angirasa, Experimental investigation of forced convection heat transfer augmentation with metallic fibrous materials, *Int. J. Heat Mass Transfer* 45 (2002) 919–922.
- [5] S.C. Tzeng, Spatial thermal regulation of aluminum foam heat sink using a sintered porous conductive pipe, *Int. J. Heat Mass Transfer* 50 (2006) 117–126.