

ESTUDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN DISIPADOR PARA COMPONENTES ELECTRÓNICOS MEDIANTE TÉCNICAS DE CFD



Cortizo María Clara - Ravagnan Hernán - Trivisonno Nicolás - Pairetti César - Venier César
Escuela de Ingeniería Mecánica - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - UNR

Resumen

Los **disipadores de calor** se utilizan comúnmente en componentes electrónicos para garantizar condiciones óptimas de trabajo mediante la transferencia de calor generado por los mismos al medio. Debido a sus exigencias en servicio es necesario un correcto diseño de la geometría y los materiales empleados. En este trabajo se utilizan herramientas de **Dinámica de Fluidos Computacional** (CFD) para estudiar la transferencia de calor de un disipador de aletas para procesadores de computadoras, con el objetivo de verificar la eficiencia y los parámetros de operación de un diseño estándar, tales como el flujo de calor, el coeficiente de transferencia de calor por convección y la resistencia térmica de convección natural y radiación combinadas. Se simula numéricamente el comportamiento en estado estacionario de un disipador, modelando el mismo como medio poroso dentro de una cavidad cerrada, considerando la convección natural del aire dentro del gabinete de la CPU y sin intercambio de fluido fuera del mismo. El objetivo del trabajo es ajustar correctamente los parámetros del modelo para que este tipo de simulación represente correctamente la compleja geometría de un disipador real, permitiendo así un ahorro computacional con respecto a la simulación completa en la cual se alcance el mismo grado de detalle. Además, se validan los resultados obtenidos con las especificaciones brindadas por el fabricante del disipador utilizado como referencia. Se obtienen resultados satisfactorios acordes a los objetivos planteados en cuanto al ajuste de los parámetros del medio poroso, obteniendo un código computacional robusto capaz de abordar este tipo de problemas de forma económica y extender la metodología propuesta a otras simulaciones en el área.

Motivación

En este trabajo se resuelve un problema de transferencia de calor entre dos medios, combinando fenómenos térmicos de distintas características, como son la **convección natural** del aire dentro de la cavidad cerrada del gabinete y la **conducción** en el disipador de aluminio. Debido a la complejidad física que éste representa y la dificultad de implementar una resolución analítica, es que se utilizan **herramientas de CFD** para abordar el análisis. Además, esta metodología permite observar la evolución de distintas variables de interés dentro del dominio del problema que no son posibles de obtener experimentalmente.

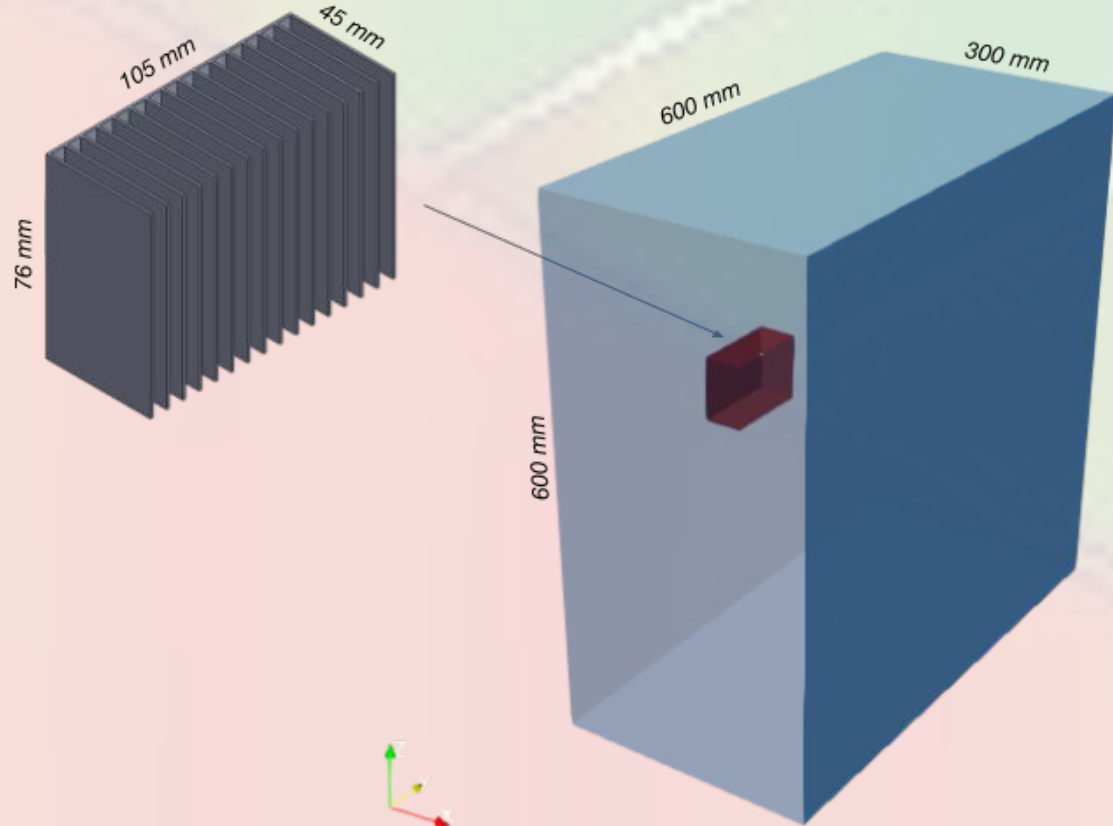


Figura 1: Configuración geométrica del problema. Esquema del gabinete y del disipador dentro del mismo, detallando la disposición y dimensiones estándares.

Marco teórico

Para abordar la problemática planteada, se resuelven las **ecuaciones de Navier-Stokes** que rigen el comportamiento del sistema mediante la conservación de masa, momento lineal y energía [1-3].

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{u} &= 0 \\ \rho_0 \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho_0 \nabla \cdot (\vec{u} \vec{u}) &= -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} + S_b + S_m \\ \rho_0 c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_0 c_p \nabla \cdot (\vec{u} T) &= \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \end{aligned}$$

En estas ecuaciones se contempla la convección natural del aire y el modelo de medio poroso aplicado en el disipador, añadiendo los siguientes términos fuentes en la ecuación de conservación de momento lineal.

$$\begin{aligned} S_b &= (\rho - \rho_0) \vec{g} \\ S_m &= -(\mu d \vec{u} + \frac{1}{2} \rho t_r (\vec{u} \cdot I) F) \vec{u} \end{aligned}$$

La convección natural es causada por una variación en la densidad del fluido, y en este caso, se utiliza la aproximación de **Boussinesq** que establece una relación lineal entre la densidad y la temperatura del mismo.

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)]$$

Se utiliza el modelo de **medios porosos de Darcy-Forchheimer** [4,5] para representar el efecto del disipador sobre el flujo de aire y se calcula la permeabilidad K y la porosidad d del medio poroso en función de la configuración geométrica de las aletas del disipador mediante las siguientes relaciones.

$$K = \frac{h^3}{12L} \quad d = \frac{1}{K} \quad F = 0$$

Se consideran propiedades termodinámicas constantes, tanto para el medio sólido como para el fluido.

Para caracterizar la transferencia de calor en convección natural se utilizó el **número adimensional de Rayleigh**, el mismo indicando si la **capa límite** es **laminar o turbulenta**. Cuando está por debajo de un cierto valor crítico, la transferencia de calor se produce principalmente por conducción, mientras que cuando está por encima, se produce principalmente por convección.

$$Ra = \frac{g \beta L^3 (T_h - T_c)}{\alpha \nu}$$

Referencias

1. Incropera, F. P., Lavine, A. S., Bergman, T. L., & DeWitt, D. P. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Wiley.
2. Cengel, Y. A., & Ghajar, A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill Interamericana.
3. Venier, C., Dari, E., & Teruel, F. (2013). Numerical Implementation and Performance of Macroscopic Models for Natural Convection in Square Cavities with Porous Inserts. *Mecánica Computacional*, 32(39), 3279-3294.
4. Kaviany, M. (2012). *Principles of heat transfer in porous media*. Springer Science & Business Media.
5. Duman, T., & Shavit, U. (2009). An apparent interface location as a tool to solve the porous interface flow problem. *Transport in porous media*, 78(3), 509.
6. Corzo, S. F., Damián, S. M., Ramajo, D., & Nigro, N. M. (2011). Numerical simulation of natural convection phenomena. *Mecánica Computacional*, 30(4), 277-296.
7. OpenFOAM Foundation: <https://openfoam.org/>

Validación

Para la validación del *solver* se realizó un estudio bidimensional de una cavidad cuadrada. Se efectuaron seis simulaciones diferentes para seis números de Rayleigh distintos, los mismo fueron desde 10^3 hasta 10^8 inclusive y para las mismas se recolectaron los datos de las velocidades tanto en la dirección perpendicular como paralela a la gravedad. El parámetro que se varió para la obtención de los Rayleigh deseados fue la gravedad, se eligió este para mayor simpleza y comodidad. Los modelos utilizados en los primeros cuatro casos fueron laminares, y en los últimos dos (de mayor número de Rayleigh) turbulentos. Los datos obtenidos se compararon por medio de tablas y gráficos con los valores extraídos de otros estudios y así se pudo concluir que hubo buen acuerdo con los resultados reportados por los demás autores.

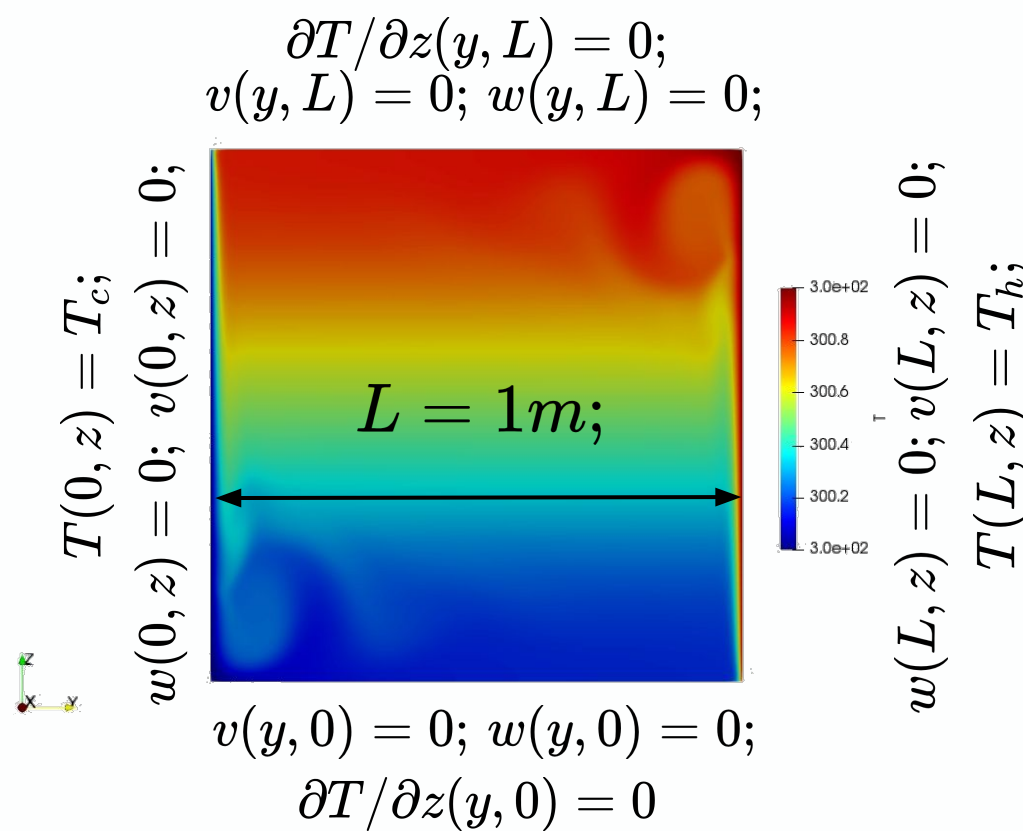


Figura 2: Geometría y condiciones de borde para la validación del solver. Campo de temperaturas en régimen estacionario para $Ra 10^8$.

	Nos	S.Corzo		G.VDavis						P. Le Quére	
	OpenFOAM	Fluent	OpenFOAM	h=0.01	h=0.005	h=0.0025	h=0.0016	h=0.00125	h=1/80	h=1/128	
Ra=10 ³											
U _{ymax} (y=0.5)	3.635	3.443	3.64	3.427	3.589	3.364	-	-	-	-	-
U _{zmax} (z=0.5)	3.6831	3.69	3.7	3.449	3.629	3.679	-	-	-	-	-
Ra=10 ⁴											
U _{ymax} (y=0.5)	16.162	16.139	16.281	16.243	16.189	16.182	-	-	-	-	-
U _{zmax} (z=0.5)	19.603	19.619	19.547	18.055	19.197	19.509	-	-	-	-	-
Ra=10 ⁵											
U _{ymax} (y=0.5)	34.696	34.469	34.928	40.9	36.46	35.07	34.67	34.81	-	-	-
U _{zmax} (z=0.5)	68.226	68.817	68.878	59.71	62.79	66.73	67.91	68.22	-	-	-
Ra=10 ⁶											
U _{ymax} (y=0.5)	64.971	64.433	64.558	230.22	79.27	67.49	65.81	65.33	-	-	-
U _{zmax} (z=0.5)	218.051	220.97	221.572	213.91	195.44	206.32	214.64	216.75	-	-	-
Ra=10 ⁷											
U _{ymax} (y=0.5)	148.347	146	145.84	-	-	-	-	-	148.58	-	-
U _{zmax} (z=0.5)	679.96	695.36	704.094	-	-	-	-	-	699.236	-	-
Ra=10 ⁸											
U _{ymax} (y=0.5)	289.559	304.015	299.156	-	-	-	-	-	-	321.876	-
U _{zmax} (z=0.5)	2144.175	2199.51	2233.35	-	-	-	-	-	-	2222.39	-

Tabla 1: Comparación de los resultados obtenidos con trabajos de otros autores.

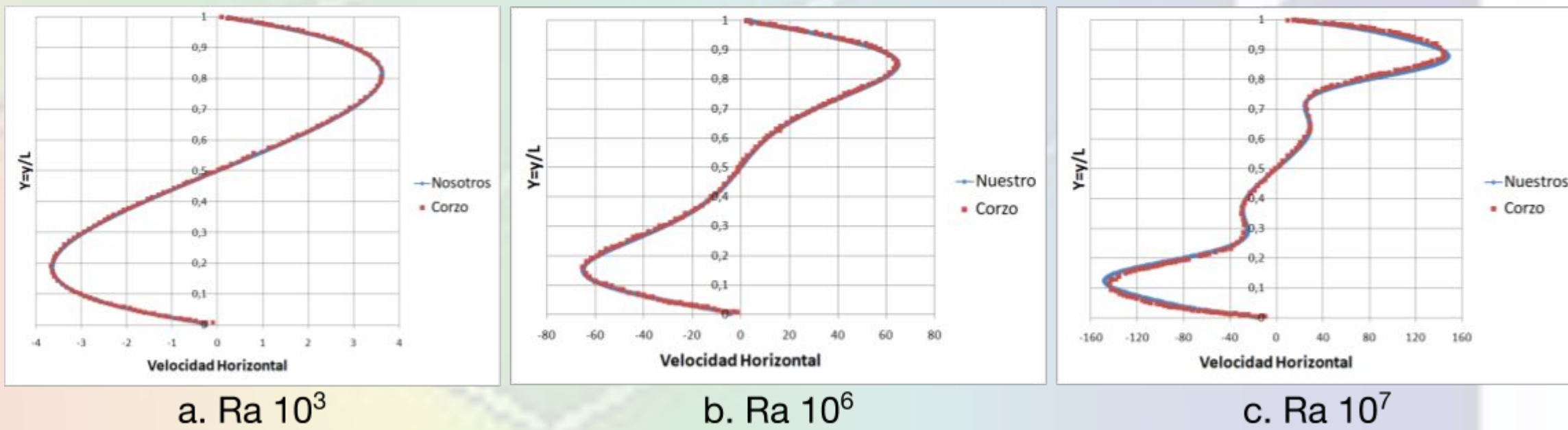


Figura 3: Comparación de valores obtenidos con resultados de Corzo [6] para diferentes números de Rayleigh.

Resultados y discusión

Se realizaron distintas simulaciones ajustando los parámetros del medio poroso de acuerdo a la cantidad de aletas del disipador. Se establecieron **temperaturas constantes** (condición Dirichlet) como **condiciones de borde e iniciales** tanto en la cara derecha del gabinete (pared fría) como en la superficie de contacto entre el disipador y el procesador (pared caliente), mientras que las demás caras del gabinete permanecen aisladas térmicamente (condición Neumann). Se simuló durante tiempo suficiente tal que permitiera alcanzar el **estado estacionario** del sistema.

Del resultado de las simulaciones se observó que el flujo de aire predomina en la dirección de la gravedad (eje z) y el flujo de calor ocurre de izquierda a derecha entre las zonas caliente y fría del sistema, respectivamente. Se visualizó claramente el fenómeno de **convección natural** dentro de una **cavidad cerrada** y la gran influencia de la **variación de la densidad** del aire. Esto último queda evidenciado por la gran diferencia en la magnitud de la velocidad del aire que entra y sale del disipador. Al analizar los resultados obtenidos en distintas simulaciones se observó que la distribución de temperaturas y velocidades son similares entre los distintos sistemas, por lo que, la influencia del número de aletas en la transferencia térmica queda evidenciada en el cálculo del flujo de calor extraído por el aire.

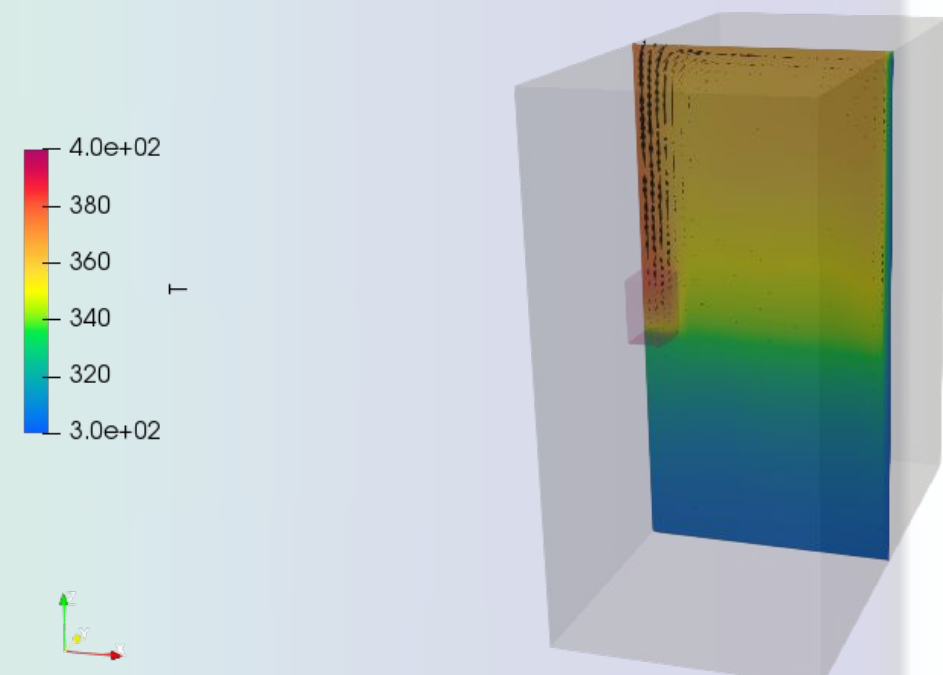


Figura 4: Corte transversal del resultado de la simulación de un disipador de **5 aletas**. En la escala de colores se muestra la temperatura del aire y los vectores indican la velocidad del mismo.

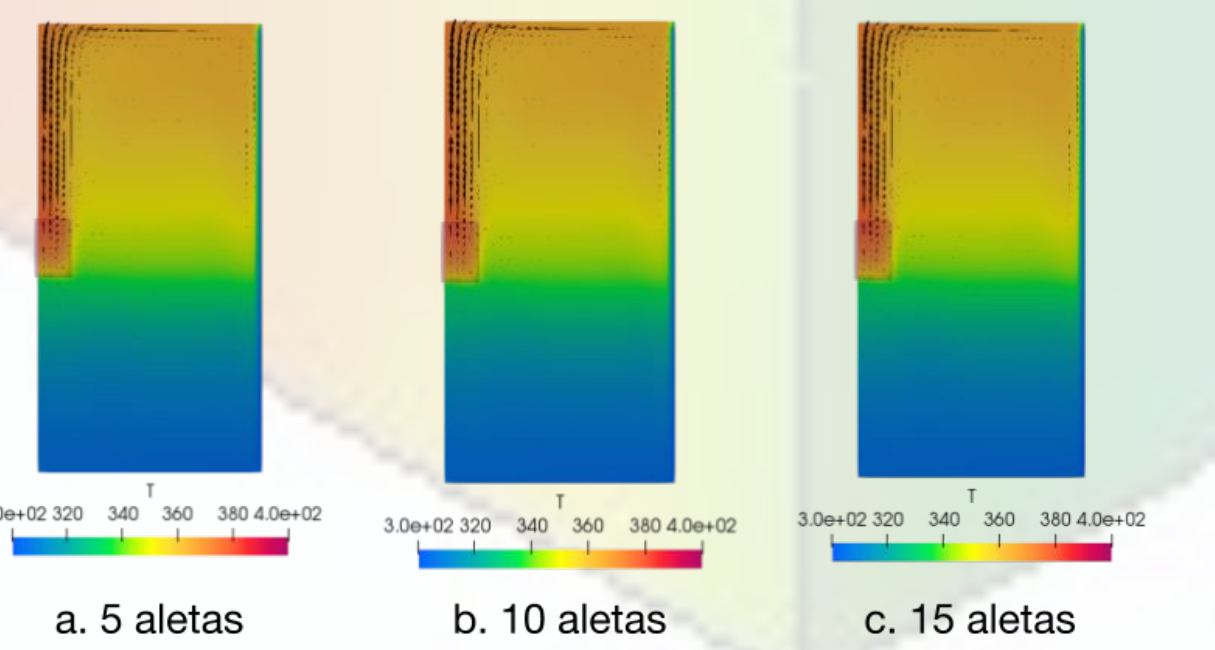


Figura 5: Simulaciones de disipadores con distintas cantidades de aletas.

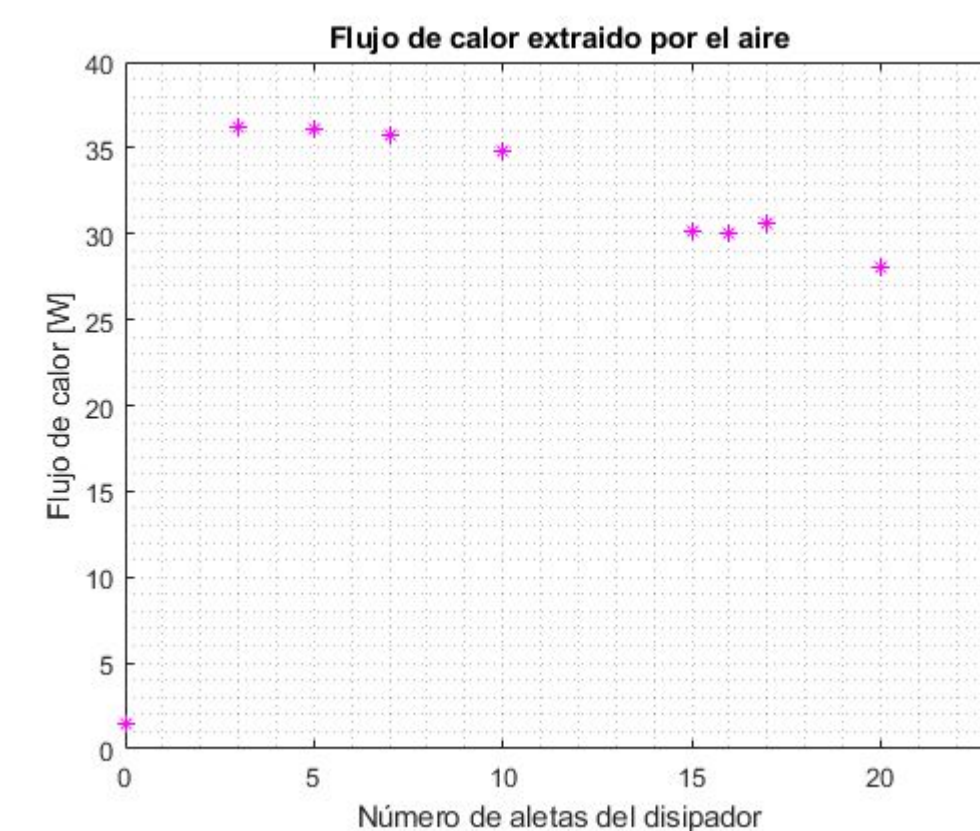


Figura 6: Flujo de calor extraído por el aire para distintas cantidades de aletas.

Se calculó el flujo de calor extraído por el aire en cada configuración de aletas y al graficar estos datos se observó que existe una determinada cantidad de aletas que optimiza la transferencia de calor.

Conclusiones

Se utilizó un modelo de CFD de código libre para la simulación de un problema de convección natural y transferencia de calor conjugada. Se realizaron una serie de pruebas benchmark para validar dicho modelo mediante una simulación bidimensional. Se constataron los resultados obtenidos contra datos numéricos de otros trabajos de referencia. Una vez validada la herramienta se definió un caso de interés tecnológico, como lo es un disipador de aletas, cuyo diseño optimizado permite proteger componentes electrónicos en servicio e incluso alargar su vida útil. Se realizaron sucesivas simulaciones para distintos casos y se analizaron críticamente los resultados obtenidos. De éstos se deduce que existe una configuración de aletas que permite maximizar la extracción de calor del procesador a través del disipador. A futuro, se propone mejorar el modelo de medios porosos planteado, acercando aún más la modelización a la realidad, para lo cual resulta de interés comparar nuevos estudios con una simulación detallada del disipador. Se espera que con este nuevo modelo, sea posible encontrar la configuración óptima mencionada.