

## **Diseño de módulo de testeo para disipadores de calor usados en sistemas de energías renovables**

Laura Isabel Ramírez Serna<sup>1</sup>, Juan Antonio Ramírez Vázquez<sup>2</sup>  
Departamento de Ciencias Ambientales  
li.ramirezserna@ugto.mx<sup>1</sup>  
juan.ramirez@ugto.mx<sup>2</sup>

### **Resumen**

Este trabajo sienta las bases para llevar a cabo una caracterización experimental de disipadores de calor híbridos refrigerados por agua para sistemas utilizados en energías renovables. La construcción del módulo de testeo para esta caracterización requiere de diversos dispositivos. Estos consisten en un bloque de agua que contiene colectores de canales fractales que terminan en una serie de boquillas de chorro unidas a una placa de cobre. Con ello, es posible investigar los efectos del número y la distribución de las boquillas de chorro, la profundidad de la cámara de inundación y las características de mejora de la superficie en términos de rendimiento hidráulico y térmico. Se podrá observar las variaciones de caída de presión para diferentes boquillas. Alternativamente, se puede relacionar la caída de presión con una reducción del tamaño de las boquillas. Se podrá vincular la temperatura de los disipadores de calor con los tipos de flujo de entrada para estimar el rendimiento térmico. La instalación permitirá mejorar los tipos de áreas que se pueden sin que tenga efectos insignificantes en el rendimiento hidráulico. Además, se podrá analizar a fondo el desempeño termo hidráulico, calculando la resistencia térmica y la potencia de bombeo. La evaluación general del rendimiento se realizó utilizando una métrica formada por la combinación de la resistencia térmica y la potencia de bombeo. Permitirá identificar el mejor disipador de calor en función de las características del termo fluido, es decir, la temperatura central más baja con la menor potencia de bombeo.

### **Palabras clave:**

Disipadores híbridos, rendimiento térmico, canales de flujo.

### **Antecedentes**

Con la miniaturización de los equipos electrónicos de alto rendimiento se plantean nuevos requerimientos para la correcta gestión térmica de sus componentes. Las altas temperaturas de operación conducen a un rendimiento reducido y acortan la vida útil de los dispositivos electrónicos, ya que se ha demostrado que un aumento en las temperaturas de operación aumenta exponencialmente el riesgo de falla catastrófica, a pesar de los grandes avances en el enfriamiento de la electrónica mantener una distribución uniforme resulta una tarea difícil esto debido a la presencia de puntos de acceso causados por la distribución de energía no uniforme en los paquetes de chips.

se realizaron numerosas investigaciones sobre disipadores de calor enfriados por aire para explorar y mejorar sus capacidades de enfriamiento y a pesar de estos avances, las soluciones convencionales de refrigeración por aire son inadecuadas para la electrónica de alto rendimiento, en cambio la refrigeración líquida tiene ventajas notorias, ya que ofrece tasas de enfriamiento superiores, reducción de ruido y modularidad.

Desde el trabajo de Tuckerman y Pease para la gestión térmica de circuitos integrados se han utilizado una variedad de métodos de refrigeración líquida, como la ebullición en piscina, los disipadores de calor de micro canales, el impacto por chorro y la refrigeración por aspersión.

Los disipadores de calor de micro canal se destacan por ser una solución confiable. En la encuesta exhaustiva informada por Kandlikar et se discute que una reducción en las dimensiones del canal conduce a una mayor superficie por unidad de volumen, lo que aumenta el coeficiente de transferencia de calor; Aunque existen

deficiencias importantes ya que el potencial de mejora solo se limita a pequeñas regiones cercanas a la región de entrada y los micro canales generan naturalmente caídas de presión altas.

Los disipadores de calor enfriados por microjet representan un remedio plausible para estos contratiempos, Natraján demostró la gran capacidad de enfriamiento de los disipadores de calor microjet sumergidos al poder disipar hasta 250 W/cm<sup>2</sup> con una caída de presión inferior a 70 kPa. demostraron el efecto de las características. en la superficie de impacto; Se agregaron aletas circulares, rectangulares y en forma de cono sobre la superficie de impacto y sus hallazgos revelaron que las aletas circulares conducían a las temperaturas superficiales más bajas.

Se descubrió que los chorros muy juntos y las salidas alternas en el enfriamiento por micro chorro son beneficiosos para la transferencia de calor, ya que la interferencia del flujo cruzado se reduce drásticamente, lo que mejora la uniformidad del enfriamiento y reduce las cargas de bombeo.

los disipadores de calor de microchorro se asocian con caídas de presión bajas y resistencia térmica modesta en comparación con los disipadores de calor de microcanal Un disipador de calor híbrido ofrecería un alto rendimiento de enfriamiento y una temperatura superficial uniforme con una caída de presión y una resistencia térmica comparativamente más bajas.

Se han propuesto disipadores de calor que combinan conjuntos de microchorros de impacto y microcanales con aletas de clavija en la superficie enfriada. Robinson et al. presentó un complejo disipador de calor híbrido, cuya fabricación solo se logró mediante la implementación de la fabricación aditiva MICA Freeform. Se disiparon flujos de calor de hasta 1000 W/cm<sup>2</sup> con el uso de este dispositivo dentro de un rango aceptable de temperaturas de funcionamiento para la electrónica basada en Si (75 °C a 85 °C), lo que llamó la atención sobre las posibles capacidades de gestión térmica alcanzables con la implementación de nuevas técnicas de fabricación.

## Disipadores de calor híbridos

Los disipadores de calor híbridos están hechos de una combinación de un colector de canales fractales de entrada, una matriz de impacto de microchorros, una cámara de inundación y un colector de extracción, todo contenido dentro de una carcasa.

En el prototipo estudiado El agua entra por el colector de entrada, perpendicular a la superficie de impacto, que se bifurca sucesivamente siguiendo una geometría fractal. El agua se distribuye homogéneamente en la cámara de inundación, donde se produce el choque con un disipador de calor de cobre. El líquido se extrae a través del colector de salida, que cuenta con puertos de extracción cerca de las boquillas para evitar el flujo cruzado. Se construyeron disipadores de calor con 16, 32 y 64 boquillas de chorro con un espesor de cámara de inundación (distancia entre la salida de las boquillas y la placa de cobre) de 4 mm. Se fabricó un disipador de calor de 64 chorros con un espesor de cámara de inundación de 1 mm, denominado 64v2.

### Diseño del módulo de testeo

1. Un sistema de tubería vertical con un armazón a base de aluminio estructural de perfil 40x80 y una placa de madera sobre la que se colocó toda la instalación.
2. Depósito contenedor de agua de 180 litros abierto a la atmosfera, lo cual permite que la temperatura del fluido se mantenga a temperatura ambiente y, en dado caso, aumentar o disminuir su nivel energético a partir de la adición o substracción de energía térmica (calentamiento por resistencia eléctrica o enfriamiento con hielos).
3. Sistema de bombeo de flujo continuo de 120 W o 370 W.
4. Sistema de bypass controlado con válvula de control a fin de ajustar el caudal pasando por el sistema de calentamiento.
5. Medidores de flujo (caudal) en dos tomas independientes, uno digital con rango de 4 LPM a 60 LPM (precisión  $\pm 1\%$ , repetitividad  $\pm 0.5\%$ ) y otro visual con rango de 1 LPM a 11 LPM (precisión  $\pm 5\%$ ) a fin de tener certeza en la estabilización del fluido.
6. Medidor de presión manométrica del fluido a la entrada y salida del prototipo con rango de 0 a 60 psi (0 a 4.22 kg/cm<sup>2</sup>) a fin de determinar la caída de presión causada por el sistema a probar (precisión  $\pm 1.6\%$ ).
7. Termopares de bayoneta tipo K sumergibles al agua para medir la temperatura de ésta en el depósito, así como a la entrada y salida del prototipo (precisión  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ).

8. Tarjeta de adquisición de datos para la conexión de termopares y transferencia de información al equipo de cómputo y monitoreo, permitiendo observar y capturar el comportamiento de las diferentes temperaturas en forma transitoria (precisión  $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ ).
9. Fuente de energía para alimentar de energía eléctrica al sistema.
10. Amperímetro de gancho para medir la corriente demandada por la fuente de energía (precisión  $\pm 1\% + 2d$ ).
11. Toda la tubería para el paso del fluido es tubería hidráulica de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro de material PPR Polipropileno Copolimero Random de alta resistencia y antibacterial.

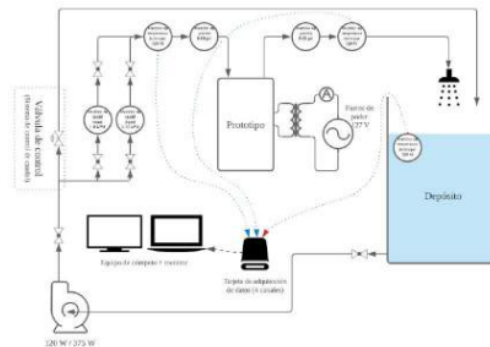


Figura 1. Diagrama del módulo de prueba.

La Figura 1 muestra el módulo de prueba para la evaluación experimental del sistema a partir de los elementos listados previamente. En esta imagen se observa claramente el depósito considerado para el almacenamiento y descarga del agua dentro del circuito; el sistema de cómputo y monitoreo conectado a la tarjeta de adquisición de datos que monitorean la temperatura del fluido a la entrada y salida de la zona de conexión del sistema, así como de la superficie de la tubería sujeta a inducción; el equipo de bombeo requerido para hacer fluir el agua a través del circuito; el sistema de medición de caudal tanto digital como visual; y las líneas de descarga de bypass hacia el depósito. La Figura 2 muestra el módulo ya instalado.



Figura 2. Módulo de prueba en laboratorio DICIVA.

### Revisión de funcionalidad

La funcionalidad del banco de prueba radica en conocer su comportamiento tanto térmico (temperatura de entrada y salida al sistema de calentamiento), hidrodinámico (caudal y caída de presión generada por el

banco de pruebas) y eléctrico (corriente demandada por la fuente de energía) a las diferentes configuraciones posibles a partir de los elementos usados, permitiendo con ello su

calibración. Se propondrán diferentes configuraciones para probar la funcionalidad de la operación del sistema. Con base en la del caudal en la zona de pruebas del prototipo (líneas de entrada y salida), esto es, funcionalidad=f(Caudal, temperatura, corriente). Este proceso fue realizado en 12 bloques, con un barrido de apertura (desde cerrado hasta abierto) de la válvula de control. Ya que el sistema de bombeo es constante, la regulación de caudal se realiza dando apertura controlada a la línea de bypass a través de la válvula de control instalada para estos propósitos. Una vez obtenido un caudal estable, se procede a realizar la medición de presión manométrica en la línea de entrada y salida del prototipo, así como la temperatura del fluido en ambas posiciones. La variación de presión contra el caudal de agua pasando a través del sistema permite generar la línea de operación del banco de pruebas.

La funcionalidad térmica del banco de pruebas es evaluada a partir de realizar mediciones de temperatura del agua con los termopares instalados a la entrada y salida del prototipo (sin ser instalado), y contrastarlos con la temperatura del depósito en la zona de succión de agua una vez que el equipo de bombeo se encuentra operando. Se consideran 48 mediciones a diferentes condiciones de temperatura ambiente (temperatura del fluido en el depósito), lo cual representa 1 medición térmica por cada 4 hidrodinámicas.

### Disipador de calor de salida única

Se fabricó un disipador de calor más simple y convencional para compararlo con los disipadores de calor híbridos, la cubierta exterior y el interior del disipador de calor de salida única. Los diámetros de entrada y salida se fijaron en 9,15 mm y son compatibles con los accesorios de púas disponibles en el mercado de 1/2". La cámara de inundación (1 mm de profundidad) es ligeramente diferente ya que presenta una superficie de estrangulación. Esta superficie de estrangulación fuerza el fluido a través de las aletas de pasador fabricadas en la placa de cobre, promoviendo un flujo similar a minicanales en lugar del impacto del chorro. La inclusión de la superficie de estrangulación imposibilita el funcionamiento del SOHS con placa lisa debido a la obstrucción total de la entrada. La sección de estrangulamiento encierra la región de entrada (24,83 x 9,15 mm<sup>2</sup>) y  $h_1=25,94$  mm y  $l_1=1,32$  mm.

### Evaluación de la resistencia térmica y el rendimiento general

Se puede obtener una estimación de la resistencia térmica a partir de

$$R = \frac{\bar{T}_s - T_{in}^f}{q}$$

donde  $T_s$  es la temperatura central promedio en K,  $T_{in}^f$  es la temperatura del fluido de trabajo en la entrada y  $q$  representa la potencia de diseño térmico (95 W).

En el circuito de refrigeración, los requisitos de potencia de entrada están asociados con la potencia necesaria para superar las pérdidas de presión a través del disipador de calor a un determinado caudal volumétrico; así, la potencia de bombeo ( $\dot{W}_p$ , (W)), se puede definir como el producto de la caída de presión ( $\Delta P$ ) en Pa y el caudal volumétrico ( $V$ ) en m<sup>3</sup>/s como

$$\dot{W}_p = \dot{V} \Delta P$$

La evaluación de la resistencia térmica estimada en función de la potencia de bombeo engloba las características del diseño hidráulico y térmico, y ayuda en la selección del mejor dispositivo de refrigeración.

El diseño con 32 chorros tiene la resistencia térmica más alta, mientras que los diseños de 16 y 64 chorros tenían resistencias similares con potencias de bombeo por debajo de 0,5 W. Los efectos de la profundidad de la cámara de inundación en los disipadores de calor de 64 chorros demostraron ser insignificantes, como promedio. se observaron diferencias no superiores al 2,3%.

Una métrica integral que no solo abarca los rendimientos hidráulicos y térmicos, sino que también da cuenta de las variaciones de estos parámetros en una métrica de un solo valor, se introdujo como PPTR, que se define como el área bajo la curva en un diagrama de resistencia térmica versus potencia de bombeo.

$$PPTR = \int R d\dot{W}_p$$

Dado que el PPTR comprende tanto parámetros térmicos como hidráulicos, una modificación en cualquiera de los dos afectará al PPTR, donde valores más bajos de esta métrica implican un mejor desempeño general en los dispositivos de enfriamiento.

## Conclusión

Se han sentado las bases para realizar investigaciones experimentales para obtener el rendimiento térmico e hidráulico de disipadores de calor híbridos enfriados por agua en un módulo de testeo. Los disipadores de calor estarán compuestos por una placa de cobre y carcasas impresas en 3D que contendrán colectores de canales de flujo. Se podrán usar mediciones de la tasa de flujo volumétrico y la caída de presión en los disipadores de calor enfriados por líquido para evaluar el rendimiento hidráulico, mientras que la temperatura será detectada desde un sistema de adquisición de datos que evaluará el rendimiento térmico. La evaluación de la resistencia térmica estimada y la potencia de bombeo requerida ayudarán a tener una mejor percepción del desempeño del sistema. El módulo de testeo permitirá informar mejor sobre el rendimiento general de los disipadores de calor, especialmente entre los diseños híbridos.

## Referencias

- Gonzalez, U., Samir, S., & Ramos, B.. (2019). *Experimental investigation of the cooling performance of 3-D printed hybrid water-cooled heat sinks*. Junio 23, 2022.
- Rubio, A.. (2021). *Análisis de Regadera Residencial Ecológica para Mejora en el manejo de Agua y Energéticos*. Junio 23, 2022, de Universidad de Guanajuato.
- D.B. Tuckerman, R.F.W. Pease, High-performance heat sinking for VLSI, IEEE Electron Device Lett. 2 (5) (1981) 126–129.
- S.G. Kandlikar, A.V. Bapat, Evaluation of jet impingement, spray and microchannel chip cooling options for high heat flux removal, Heat Transfer Eng. 28 (11) (2007) 911–923.
- G. Natarajan, R.J. Bezzam, Microjet cooler with distributed returns, Heat Transfer Eng. 28 (8–9) (2007) 779–787.
- S. Wiriyasart, P. Naphon, Liquid impingement cooling of cold plate heat sink with different fin configurations: high heat flux applications, Int. J. Heat Mass Transf. 140 (2019) 281–292.