



EFFECTO DE LA SECCIÓN TRASVERSAL EN LA EFICIENCIA DE LOS DISIPADORES DE CALOR FORMADOS POR ALETAS

Fabián Alejandro Saavedra Balderas^a, Francisco Javier Ortega Herrera^b, Jacinto Torres Jiménez^b, María del Refugio Gonzalez Ponce^b, Alfonso Lozano Luna^b, Rafael Alejandro Rodriguez Moreno^b

^aEstudiante Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, fsaavedrabalderas@gmail.com

^bInstituto Tecnológico Superior de Irapuato, frortega@itesi.edu.mx, jacinto.torres@itesi.edu.mx, refugio.gonzalez@itesi.edu.mx, allozano@itesi.edu.mx, rafrodriguez@itesi.edu.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra la realización de un modelo matemático que permite determinar la eficiencia de un disipador de calor formado por aletas. Se analizan aletas con sección transversal circular, rectangular, cuadrada y triangular, el modelo matemático es resuelto numéricamente para analizar el efecto que la forma geométrica de la sección transversal tiene en la eficiencia de las aletas. Para realizar el análisis se considera que las aletas están expuesta a convección en toda su superficie incluyendo la punta, además para las cuatro diferentes formas geométricas analizadas se considera que tienen la misma área transversal independientemente de la forma geométrica. Los resultados obtenidos son graficados en función de la longitud de la aleta y en función del valor del área de la sección transversal. Las gráficas muestran que las aletas de sección transversal rectangular tienen una mayor eficiencia y las aletas circulares tienen la menor eficiencia, también se puede observar que las aletas rectangulares necesitan una menor longitud para alcanzar la misma eficiencia que el resto de las aletas, por tanto las aletas rectangulares son las más recomendables para su uso en disipadores de calor.

1. INTRODUCCIÓN

Los disipadores de calor son muy utilizados para aumentar la transferencia de calor en dispositivos eléctricos y electrónicos, los más ampliamente utilizados son aquellos conocidos como aletas o superficies extendidas, muchas son las investigaciones que se han realizado en este campo del conocimiento, Dong-Kwon, Jaehoon y Sung, (2010) muestran que la resistencia térmica de los disipadores de calor de placa-aleta se reduce si se permite que el espesor de la aleta se incremente en la dirección normal al flujo, mientras que Dong-Kwon (2012) realiza un estudio sobre el rendimiento térmico de un disipador de calor de placa-aleta vertical bajo convección natural, el autor optimiza el caso para cuando el espesor de la aleta varía en la dirección normal al flujo del fluido. Por su parte Rao y Patel (2010) realizan la optimización termodinámica de un intercambiador de calor con aletas. Kim, Yoo y Jang (2002) investigan las características de la transferencia de calor de un flujo laminar completamente desarrollado en convección forzada dentro de un tubo de aletas de sección circular con un flujo de calor axial uniforme y temperatura en la pared uniforme.

Por su parte Correa, Reyes y Marin (2010) desarrolla una investigación experimental para determinar la eficiencia térmica de un tubo para la transferencia de calor (TPTC o heat pipe) y la comparan con los elementos comúnmente utilizados para disipar calor en un circuito. Marín, Tibaduiza y Correa (2012) describen un calorímetro utilizado para la determinación experimental de la cantidad de calor generado por circuitos electrónicos con la particularidad de permitir la entrada de potencia eléctrica al circuito electrónico bajo ensayo. Girón, Hernández, Rubio e Hilda (2006)



realizan una conjunción del estado del arte de investigaciones analíticas técnicas, experimentales y numéricas de los tipos de aletas y arreglos geométricos más usados. Carvajal Sánchez, Cruz, Núñez y Abugaber (2004) comparan la eficiencia térmica de tubos aletados inclinados y tubos con aletas inclinadas un ángulo de 45°, comparando los resultados con los obtenidos por otros autores en un tubo inclinado 40° con respecto a la dirección del flujo, por su parte, Carvajal, Sánchez, Cruz y Tolentino (2008) presentan resultados experimentales de la transferencia de calor y la caída de presión en una superficie extendida compuesta de tubos con aletas cónicas.

Obregón, Molina y Salvo (2005) presentan los resultados obtenidos de simulaciones realizadas en sistemas donde la convección natural es el principal mecanismo de transferencia de energía. Gil (2006) caracteriza experimentalmente un intercambiador de calor del tipo gas-liquido con una superficie extendida de tubos con aletas cónicas, estudia dos tipos de arreglos entre tubos, uno en forma equilátero y otro en triángulo isósceles. Por su parte Basualdo (2006) presenta resultados experimentales para la determinación de la resistencia térmica por contacto que se lleva a cabo en dos tubos aletados, uno de cobre y el otro de aluminio, ambos con aletas de aluminio tipo L. López y Bautista (2009) determinan la eficiencia de una aleta con conductividad térmica variable, mediante el método de perturbación homotópica, esto lo hacen resolviendo la ecuación diferencial no lineal que describe la variación de la temperatura en una aleta con conductividad térmica variable. Mientras que Argumedo (2010) realiza un análisis numérico del proceso de transferencia de calor por convección natural de una superficie vertical con aletas inclinadas, comenta que la disposición geométrica de las aletas, el material de la misma y el tipo de fluido de trabajo son determinantes para mejorar la transferencia de calor.

El objetivo del presente trabajo es comparar la eficiencia de aletas con secciones transversales cuadradas, circulares, rectangulares y triangulares para realizar esta comparación se considera que el área superficial de las aletas es la misma.

2. MODELO MATEMÁTICO

En la Tabla 1 se presenta la nomenclatura utilizada para desarrollar el modelo matemático.

Tabla 1. Nomenclatura utilizada para el desarrollo del modelo matemático

A_c	Área de la sección transversal	k	Conductividad térmica de la aleta
A_f	Área de la aleta	L	longitud de la aleta
a	Ancho de la sección transversal rectangular	M	Variables definida por la Ecuación (3)
b	Largo de la sección transversal rectangular	m	Variables definida por la Ecuación (4)
c	Lado de la sección transversal cuadrada	P	Perímetro de la sección transversal
d	Diámetro de la sección transversal circular	q_f	Transferencia de calor de la aleta
e	Lado de la sección transversal triangular	η_f	Eficiencia de la aleta
h	Coeficiente de transferencia de calor por convección entre la aleta y el fluido	θ_b	Diferencia de temperatura entre la base de la aleta y el fluido que la rodea

Para realizar el modelo matemático se considera que la punta de la aleta sufre convección, Incropera (1999) define la transferencia de calor con convección en la punta y la eficiencia de una aleta mediante las Ecuaciones (1) y (2) respectivamente.

$$q_f = M \frac{\sinh mL + (h / mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h / mk) \sinh mL} \quad (1)$$

$$\eta_f = \frac{q_f}{h A_f \theta_b} \quad (2)$$

donde



$$M = \theta_b \sqrt{hPkA_c} \quad (3)$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} \quad (4)$$

Combinando las Ecuaciones (1) a (4) se obtiene que la eficiencia para una aleta con convección en la punta se puede determinar por la Ecuación (5).

$$\eta_f = \frac{P}{mA_f} \left(\frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \right) \quad (5)$$

Las ecuaciones para determinar el área de la sección transversal, el área total de la aleta y el perímetro de la aleta para secciones transversales circulares, rectangulares, triangulares y cuadradas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones para determinar las áreas y el perímetro de las aletas

	Sección transversal			
	Circular	Rectangular	Triangular	Cuadrada
Perímetro	$P = \pi d$ (6)	$P = 2a + 2b$ (9)	$P = 3e$ (12)	$P = 4c$ (15)
Área	$A_c = \frac{\pi d^2}{4}$ (7)	$A = ab$ (10)	$A = \frac{\sqrt{3}}{4} e^2$ (13)	$A = c^2$ (16)
Área total	$A_f = A_c + LP$ (8)	$A_f = A_c + LP$ (11)	$A_f = A_c + LP$ (14)	$A_f = A_c + LP$ (17)

Derivando la Ecuación (5) e igualando a cero se determina que un valor de $mL=2.6$ ha transferido el 99% del calor de la aleta, por tanto se considera que el valor de L ideal debe ser $L=2.6/m$.

Las Ecuaciones (4) a (17) describe el modelo matemático que permite determinar la eficiencia de las aletas para secciones transversales circulares, rectangulares, triangulares y cuadradas y de esta forma comparar su eficiencia y determinar cuál es la más recomendable de utilizar.

3. RESULTADOS

Para resolver el caso de estudios planteado se considera que las aletas tienen la misma área superficial independientemente de la forma geométrica de la sección transversal, se considera que el material de las aletas es aluminio. Los valores numéricos de entrada al sistema para los cuales se resuelve numéricamente el modelo desarrollado son: $h=100 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K}$ y $k= 210 \text{ w/m} \cdot \text{K}$. El modelo matemático es resuelto para una variación del área superficial de 0.001 a 0.059 m la longitud de la aleta se calcula mediante $L=2.6/m$, los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 1, 2 y 3.

La Figura 1 muestra la eficiencia de las aletas en función de la variación del área de la sección transversal de la aleta, en la figura se observa que la aleta con sección transversal rectangular es la que tiene la mayor eficiencia de las cuatro analizadas y dicha efectividad decrece conforme aumenta el área de la sección transversal. La Figura 2 presenta la eficiencia de las aletas en función de su longitud, se observa que la eficiencia de las aletas en función de la longitud de la misma para secciones transversales circular, cuadrada y triangular prácticamente es la misma y por tanto las líneas se superponen en la gráfica. En la Figura 3 se muestra la variación de la longitud en función del cambio de área en la sección transversal de la aleta, se observa que conforme aumenta el área la longitud de la aleta también tiene que aumentar y que este aumento es más significativo para aletas de sección transversal circular.

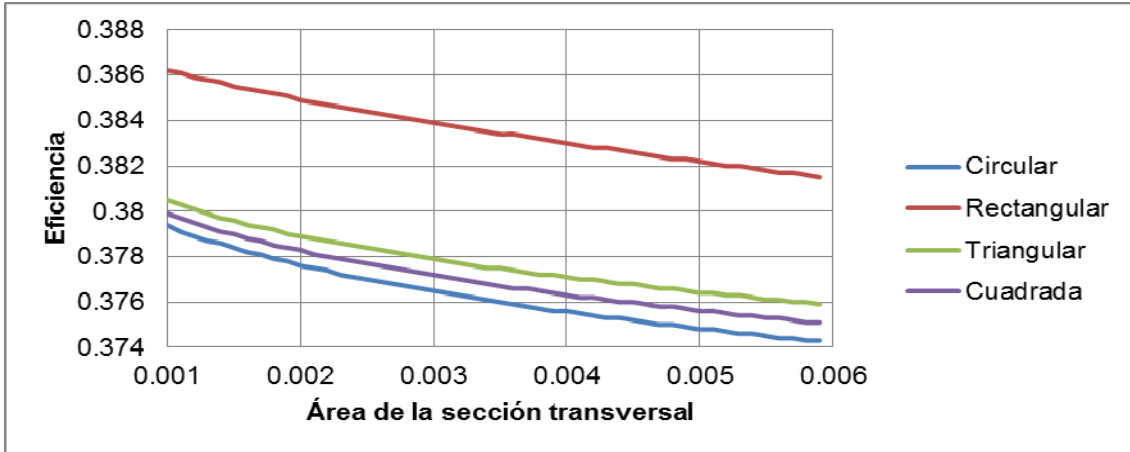


Figura 1. Gráfica de eficiencia en función del área de la sección transversal de la aleta

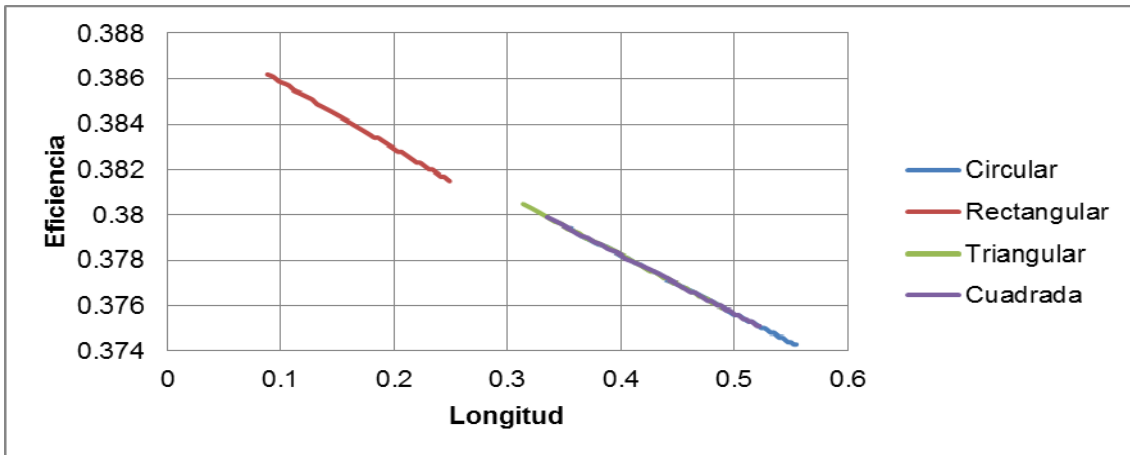


Figura 2. Gráfica de eficiencia en función de la longitud de la aleta

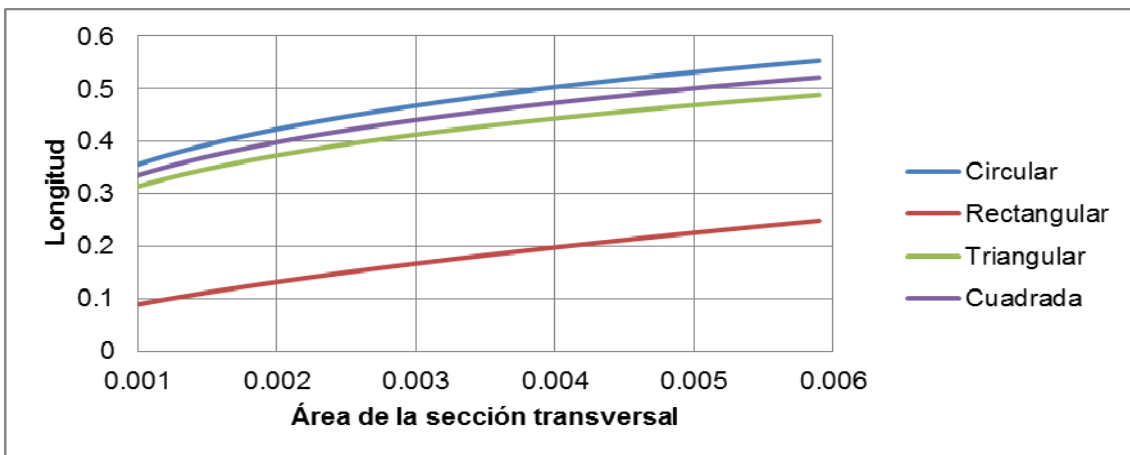


Figura 3. Gráfica de la longitud en función del área de la sección transversal de la aleta



4. CONCLUSIONES

La eficiencia de las aletas con sección transversal rectangular es más grande que la eficiencia de aletas con sección transversal cuadrada, circular o triangular cuando todas se encuentran sometidas a las mismas condiciones de convecciones, son del mismo material y tienen el mismo valor de área en su sección transversal, de la misma forma las aletas rectangulares necesitan la menor longitud para alcanzar el mismo valor de la eficiencia que aletas circulares, cuadradas o triangulares, por tanto es recomendable el uso de aletas con sección transversal rectangular ya que tienen la mayor eficiencia y necesitan la menor longitud activa para disipar el calor.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dong-Kwon K. "Thermal optimization of plate-fin heat sinks with fins of variable thickness under natural convection", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.55, 4, 2012.
2. Dong-Kwon K., Jaehoon J. y Sung Jin K. "Thermal optimization of plate-fin heat sinks with variable thickness", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, 25-26, 2010.
3. Kim S. J., Yoo J. W. y Jang S. P. "Thermal optimization of a circular-sectored finned tube using a porous medium approach," *Transactions of ASME*, Vol. 124, 2002.
4. Rao R. V. y Patel V.K., "Thermodynamic optimization of cross flow plate-fin heat exchanger using a particle swarm optimization algorithm," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49, 9, 2010.
5. Correa R., Reyes O., y Marín J., "Disipación de la energía generada en un circuito electrónico utilizando un TPTC (heat pipe)", *Revista Ingeniería e Investigación*, Universidad Nacional de Colombia, Vol. 30, 1, 2010.
6. Marín J., Tibaduiza D. y Correa R., "Determinación experimental de la cantidad de calor emitida por un circuito electrónico", *Revista Ingeniería*, Vol. 11, 20, 2012.
7. Girón B, Hernández A., Rubio C. e Hilda R., "Optimización y análisis de arreglos de aletas de perfil rectangular, triangular, parabólico cóncavo, parabólico convexo, anulares (hiperbólico, triangular, rectangular) y alfiler", *Revista iberoamericana de ingeniería mecánica*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Vol. 10, 3, 2006.
8. Carvajal I., Sánchez F., Cruz J., Núñez E. y Abugaber J., "Comparación de la eficiencia térmica de tubos aletados inclinados y tubos con aletas inclinadas", *Revista iberoamericana de ingeniería mecánica*, Vol. 8, 1, 2004.
9. Carvajal I., Sánchez F., Cruz J. y Tolentino R., "Influencia del arreglo de tubos sobre las características de una superficie extendida de tubos con aletas cónicas", *Revista Científica*, Instituto Politécnico Nacional, Vol. 12, Núm. 3, 2008.
10. Obregón S., Molina V. y Salvo N., "Simulación de fenómenos de convección natural en recintos cerrados", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 9, 2005.
11. Gil L., "Caracterización experimental de una superficie extendida para su aplicación en intercambiadores de calor enfriados por aire", *Tesis maestría en ciencias*, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2006.
12. Basualdo J., "Investigación experimental para determinar la resistencia térmica por contacto en tubos bimetálicos aletados", *Tesis maestría en ciencias*, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2006.
13. López M. y Bautista O., "Determinación de la eficiencia de una aleta con conductividad térmica variable, mediante el método de perturbación homotópica", *Tesina de especialidad en ingeniería mecánica*, Instituto Politécnico Nacional, 2009.
14. Argumedo P., "Simulación numérica de la transferencia de calor por convección libre en superficies verticales con aletas inclinadas", *Tesis maestría en ciencias*, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2010.
15. Incropera F. P. y DeWitt D. P., *Fundamentos de transferencia de calor*, Prentice Hall, 1999.