

**Evaluación numérica del campo de temperatura en las aletas de un sistema de enfriamiento por aire de un motor monocilindro, mediante volúmenes finitos.****Numerical evaluation through finite volumes of the temperature field of an air cooling system through fins on a monocylindrical engine.****Avaliação numérica através dos volumes finitos do campo de temperatura de um sistema de refrigeração de aire através de fins em um motor monocilindrico.****Erick Jesús Ballena Uceda<sup>1</sup>, Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque<sup>2</sup>.****Resumen**

La presente investigación tuvo por objetivo determinar el campo de temperatura en las aletas del sistema de enfriamiento por aire de un motor monocilíndrico marca HONDA, modelo CDI CG 125. El tipo de investigación es descriptivo correlacional, en un nivel transversal, debido a que se midió la temperatura real de funcionamiento en un instante de funcionamiento con un termógrafo. El método numérico utilizado para la solución de las ecuaciones de difusión de calor es de volúmenes finitos y la solución de la discretización de las ecuaciones algebraicas fue con el método de Thomas en el software MatLab. Se determinó el campo de temperatura en su forma adimensional cuya ecuación característica de grado 4 dada por:  $\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944$ , la cual tiene un grado de precisión mediante el grado de correlación lineal de 0.999, un grado de error del 1.87 %, además esta sirvió de base para la generación de las curvas características de las 4 aleta tomadas del monoblock, las cuales a su vez, registraron similitud y la misma tendencia a la ecuación líneas arriba, en comparación con los valores analíticos tiene un grado de error del 0.254%.

**Palabras clave:** Aletas, análisis termográfico, evaluación numérica, software, temperatura.

**Abstract**

The thesis developed in the present work, consists in the evaluation of the fins of a single cylinder motor of the type CDI CG 125 of a motokar, which contain a series of characteristics that identifies them and makes them proper for their development in conjunction with the monoblock. of the thermal engine. In its search for the analysis of these fins, a mathematical - numerical analysis will be carried out, which will be programmable in the MATLAB software, for the development of characteristic curves, which will be a function of the temperature, which will depend only on the length along of the fin, being this length in mm, and developing real working temperatures, which in turn will be linked together with real values proposed by a thermographic analysis made by a TI25 type camera in the facilities of the company COPEINCA SAC. At the end of the development, a data of programmable values will be recorded, the programming of the method, the thermographic analysis, a detailed drawing of the Monoblock of the I.

**Keywords:** Fins, thermographic analysis, numerical evaluation, software, temperature.

**Resumo**

A tese desenvolvida neste trabalho é avaliar as aletas de um único motor de cilindro CDI CG 125 Tipo de um automóvel, que contém um número de características que identifica e faz próprio para desenvolvimento em conjunto com o monobloco do motor térmico. Na sua busca pela análise dessas barbatanas, será realizada uma análise matemática-numérica, que será programável no software MATLAB, para o desenvolvimento de curvas características, que serão função da temperatura, que dependerá apenas do comprimento ao longo da barbatana, sendo este comprimento em mm e desenvolvendo temperaturas de trabalho reais, que por sua vez serão ligadas com valores reais propostos por uma análise termográfica feita por uma câmera tipo TI25 nas instalações da empresa. A avaliação do campo de temperatura em sua forma adimensional mostra a equação característica através do gráfico N ° 01, que em comparação com os valores analíticos tem um grau de erro de 0,254% e em relação à equação gerada de grau 4, que tem um grau de precisão através do grau de correlação linear de 0,999, um grau de erro de 1,87%.

**Palavras-chave:** Análise de espaço e relacionamentos, produtividade, quantidade de produto, redistribuição de plantas.

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería en Energía. Bachiller. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú. [ballenaej@hotmail.com](mailto:ballenaej@hotmail.com)

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería en Energía. Magister. Universidad Nacional del Santa. Chimbote. Perú. [roberto\\_chuya@yahoo.es](mailto:roberto_chuya@yahoo.es). <https://orcid.org/0000-0001-9175-5545>.

Recibido: 23/08/2017

Aceptado: 29/09/2017

## Introducción

La existencia de las maquinas térmicas como herramientas de generación de energía, son elementos indispensables para el desarrollo de actividades como el comercio, el agro, el transporte, la salud, etc.; es por ello que una maquina térmica debe tener múltiples cualidades específicas para poder ser utilizada como herramienta para la variedad de labores dentro del mercado.

El motor monocilíndrico (de 2T o 4T) es utilizado en compresión de aire, motores marinos, cortadoras de césped, generadoras de corriente para uso cotidiano, en vehículos y hasta como impulsores estacionarios de generadoras o sistemas de mantenimiento ([www.vueltafinal.com](http://www.vueltafinal.com)), por ende, siempre se está en la búsqueda de que este equipo funcione adecuadamente sin objeción alguna en su desenvolvimiento; es por ello que se busca analizar y estudiar los sistemas de un motor de este tipo para que en su conjunto logren los objetivos mencionados anteriormente.

El sistema de enfriamiento de un motor monocilíndrico que es generado por un conjunto de aletas, debe cumplir con propiedades mecánicas, físicas y químicas para su desarrollo, y por lo tanto es necesario las experimentaciones del caso.

He aquí donde una evaluación numérica, nos puede permitir un estudio minucioso de las aletas, a través de sus distintas longitudes y diferentes temperaturas que se plasman en el mismo, permitiendo facilitar estudios extensos y costosos, en prácticos y educativos, y lo que es mejor aún, permitiendo la investigación, haciendo uso de herramientas informáticas, que hoy en día están al alcance de cualquier universitario, que encuentre una afinidad a este tipo de aprendizaje denominada “ Simulación Numérica Computacional”.

**Regina y Luíz (1999)** nos manifiestan que en el desarrollo de la transferencia de calor combinada realizada en la pared del tubo de conducción de las aletas y el fluido estudiado, se puede analizar la configuración de parámetros como la caída de presión, la tasa de transferencia de calor por unidad de masa y por unidad de volumen ocupado, buscando la optimización geométrica con respecto a cada parámetro de trabajo, siendo desarrollada a través de una simulación numérica y haciendo uso del método de elementos finitos.

**Mendoza (2013)** nos habla acerca de los modos de transferencia de calor que involucran conducción y convección simultáneamente, mostrando resoluciones de casos bases realizados a través de un análisis numérico y analítico en su conjunto, para la comparación de los distintos parámetros de trabajo como: temperatura, capa límite de velocidad, espesor de la aleta, longitud de la aleta, velocidad de ingreso, capa térmica, número de Reynolds y otros más, haciendo uso de un modelo K E estándar simuladas en el Código de Dinámica de Fluidos Computacional PHOENICS”.

**Caldas, Castejón y Ronceros (2009)** hablan acerca de la transferencia de calor en casos unidimensionales, bidimensional y tridimensional, haciendo uso del método de volumen finito para la discretización de un modelo y también de las ecuaciones a trabajar haciendo uso del método TDMA (Tri Diagonal Matrix Algorithm).

La importancia de realizar simulaciones numéricas computacionales aplicadas a casos específicos, es una tarea muy difícil debido a la gran cantidad de parámetros que abarcan dentro del rango del objeto de estudio. La descripción del fenómeno requiere de conocimientos de pre-grado fundamentalmente además de recorrer otras áreas como la programación y la lógica en cuando a las posibles soluciones de los modelos matemáticos. Los resultados generados adicionarán información para sistemas de enfriamiento de este tipo, además de un mayor grado de saber en cuanto al modelamiento y a la simulación. Entonces nuestro objetivo será, evaluar numéricamente el campo de temperatura de un sistema de enfriamiento por aire mediante aletas en un motor monocilíndrico tipo CDI CG 125.

Para los sistemas de enfriamiento de aire, es necesario reconocer: la estructura, el funcionamiento los tipos y los parámetros de trabajo. Aunque lo correcto sería decir “refrigerados por aire / aceite” ya que este último, además de lubricar, se encarga de limpiar y refrigera el motor. Este sistema viene a ser el más antiguo, y aunque hoy la refrigeración líquida ha terminado por imponerse por cuestiones de potencia, más por el hecho de cumplir normativas de ruido y contaminación, los “antiguos” motores de

aire siguen en plena forma y sin perder adeptos. (Harley-Davidson, fabricante de motos de Estados Unidos con sede en Milwaukee, Wisconsin)

Los cilindros de los motores refrigerados por aire se fabrican de los siguientes tipos: enteramente de acero con aletas maquinadas alrededor; de hierro colado con aletas hechas por fundición; en forma de una camisa de acero o de fundición gris en la cual se encaja un manguito de aluminio con aletas y de la misma camisa, pero colada en aluminio; enteramente de aluminio con la superficie interna recubierta con una capa dura de cromo poroso. El área de la superficie de refrigeración del cilindro es directamente proporcional a la altura y al número de aletas. El calor de las paredes del cilindro se transmite a las superficies de las aletas, de donde es evacuado por el flujo de aire. Cuando la diferencia de temperaturas entre la pared del cilindro y el borde de las aletas es considerable, la mejor forma de la sección transversal de la aleta para transmitir el calor resulta trapezoidal.

Este sistema consiste en evacuar directamente el calor del motor a la atmósfera a través del aire que lo circunda. Aunque la refrigeración por aire se utiliza por lo general en los motores pequeños y baratos no significa que el sistema sea ineficaz. Las ventajas de la refrigeración por aire son una mayor sencillez, mayor rendimiento térmico y menor consumo.

Dentro de los tipos de refrigeración tenemos: **la refrigeración directa**, que se emplea este sistema en motocicletas, donde el motor va completamente al aire, efectuándose la refrigeración por el aire que hace impacto sobre las aletas durante la marcha del vehículo, siendo por tanto más eficaz la refrigeración cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento y la **refrigeración forzada** que es utilizada en vehículos donde el motor va encerrado en la carrocería y por tanto, con menor contacto con el aire durante su desplazamiento. Consiste en un potente ventilador movido por el propio motor, el cual crea una fuerte corriente de aire que es canalizada convenientemente hacia los cilindros para obtener una eficaz refrigeración aun cuando el vehículo se desplace a marcha lenta.

Para mejorar la eficiencia, por ejemplo, se disponen de aletas de irradiación, donde la longitud es proporcional a la cantidad de calor a evacuar, en las zonas a refrigerar, ya que para mantener la temperatura del motor es importante encontrar la temperatura exacta de refrigeración que variará según el motor de la misma. Por ejemplo, un motor de 4 tiempos generalmente se encuentra en una buena temperatura a 80°C, mientras que un motor 2 tiempos lo hace a 100°C.

La cantidad de calor transmitido de las paredes al aire está dada por una expresión análoga a la indicada anteriormente:

$$Q = k \Delta T S_e \dots (1)$$

Donde:

$Q$  = Cantidad de calor que los gases ceden a las paredes internas del cilindro en Ca/h

$k$  = Coeficiente de transmisión aire pared en Ca/m<sup>2</sup> °C h

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre aire y paredes en °C

$S_e$ , = Superficie de transmisión externa en m<sup>2</sup>.

La efectividad del sistema de refrigeración por aire se caracteriza por la uniformidad de los campos de temperatura en las paredes de los cilindros y culatas tanto en dirección radial como a lo largo de la altura, por los consumos de potencia en el accionamiento de los ventiladores, así como por sus dimensiones exteriores.

El proceso de los Métodos Numéricos Computacionales consiste en la aproximación de una variable continua en un número finito de puntos a la cual se le denomina *discretización*. Siendo los elementos principales:

Discretización del flujo continuo, es decir, las variables de campo ( $\rho, u, v, \gamma$ ), los cuales se aproximan en número finito de valores en puntos llamados *nodos*.

Las ecuaciones de movimiento también se discretizan, aproximándolas en función a los valores de los nodos.

Ecuaciones integrales  $\Rightarrow$  Ecuaciones algebraicas  
(continuas) (discreta)

Luego el sistema se resuelve y se obtiene los valores de las variables en todos los nodos.

Dentro de las etapas del análisis se tiene: formular el problema y plantear las ecuaciones que lo gobiernan, establecer las condiciones de contorno, la generación de una malla y aplicar el método (elementos finitos, diferencias finitas o volumen finito)

Las aplicaciones que han tenido dentro del campo de la ingeniería se pueden destacar: aerodinámica, hidrodinámica, motores, turbo máquinas – bombas y turbinas, transferencia de calor – mezclas y reacciones químicas, así como cargas de viento.

**Método de Elementos Finitos:** Se empleó para el análisis estructural y fue diez años después cuando comenzó su utilización para la resolución de las ecuaciones de campo en medios continuos. Como método general comienza con una división en elementos triangulares (en 2-D) (Fig. 1) o tetraédricos (en 3-D) generando una malla no estructurada. El número total de nodos multiplicado por el número de variables del problema es el número de grados de libertad del problema.

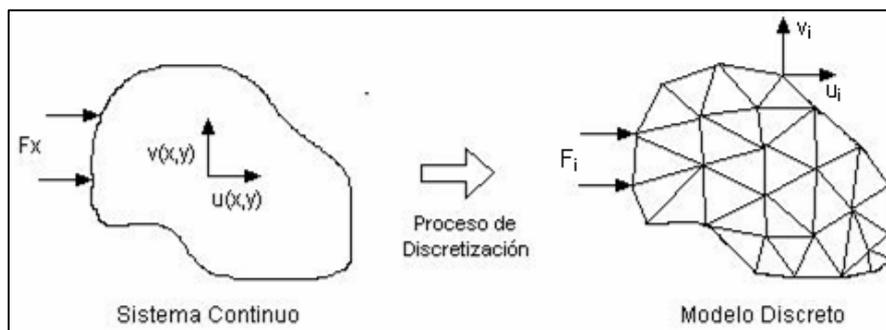


Figura 1. Discretización de variables

Nota. El método de los elementos finitos en la ingeniería práctica

**Método de Diferencia Finitas:** Es un método de carácter general que permite la resolución aproximada de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales definidas en recintos finitos. El primer paso para la aplicación del método consiste en discretizar el recinto del plano en el que se quiere resolver la ecuación con una malla, por conveniencia cuadrada (caso bidimensional). Los puntos estarán separados una distancia  $h$  en ambas direcciones  $x$  e  $y$ .

Para ello se hace uso del desarrollo de la serie de Taylor alrededor de un punto.

$$T(x + h, y) \cong T(x, y) + \frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \cdot h + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} \cdot \frac{h^2}{2} + o(h^3) \dots (2)$$

$$T(x - h, y) \cong T(x, y) - \frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \cdot h + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} \cdot \frac{h^2}{2} - o(h^3) \dots (3)$$

Agrupando los términos, despreciando los términos  $o(h^3)$  y despejando la segunda derivada:

$$\frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} = - \frac{T(x - h, y) - 2T(x, y) + T(x + h, y)}{h^2} \quad (4)$$

De forma similar se obtiene la expresión equivalente:

$$\frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} = - \frac{T(x, y - h) - 2T(x, y) + T(x, y + h)}{h^2} \quad (5)$$

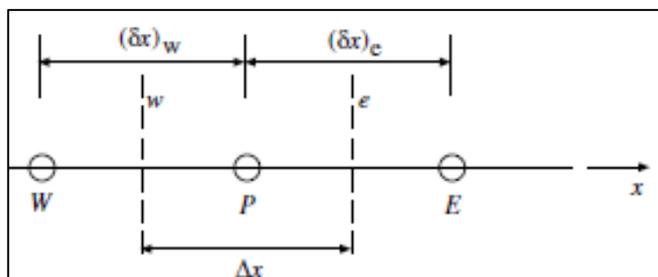
Las cuales son usadas para ecuaciones de segundo grado como la ecuación de Laplace. En forma unidimensional es desarrollable en formas: hacia adelante, atrás y centrada.

**Método de Volumen Finito:** Es uno de los métodos más usados el cual permite discretizar y resolver numéricamente ecuaciones diferenciales. En el cual se requiere especificar perfiles de variación de la variable dependiente entre los puntos de la malla, en la que la solución obtenida satisface de forma exacta las ecuaciones, independiente del tamaño de la malla.

Para entender mejor la forma en que trabaja este tipo de método se hará un ejemplo ilustrativo con la ecuación de calor unidimensional permanente:

$$\frac{d}{dx} \left( K \frac{dT}{dx} \right) + S = 0 \quad (6)$$

Donde  $K$  es el coeficiente de conducción térmica,  $T$  es la temperatura y  $S$  es un término fuente que en este caso representa la tasa de generación de calor por unidad de volumen. Para la discretización mostrada en la Fig.2 se tiene el punto  $P$  de la malla, el cual tiene como puntos vecinos los puntos  $W$  (izquierda, dirección  $-x$ ) y  $E$  (derecha, dirección  $+x$ ). La distancia entre  $W$  y  $P$  es  $(\delta x)_w$ , la distancia entre  $P$  y  $E$  es  $(\delta x)_e$ . Entre los puntos  $W$  y  $P$ , se encuentra  $w$  que corresponde al límite izquierdo del volumen de control construido entorno a  $P$ . Entre los puntos  $P$  y  $E$ , se encuentra el punto  $e$  que corresponde al límite derecho del volumen de control considerado. La distancia entre  $w$  y  $e$  es  $\Delta x$ . Como este es un problema unidimensional, el volumen de control tiene dimensiones:  $\Delta x \times 1 \times 1$ .



**Figura 2. Malla de discretización por volúmenes finitos**  
*Nota.* El método de los volúmenes finitos

Integrando la ecuación (6) en el volumen de control considerado, se tiene:

$$\int_w^e \frac{d}{dx} \left( K \frac{dT}{dx} \right) dx + \int_w^e S dx = 0 \quad (7)$$

Definiendo:  $\bar{S}\Delta x = \int_w^e S dx$ , de la ecuación anterior se deduce:

$$\left( K \frac{dT}{dx} \right)_e - \left( K \frac{dT}{dx} \right)_w + \bar{S}\Delta x = 0 \quad (8)$$

Para evaluar las derivadas de  $T$  en los puntos  $w$  y  $e$ , se requiere hacer una suposición respecto al volumen de control. En la Fig. 3 se muestran las suposiciones simples: de paso constante y paso lineal, donde se escogerá el de paso lineal ya que  $w$  y  $e$  no se encuentran definidas en el de paso constante. En este caso las derivadas serán:

$$\left( K \frac{dT}{dx} \right)_w = K_w \frac{T_P - T_w}{(\delta x)_w} \quad (9)$$

$$\left( K \frac{dT}{dx} \right)_e = K_e \frac{T_E - T_P}{(\delta x)_e} \quad (10)$$

Reemplazando (9) y (10) en (8), se obtiene:

$$K_e \frac{T_E - T_P}{(\delta x)_e} - K_w \frac{T_P - T_w}{(\delta x)_w} + \bar{S}\Delta x = 0 \quad (11)$$

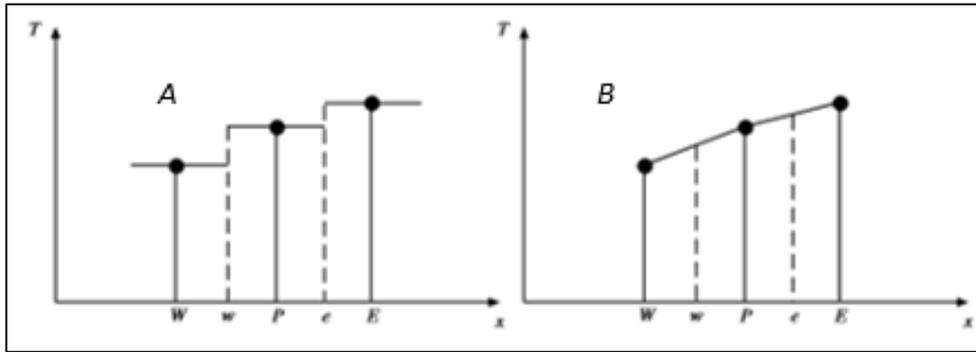
de donde al realizar las simplificaciones, se obtendrá:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + b \quad (12)$$

Donde:

$$a_E = \frac{K_e}{(\delta x)_e} ; \quad a_W = \frac{K_w}{(\delta x)_w} ; \quad a_p = a_E + a_W ; \quad b = \bar{S} \Delta x$$

Y como se verá la ecuación (12) indica que la temperatura en P puede expresarse en función de la temperatura en los puntos W y E.



**Figura 3. Funciones de la variable de integración, dentro del volumen de control, de paso constante (A) de paso lineal (B)**

**Nota.** El método de los volúmenes finitos.

Para completar el análisis es necesario estimar,  $K_e$ ,  $K_w$  y  $\bar{S}$ ; lo cual puede hacerse utilizando funciones de interpolación, como se hizo con T.

Consideraremos con mayor detalle el término fuente. Generalmente este término es función de T:  $S(T)$ . Para el análisis se considerará una linealización de esta función dentro del volumen de control. Para ello se considerará la siguiente aproximación para una primera instancia:

$$\bar{S} = S_0 + S_1 T_p \quad (13)$$

la cual involucra una suposición del tipo paso constante, donde el valor de S en el volumen de control se considera constante y dado únicamente por el valor de T en el punto P, es decir en el centro del volumen de control. Con esta suposición la ecuación (12) puede reescribirse:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + (S_0 + S_1 T_p) \Delta x \quad (14)$$

arreglando esta ecuación de modo de dejar la variable  $T_p$  en el lado derecho, se tiene:

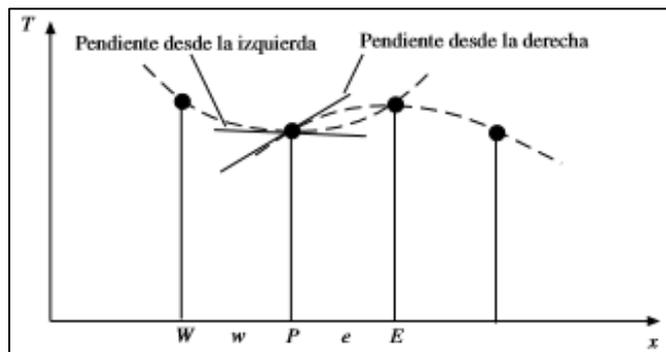
$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + b \quad (15)$$

Ecuación que es idéntica a (12), solo que esta vez se define por:

$$a_p = a_E + a_W - S_1 \Delta x ; b = S_0 \Delta x$$

Las *cuatro reglas básicas* según Patankar (1980), para que las aproximaciones realizadas en la sección anterior sean válidas son:

Consistencia en los flujos a través del volumen de control: El flujo de calor que sale de un volumen de control debe ser igual al que entra al volumen de control siguiente (Fig.4), donde se puede observar como la ecuación cuadrática conduce a los flujos estimados en P. La función de interpolación debe evitar este problema. Otra inconsistencia es que el valor K evaluado en el límite del volumen de control tenga valores distintos. Esto se evita no usando el valor  $K_p$  para evaluar el coeficiente K en  $w$  o  $e$ .



**Figura 4.** Ejemplo de función de interpolación que conduce a una discontinuidad de los flujos evaluados de dos volúmenes de control vecinos.

*Nota.* Método de los volúmenes finitos

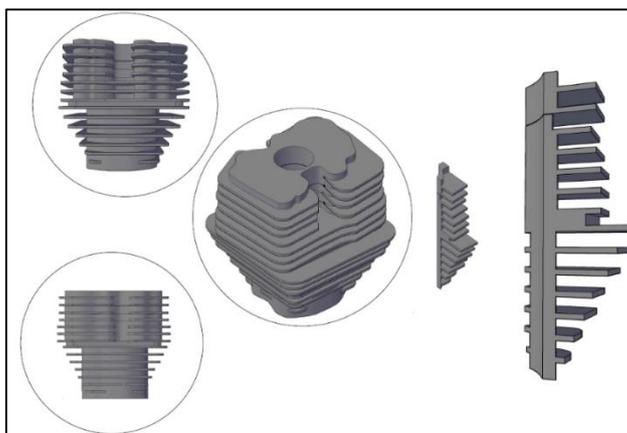
Coeficientes positivos: Los coeficientes  $a_E$ ,  $a_W$ ,  $a_P$  deben ser positivos. En efecto en los procesos convectivo y difusivos, un aumento en  $T_E$  o  $T_W$  deben conducir a un aumento en  $T_P$ .

Linealización del término fuente con pendiente negativa: Para evitar que  $a_P$  sea negativo si  $S_1$  es muy grande, se requiere imponer que  $S_1$  sea negativo, debido a que el término fuente responde negativamente a los aumentos de temperatura.

Suma de coeficientes vecinos: El valor del coeficiente  $a_P$  debe ser igual a la suma de los coeficientes vecinos  $a_i$  vecinos. Esta propiedad está relacionada con la ecuación diferencial original.

## Material y método

Dentro de los materiales a utilizar tenemos el motor monocilíndrico cuenta con 14 aletas colocadas en los alrededores del monoblock, el cual contiene 3 aletas superiores idénticas, 4 aletas intermedias de igual manera idénticas y 7 aletas inferiores con una reducción de longitud de cada una con respecto a la otra. Para ellos se harán uso de 4 aletas para los resultados 1 aleta superior, 1 intermedio, y 2 inferiores, siendo la mayor y la de menor longitud, el software MATLAB, una cámara termográfica Fluke Modelo TI25 y un vernier.



**Figura 5.** Detalle del monoblock del motor CDI CG 125

*Nota.* Elaboración propia

En la metodología matemática – numérica, primero se identificará al elemento al cual se le va a realizar el estudio, en este caso será a las aletas del Motor HONDA CDI CG 125, identificando su estructura,

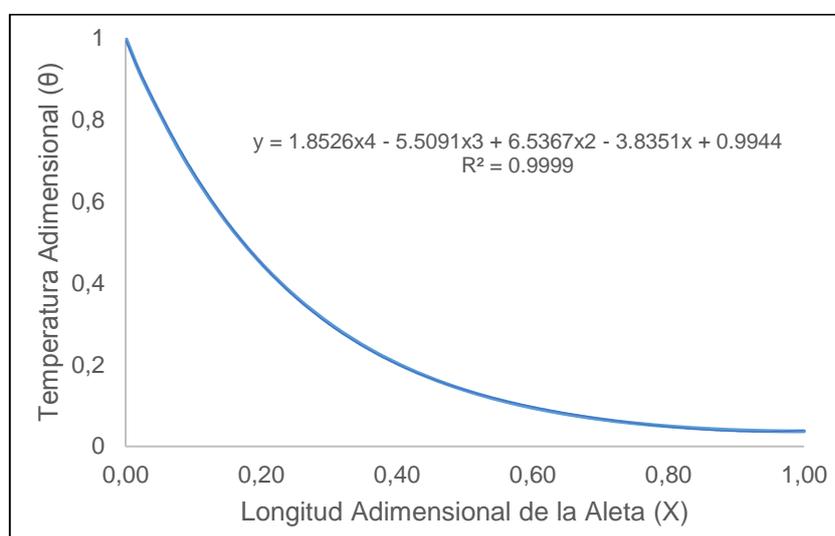
sus dimensiones y las propiedades que abordan al mismo. Continuamente se hará la comparación de los mismos frente a lo teórico corroborando lo expuesto anteriormente.

Una vez terminado, se procederá a realizar el modelamiento matemático, en el cual se hará uso de la ecuación de conservación de calor para una aleta, a través del método de volúmenes finitos, linealizando a continuación la ecuación integral, verificando los 4 principios básicos de Patankar. Ya realizado el modelamiento matemático, se continuará con el modelamiento numérico, en el cual se buscará adimensionalizar los parámetros de la *ecuación de conservación de calor para una aleta*, y una vez realizado, se hará uso del *Algoritmo de Thomas*, para la programación. Con este último paso, se procederá a la programación en el software Matlab y su posterior observación del comportamiento de la variable dependiente vs la independiente (en este caso la longitud de la aleta vs. Temperatura).

Experimentalmente, se hará uso de la Cámara Termográfica Fluke Ti 25, la cual se encargará de realizar las fotografías térmicas en los alrededores de la aleta del motor Honda CDI CG 125.

## Resultados

Se realizó la programación (Método Computacional Matlab), la forma adimensional de dependencia del valor X con respecto a  $\theta$ , la solución numérica nos muestra la siguiente:



**Figura 6. Temperatura vs. Longitud adimensional de la aleta**

*Nota.* Elaboración propia

Generando la ecuación adimensional dada por:

$$\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944 \quad (16)$$

Donde:

$$\theta = \frac{T - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} \rightarrow T = T_{\infty} + \theta(T_b - T_{\infty}) ; X = \frac{x}{L}$$

Reemplazando  $\theta$  y  $X$  en (1) tendremos:

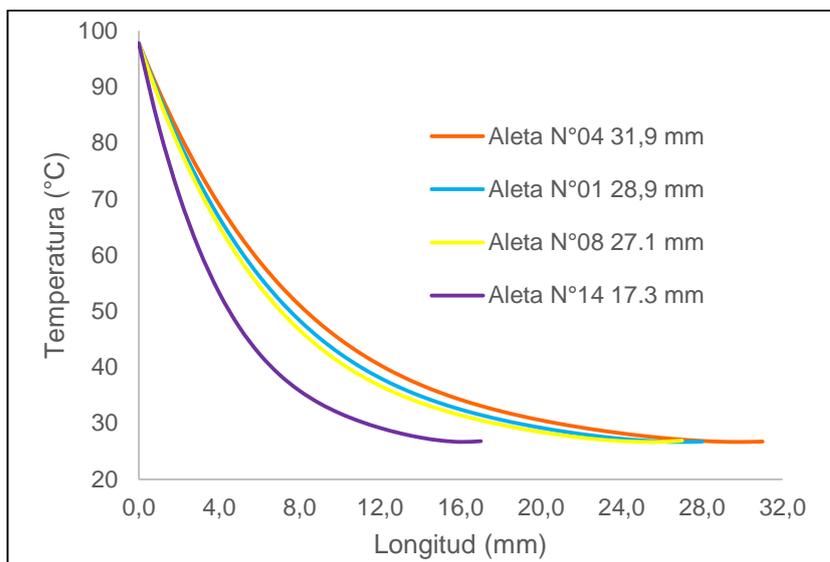
$$\frac{T - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} = 1.8526 \left(\frac{x}{L}\right)^4 - 5.5091 \left(\frac{x}{L}\right)^3 + 6.5367 \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 3.8351 \left(\frac{x}{L}\right) + 0.9944$$

Y finalmente la ecuación de dependencia de la temperatura vs. Longitud de la aleta:

$$T(x) = T_{\infty} + (T_b - T_{\infty}) \left[ 1.8526 \left(\frac{x}{L}\right)^4 - 5.5091 \left(\frac{x}{L}\right)^3 + 6.5367 \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 3.8351 \left(\frac{x}{L}\right) + 0.9944 \right] \quad (17)$$

Ya con la ecuación general de la temperatura como función de la distancia de la aleta, se obtendrán las curvas características para los siguientes casos:

**Dependencia de la distancia frente a la temperatura, a una temperatura de ambiente constante y una temperatura base constante.** Utilizando la ecuación (17), una temperatura de ambiente igual a 24°C (www.foreca.com), y una temperatura en la base de la aleta de 98.2 °C (Primera Temperatura promedio del Análisis Termográfico por Juan C. Enríquez Pérez, Código IRT NIVEL 1 L-221 ASNT) y medido para las 4 longitudes de aleta en forma unidimensional, tendremos:

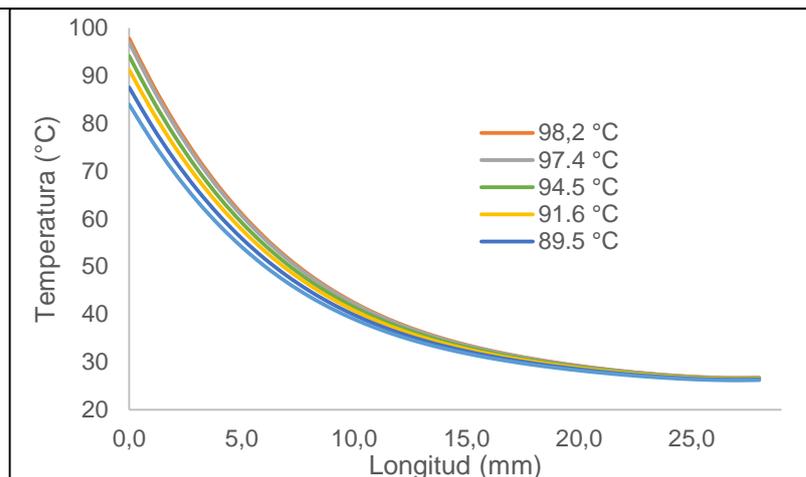


**Figura 7. Temperatura vs. Longitud para 4 longitudes de aletas**  
*Nota.* Elaboración propia

La Figura 7 muestra las siguientes características: las 4 gráficas muestran un valor inicial cuando la longitud es 0 mm, que es el valor de 98.2 °C para todas las curvas generadas; todas las curvas, tienden al valor de la temperatura de ambiente que es de 24 °C, pero no todas tienden a ese valor en forma equitativa, es decir, cuando la longitud de una aleta es de menor tamaño, esta tiende a encontrar su temperatura de salida, más rápida que las demás, buscando disipar su calor más rápido.

Las primeras tres dimensiones dadas por 31.9; 28.9 y 27.1 tienden a la temperatura de ambiente en curvas muy próximas a diferencia de la de 17.3 mm debido a que esta contiene alrededor de un 40% menos longitud que las anteriores.

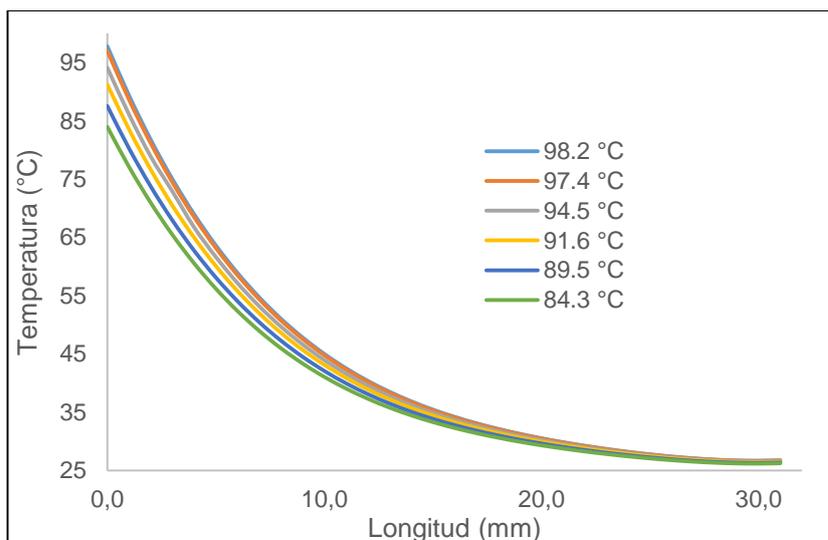
**Dependencia de la distancia frente a la temperatura, a una temperatura de ambiente constante y una temperatura base variable.** De igual manera al caso anterior se hará uso de la ecuación (17) pero a diferencia de ello, en la cual se seguirá manteniendo la temperatura de ambiente igual a 24°C, los valores de la temperatura en la base serán de 6 valores diferentes (Análisis termográfico por Juan C. Enríquez Pérez, Código IRT NIVEL 1 L-221 ASNT), medidas para cada una de las 4 longitudes de aleta anteriormente mencionadas, obteniendo:



**Figura 8. Temperatura vs. Longitud para 28.9 mm variando la temperatura base.**  
*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 8 muestra que la temperatura de inicio a diferencia del caso anterior que es a temperatura base constante, tiende a variar a través de las 6 temperaturas bases mostradas en su leyenda. Las gráficas al tener valores próximos de temperatura (desde los 98.4 a 84.3 °C), hace que las curvas generadas se encuentran unas próximas a otras.

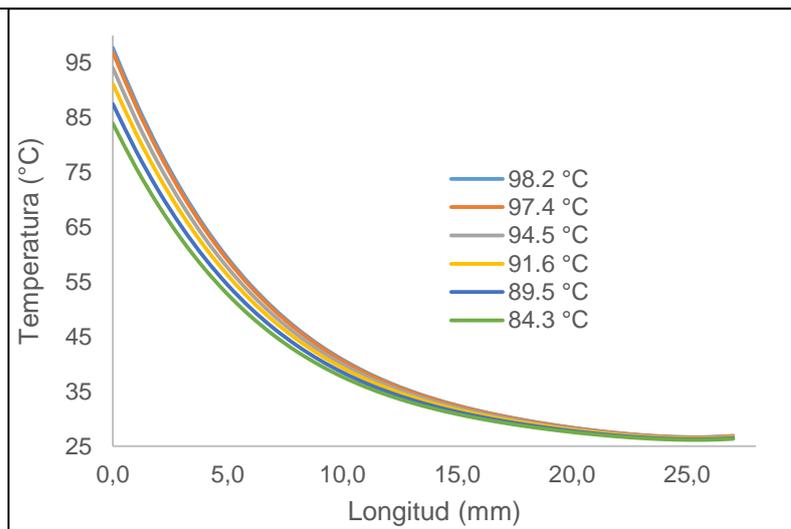
Como se sabe que todas las gráficas mantienen una temperatura de ambiente constante de 24°C, todas tienden a este grado al finalizar su curvatura cuando la longitud ya es de 28.9mm.



**Figura 9. Temperatura vs. Longitud para 31.9 mm variando la temperatura base.**  
*Nota.* Elaboración propia

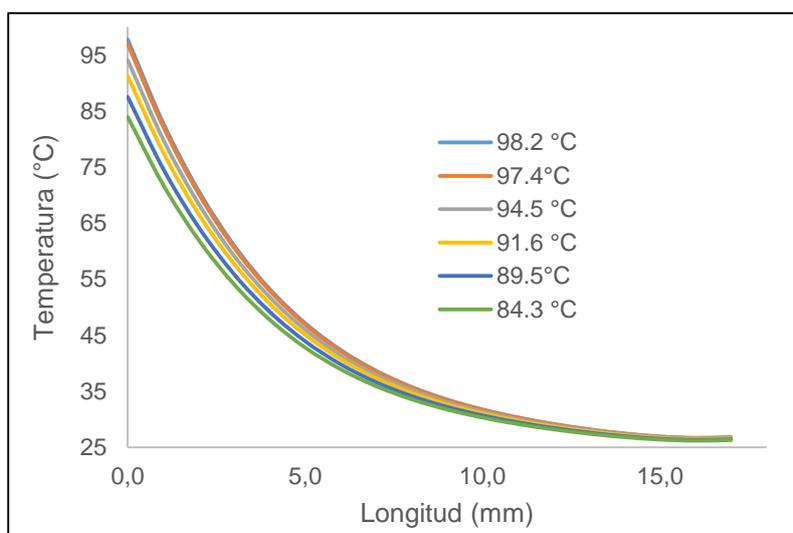
La Figura 9 muestra semejanza en la distribución de la temperatura con el caso anterior, pero con la condición que, a diferencia, ésta por ser de mayor longitud tiende a disipar calor a un ritmo mucho menor que la anterior. Todas las curvas de igual manera tienden a los 24 °C cuando la longitud se aproxima a su valor fijo de 31.9mm.

Alrededor del 25% de la longitud total de la aleta, se puede observar un gradiente de temperatura entre una y otra curva de alrededor de los 1 a 2 °C, a diferencia del 75% restante con un valor del gradiente menor a los 1 °C.



**Figura 10. Temperatura vs. Longitud para 27.1 mm variando la temperatura base.**  
*Nota.* Elaboración propia

Esta Figura 10, se muestra una continuación de las tendencias de las temperaturas frente a la longitud de la aleta, la cual refleja la disipación del calor a una longitud de 27.1mm.

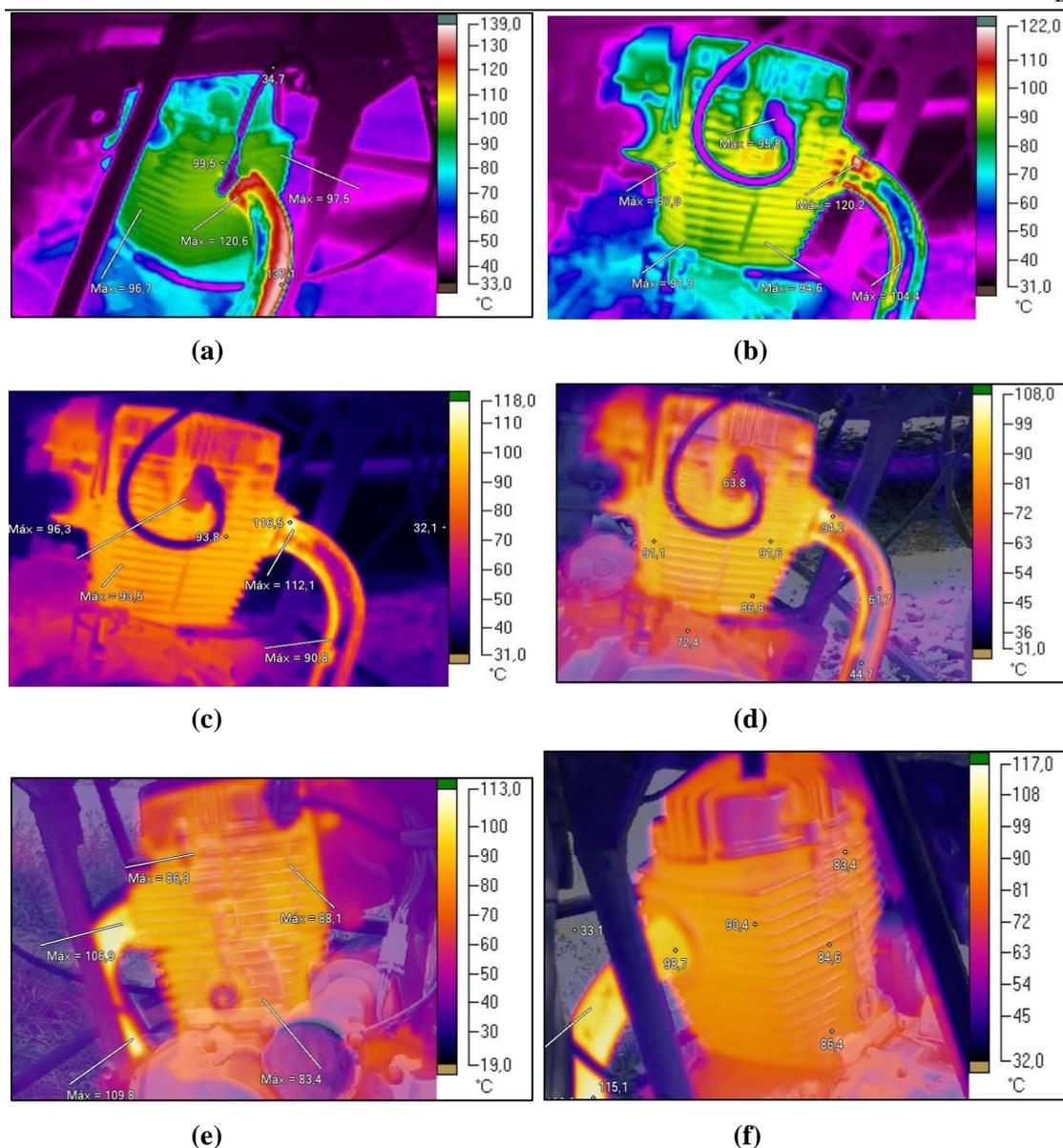


**Figura 11. Temperatura vs. Longitud para 17.3 mm variando la temperatura base.**  
*Nota.* Elaboración propia

Las temperaturas máximas de cada curva, corresponden a los valores mostrados en la leyenda.

### Análisis termográfico Código IRT NIVEL 1 L-221 ASNT

El análisis realizado muestra una imagen termográfica del tipo IR00XXXX.IS2 de la temperatura superficial del cuerpo analizado.



**Figura 12.** Ingreso de temperatura promedio: (a) 98.2°C, (b) 97.4°C, (c) 94.5°C, (d) 91.6°C, (e) 89.5°C y (f) 84.3°C.

*Nota.* Juan C. Enríquez Pérez

### Discusión

A diferencia de lo ejercido por Regina y Luíz, (1999), en la que muestran una variación de presión y una variación del número de Nusselt, generando un cambio en el coeficiente de convección y una variación en el espaciamiento de malla, en nuestro trabajo ejercido, el coeficiente de convección muestra un valor establecido, además de un espaciamiento de malla fijo. El trabajo realizado no comprueba lo mencionado por Regina y Luíz, en lo que respecta a que un aumento del número de aletas, necesariamente no implica una mayor eficiencia.

En comparación con Mendoza (2013), las figuras muestran similitud con sus conclusiones en la que dice que alrededor de los primeros 25 mm de longitud la caída de temperatura es mucho mayor comparado con los gradientes generados más allá de los 25mm.

Las relaciones de un aumento de espesor, que implicarían un mayor volumen, y un aumento de resistencia térmica no han sido comprobados, debido a que el espesor en esta oportunidad es de valor unitario.

Según Caldas, Castejón y Ronceros (2009), el método TDMA usado muestra que el método realizado en una dimensión, es de total posibilidad en ser usado para la discretización, además de tener un error, del 0.254% comparado con el 2% que ellos obtuvieron.

## Conclusiones

Para el Motor CDI CG 125 se tuvo la la identificación de las siguientes características: el motor monocilíndrico cuenta con 14 aletas colocadas en los alrededores del monoblock (3 aletas superiores idénticas, 4 aletas intermedias idénticas y 7 aletas inferiores con una reducción de longitud de cada una con respecto a la otra). Construida de aluminio con la superficie interna recubierta con una capa dura de cromo poroso (1 de los 4 tipos de formas de construcción), con un espaciamiento entre aletas de 6.5 mm (en comparación con los 4.5 – 5 mm y hasta un espaciamiento de 8 mm), y una longitud de 30 hasta los 17 mm de largo (que puede ser hasta los 60 mm), además de un espesor de 1.5mm por aleta (1.5 a 2mm) y con una geometría trapezoidal para las mismas con los bordes redondeados (Geometría más eficiente).

El modelamiento matemático – numérico es su búsqueda por la simplificación y la reducción de procesos complicados y extensos en los que muchos incluyen mano de obra, presupuesto y tiempo, nos ha permitido generar curvas características propias de elementos reales, y aunque no hayan tenido soluciones en 2D o 3D, su presentación en este trabajo busca lo mencionado, que es el desarrollo de métodos sofisticados y avanzados para procesos más engorrosos y de mayor tiempo.

La evaluación del campo de temperatura en su forma adimensional muestra la ecuación característica que en comparación con los valores analíticos tiene un grado de error del **0.254%** y con respecto a la ecuación generada de grado 4 dada por:  $\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944$ , la cual tiene un grado de precisión mediante el grado correlación lineal de 0.999, un grado de error del 1.87 %, además esta sirvió de base para la generación de las curvas características de las 4 aleta tomadas del monoblock, las cuales a su vez, registraron similitud y la misma tendencia a la ecuación líneas arriba.

## Referencias bibliográficas

- Arias M. (2000). *Manual de automóviles*. 32<sup>a</sup> ed. Madrid: Dossat
- Caldas, J.B., Castejón, E. y Ronceros, G.A. (octubre, 2009) Modelo computacional para análise da condução de calor. Comunicación presentada en el *Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA: XV ENCITA / 2009. 19-22 de octubre*. São José dos Campos, SP, Brasil. Recuperado de: <http://www.bibl.ita.br/xvencita/MEC11.pdf>.
- Carrillo, A. y Mendoza, O. (2014). Introducción al método de diferencias finitas y su implementación computacional. Recuperado de: <http://www.mmc.geofisica.unam.mx/acl/>.
- Castro, F. (22 de noviembre de 2016). Refrigeración: por aire de marcha y por aire forzado [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <http://www.blogmotos.com/refrigeracion-por-aire-de-marcha-y-por-aire-forzado/>.
- EcuRed. Conocimiento con todos y para todos. Enfriamiento por aire de motores de combustión interna. Recuperado de [http://www.ecured.cu/Enfriamiento\\_por\\_aire\\_de\\_motores\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](http://www.ecured.cu/Enfriamiento_por_aire_de_motores_de_combusti%C3%B3n_interna).
- El método de los elementos finitos en la ingeniería práctica. *Revista UTEC (51)* Recuperado de: [www.frbb.utn.edu.ar/utec/utec/9/n03.html](http://www.frbb.utn.edu.ar/utec/utec/9/n03.html).
- Giacosa, D. (1989). *Motores endotérmicos*. 3<sup>a</sup> ed. Madrid: Dossat.
- Gutiérrez, D. (24 de noviembre de 2016). Motor diésel. Refrigeración por aire. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel3.shtml>.
- Gutiérrez, D. (19 de noviembre de 2016). Motor Diesel. Ventajas y desventajas de la refrigeración forzada por aire Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel3.shtml>.

Jóvaj, M. (1982). *Motores de automóviles*. 2<sup>a</sup> ed. Moscú: Mir. Impresión URSS.

Mendoza, F. I. (2013). *Análisis numérico del calor conjugado en una superficie extendida* (Tesis de Ingeniería). Recuperada de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6004/Tesis.pdf?sequence=1>.

Método de diferencias finitas. (16 de noviembre del 2016). Recuperado de [www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/DiferenciasFinitas.html](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/DiferenciasFinitas.html).

Padilla, D. (14 de noviembre de 2016). Todo sobre el mantenimiento de Harley – Davidson. Los motores refrigerados por aire. Recuperado de: <http://www.todoparaharley.com/2013/08/12/los-motores-refrigerados-por-aire/>.

Regina, C. y Luiz, E. (noviembre, 1999) Otimização de parâmetros de transferência de calor no escoamento em uma região Anular aletada. Comunicación presentada en *el XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica: COBEM 2010, 22-26 de noviembre*. Águas de Lindóia, São Paulo. Recuperado de <http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/1999/pdf/AAAAIE.pdf>.

Sistemas de refrigeración. (14 de noviembre de 2016). Recuperado de: <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/refrigeracion.pdf>.

Suárez, D; Pelichero, D. y Maidana, J. (2001). Máquinas térmicas I: Sistemas de lubricación y refrigeración de motores de cuatro tiempos. [http://ing.unne.edu.ar/pub/refrigeracion\\_y\\_lubr\\_motores.pdf](http://ing.unne.edu.ar/pub/refrigeracion_y_lubr_motores.pdf).

What-when-how. In depth tutorials and information. Air-cooling system (automobile) (29 de noviembre de 2016). Recuperado de: <http://what-when-how.com/automobile/air-cooling-system-automobile/>.