UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA

EVALUACION NUMERICA DEL CAMPO DE TEMPERATURA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE MEDIANTE ALETAS EN UN MOTOR MONOCILINDRICO HONDA TIPO CDI CG 125.

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO EN ENERGIA

AUTOR : BALLENA UCEDA, Erick Jesús

ASESOR : M.Sc. CHUCUYA HUALLPACHOQUE, Roberto Carlos

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA

CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento de los objetivos propuestos además de reunir las condiciones de formación y metodología, siendo parte de una de las líneas de investigación acorde al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS). De acuerdo a la denominación siguiente:

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO EN ENERGIA

TITULO : EVALUACIÓN NUMÉRICA DEL CAMPO DE TEMPERATURA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE MEDIANTE ALETAS EN UN MOTOR MONOCILINDRICO HONDA TIPO CDI CG 125.

TESISTA: ERICK JESUS BALLENA UCEDA
BACHILLER EN INGENIERÍA EN ENERGÍA

M. Sc. CHUCUYA HUALLPACHOQUE ROBERTO C.
ASESOR

NUEVO CHIMBOTE - 2016

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los cuatro días del mes de enero del año dos mil diecisiete, siendo las once y treinta de la mañana, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 330-2016-UNS-CCFI** integrado por los siguientes docentes:

- Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores - Presidente
- Ing. Carlos Macedonio Montañez Montenegro - Secretario
- M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque - Integrante
- Mg. Segundo Nicolás Diestra Sánchez - Accesitario

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada:

"EVALUACIÓN NÚMERICA DEL CAMPO DE TEMPERATURA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE MEDIANTE ALETAS EN UN MOTOR MONOCILINDRICO HONDA TIPO CDI CG 125"

Elaborado por la bachiller en Ingeniería en Energía: ERICK JESUS BALLENA UCEDA. Teniendo como asesor al docente **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLAPCHOQUE**

Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
ERICK JESUS BALLENA UCEDA	Dieciocho (18)	Bueno

Siendo las trece horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

Mg. Amancio Rojas Flores
PRESIDENTE

Ing. Carlos M. Montañez Montenegro
SECRETARIO

M.Sc. Roberto C. Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE

Por más consejos que te den, hay lecciones que solo aprenderás a base de caídas y golpes.

Richard Gere

Agradecimiento:

A Dios que durante este tiempo me ha dado su amor y su compañía y sé que siempre me la dará siempre, me da su guía y la paz que necesito en mi alma.

A mi madre, a mis padres, a mis amigos, profesores y conocidos que día a día luchan por seguir en un camino ancho y ajeno.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo la evaluación de la temperatura generadas en las aletas de un motor monocilindrico del tipo CDI CG 125 de una motokar las cuales contienen una serie de características que las identifica y las hace propias para su desarrollo en conjunto con el monoblock del motor térmico, para tal finalidad se utilizó un instrumento de medida, Termógrafo y para su contrastación un método numérico de volúmenes finitos

La metodología del trabajo de investigación es del tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo, la muestra evaluada fue la temperatura de la superficie del motor y las aletas.

Se realizó un análisis matemático – numérico de las ecuaciones gobernantes que fue programado en el software MATLAB. 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 : $\boldsymbol{\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944}$, 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.

Se hizo uso de la Cámara Termográfica Ti25 para calcular los valores reales de las temperaturas bases de la superficie del motor, 98.2, 97.4, 94.5, 91.6, 89.5 y 84.3 °C estas se usaron para el desarrollo de curvas características, las cuales estarán en función de la temperatura, que dependerán únicamente de la longitud a lo largo de la aleta, siendo esta longitud en mm.

ABSTRACT

The present research work has the objective of evaluating the temperature generated in the fins of a single cylinder motor CDI CG 125 type of a motokar which contain a series of characteristics that identifies them and makes them suitable for their development in conjunction with the Monoblock of the thermal engine, for this purpose, a measuring instrument, a thermograph was used and for its comparison, a numerical method of finite volumes

The methodology of the research work is of the descriptive type with a quantitative approach, the sample evaluated was the temperature of the surface of the engine and the fins.

A mathematical - numerical analysis of the governing equations that was programmed in the MATLAB software was carried out. The evaluation of the temperature field in its dimensionless form shows the characteristic equation, which in comparison with the analytical values has a degree of error of 0.254% and with respect to the equation generated of degree 4 given by: $\boldsymbol{\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944}$, which has a degree of accuracy through the linear correlation degree of 0.999, an error degree of 1.87%, also this served as the basis for the generation of characteristic curves of the 4 fins taken from the monoblock, which, in turn, registered similarity and the same tendency to the equation lines above.

The Ti25 Thermographic Chamber was used to calculate the real values of the base temperatures of the motor surface, 98.2, 97.4, 94.5, 91.6, 89.5 and 84.3 ° C, these were used for the development of characteristic curves, which will be in function of the temperature, which will depend only on the length along the fin, this length being in mm.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Porcentaje de un número
mm	Milímetros de una cantidad
W	Watt
seg	Segundo
$°\,C$	Grados Centígrados
Q	Cantidad de calor que los gases ceden a las paredes internas
k	Coeficiente de conductividad térmica
ΔT	Diferencia de temperatura entre aire y paredes
S_e	Superficie de transmisión externa
η	Eficiencia de Aleta
S	Término Fuente
$\frac{\mathrm{dT}}{\mathrm{dx}}$	Derivada de la temperatura con respecto de la distancia
α	Coeficiente de concentración de malla
$P\ y\ Q$	Constante del algoritmo TDMA
A	Área de la sección transversal de la aleta
x	Distancia de un elemento
T_∞	Temperatura de ambiente
$\mathrm{T_b}$	Temperatura en la base de la aleta
h	Coeficiente de transferencia de calor convectivo
P	Perímetro de la aleta
$\mathrm{a, b, c\ y\ d}$	Constantes del método TDMA
$\mathrm{c_1}\ y\ \mathrm{c_2}$	Constante de la solución analítica
Q	Calor en la base hacia el ambiente

Símbolos griegos

∂	Parcial
δ	Delta minúscula
α	Alpha
φ	Phi
Δ	Delta mayúscula
θ	Theta
B	Beta

Sub índices

w	Dirección al oeste
e	Dirección al este
p	Punto central entre este y oeste
i	Condiciones i - ésimas
N	Condiciones en - ésimas
vc	Volumen de Control
c	Fuente constante

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Realidad Problemática

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 monocilindrico (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), 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 monocilindrico 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”.

El Perú al 2016 tiene una inversión de U$$ 4.00 /año x habitante en lo que respecta a investigación científica a diferencia de países como Chile que aporta 25 dólares (Sergio Sánchez Holguín, integrante del Comité Científico del 8º Congreso Mundial de Juventudes Científicas - CMJC), lo que en el año 2013 era el 0.15% de su PBI comparado con el 0.5% en Chile (Sociedad de Comercio Exterior del Perú - ComexPerú) y eso además de no tener información en lo que respecta a esta área a comparación de Alemania con

2.88%, República de Corea con 4.03%, Finlandia con 3.42% e Israel con 4.25% siendo el área de reportes de Gasto en Investigación y Desarrollo solamente hasta 2012 (Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - UNESCO) lo que nos hace muy inoperantes en este ámbito que es como pan de cada día en universidades extranjeras.

Se han encontrado muchos estudios numéricos computacionales para aletas en transformadores, así como ejemplos prácticos de transferência de calor para modelos generales, pero en esta oportunidad el trabajo tiene un ámbito distinto, como lo es en el de un vehículo motorizado de tres ruedas.

1.2. Antecedentes

Regina y Luiz (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 (p. 01), concluyendo que:

Las diferentes geometrías analizadas con aletas aumentan los valores del número de Nusselt, además de un aumento de intercambio de calor acompañado con un aumento del coeficiente de fricción en todas sus configuraciones estudiadas.

La caída de presión y los valores de Nusselt fueron fuertemente influenciados por la variación de la altura y el espaciamiento de la aleta.

No necesariamente un aumento del número de aletas no garantiza un mejor rendimiento del equipo, pero una disminución del espacio entre aletas inhibe la recirculación (del fluido) haciendo que el fluido se estanque y reduce el intercambio de calor en comparación con una geometría con un menor número de aletas. (p. 09)

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" (p. 07), concluyendo que:

La comparación de las distribuciones de temperatura a través de la aleta presentan dos zonas de interés; cerca de la base de la aleta en los primeros 25 mm donde las predicciones analíticas son muy semejantes a las obtenidas por el método de CFD, y en el resto de la aleta después de los 25 mm donde conforme aumenta la distancia en dirección positiva sobre el eje x se predice menos transferencia de calor.

La predicción del espesor de la capa límite de velocidad calculada analíticamente es muy semejante a la del modelo de CFD, por lo que se puede concluir en base a los resultados analíticos que el flujo de aire es laminar sobre toda la aleta

Conforme se aumentó el espesor de la aleta se observó una menor transferencia de calor hacia el flujo de aire, tanto en los resultados analíticos como en los numéricos. Esto se debe a que con el aumento en el espesor se aumenta el volumen de la aleta, esto le agrega una mayor resistencia térmica a la aleta, por lo que el flujo de aire resulta insuficiente para enfriar una aleta de mayor volumen, en donde en el interior los efectos del flujo de aire son imperceptibles.

El modelo analítico utilizado para calcular la distribución de temperaturas sobre el eje x predice la transferencia de calor en forma unidimensional, debido a que la aleta tiene un espesor pequeño se puede considerar que el calor se transfiere de forma bidimensional y por lo tanto el modelo analítico se puede utilizar para dar una aproximación de la distribución de temperatura de este caso. Pero en las aletas cuyo espesor es mayor los modelos analíticos dejan de ser validos ya que la temperatura varía en tres dimensiones, en tal caso el método de CFD es útil tanto en geometrías sencillas como en geometrías más complejas. (p. 101)

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), (p.01), finalizando que:

El trabajo realizado por el modelo desarrollado por discretización presenta buenos resultados, sobre todo en los casos de una y dos dimensiones mediante el uso de un lenguaje robusto de programación, lo que permitió el procedimiento solicitante de operaciones con matrices.

Para aplicaciones tridimensionales, se pudo notar un distanciamiento ligeramente pronunciado lo que el resultado esperado, requiere el refinamiento de la malla utilizada y que conduce a un tiempo de cálculo considerable.

Los resultados del modelo para la muestra 1D tenían errores del orden de 2% para mallas gruesas, en comparación con la solución analítica. Para la aplicación de dos dimensiones, la desviación de los valores fue de aproximadamente 0,1% en comparación con las mismas mallas simulados en el programa FLUENT.

Por último, todo el proyecto se basa en la construcción de una malla rectangular uniforme, así que no había comparación entre iteraciones realizadas entre diferentes mallas. (p. 11)

1.3. Importancia

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.

La investigación por ser del campo térmico, aporta con el desarrollo del conocimiento en esta área de estudio, buscando su promoción a nivel local en los estudiantes.

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, el cual ha tomado una importancia muy notoria en los campos de la ingeniería, la industria y la medicina a través de los últimos años a nivel mundial.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar numéricamente el campo de temperatura de un sistema de enfriamiento por aire mediante aletas en un motor monocilindrico tipo CDI CG 125.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas y geométricas de las aletas del motor monocilíndrico tipo CDI CG 125.
- Realizar el modelamiento matemático - numérico del campo de temperatura del sistema de enfriamiento por aire de las aletas del motor monocilíndrico tipo CDI CG 125.
- Evaluar el campo de temperatura numérica y analítica del sistema de enfriamiento de las aletas del motor monocilíndrico tipo CDI CG 125.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de enfriamiento por aire

2.1.1 Introducción

Para identificar este tipo de sistema, es necesario reconocer una serie de características, las cuales son: la estructura, el funcionamiento, los tipos y los parámetros de trabajo. Pues bien, el sistema queda definido por el hecho de sustraer el calor de las paredes del cilindro y la culata hacia el exterior, buscando como su propio nombre lo dice enfriar al sistema.

Aunque lo más 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).

2.1.2 Estructura

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.

La superficie refrigerante de las propias paredes de los cilindros alcanza el 25 - 40 % de toda la superficie de refrigeración requerida (a la culata le corresponde el 60 – 75 %). El sistema de aletas en el cilindro comienza directamente desde su unión con la culata y llega, como regla general, hasta la zona donde se ubican los segmentos en el P.M.I.

La parte con aletas constituye el 45 – 55 % de toda la longitud del cilindro. La superficie especifica de enfriamiento para los motores de carburador es igual a 0.61 – 0.81 cm2/W, mientras que para los motores Diésel es

0,48 – 0.61 cm2/W en donde la velocidad del aire entre las aletas puede alcanzar unos 50 m/seg.

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 trasmitir el calor resulta trapezoidal (Figura 1).

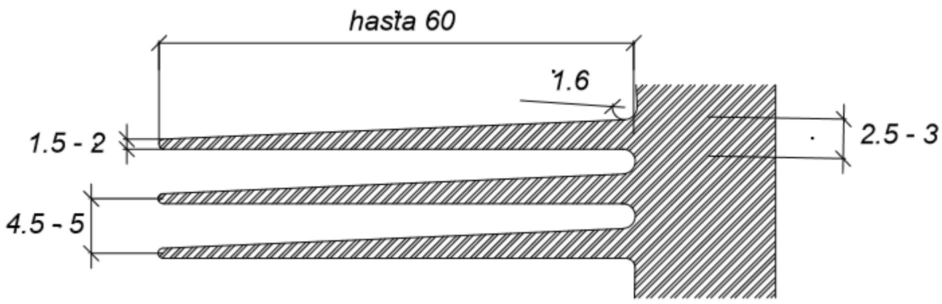


Figura 1: Dimensiones principales de las aletas

Fuente: Motores de Automóviles – Jóvaj

Los desplazamientos de las aletas hacia las paredes del cilindro se hacen redondeándolos suavemente para mejorar la evacuación de calor. La efectividad del proceso de transmisión de calor depende de la distancia entre las aletas (de su paso). Cuando el soplado de los cilindros es libre el paso constituye unos 8 mm aproximadamente 1/3 del paso se necesita para el espesor de la aleta y 2/3 se destina para que pase el aire entre las aletas.

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. (JÓVAJ)

2.1.3 Funcionamiento

Este sistema consiste en evacuar directamente el calor del motor a la atmósfera a través del aire que lo circunda. Para mejorar la conductividad térmica, estos motores se fabrican de aleación ligera y disponen sobre la carcasa exterior, unas aletas que permiten aumentar la superficie radiante de calor. Aunque la refrigeración por aire se utiliza por lo general en los motores pequeños y baratos no significada que el sistema sea ineficaz. Las ventajas de la refrigeración por aire son una mayor sencillez, mayor rendimiento térmico y menor consumo.

En el caso de los sistemas modernos de enfriamiento por aire están diseñados para que los motores de combustión interna de los autos mantengan una temperatura homogénea entre 82° y 113°C. En todos los motores de combustión, un gran porcentaje del calor generado (alrededor de 44%) escapa a través de los gases de escape, no a través de ya sea un sistema de refrigeración por líquido, ni a través de las aletas de metal de un motor refrigerado por aire (12%).

2.1.4 Tipos

Refrigeración directa

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.

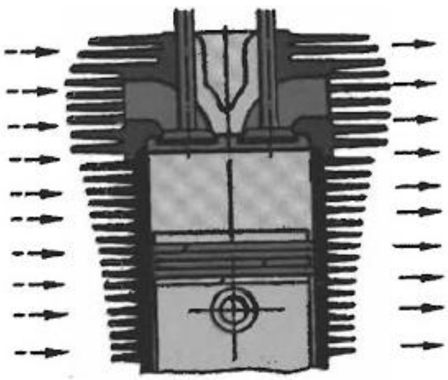


Figura 2. Sistema de refrigeración por aire directa.

Fuente: megadiesel.blogspot.pe/2008/08/refrigeracion-por-aire-directa.html.

Refrigeración forzada.

El sistema de refrigeración forzada por aire 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.

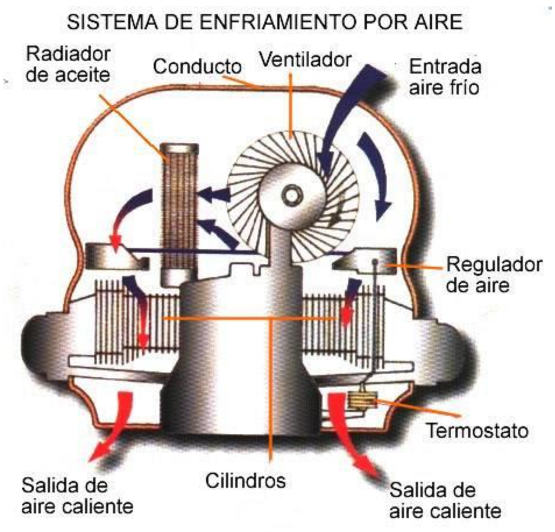


Figura 3 Sistema de refrigeración por aire forzada

Fuente: megadiesel.blogspot.pe/2008/08/refrigeracion-por-aire-directa.html

2.1.5 Parámetros de trabajo

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:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{k}\,\Delta\mathrm{T}\,\mathrm{S_e} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(1)$$

Donde:

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

k = Coeficiente de transmisión aire pared en Cal/m^2 °C h

ΔT = Diferencia de temperatura entre aire y paredes en °C

S_e, = Superficie de transmisión externa en m^2

Como sabrán el coeficiente de transmisión entre paredes y aire es muy inferior al existente entre paredes y agua (1:100); como la diferencia de temperaturas ΔT es del mismo orden en los dos casos, en la refrigeración por aire es necesario adoptar superficies de transmisión muy superiores, con este objeto se dotan de aletas las paredes externas del motor.

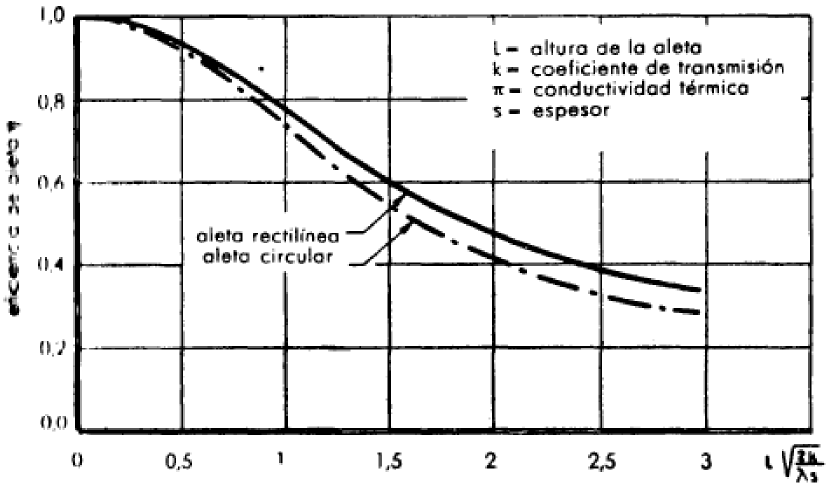


Figura 4. Variación de la Eficiencia η

Fuente: Motores endotérmicos. pág. 139

El diagrama de la figura 1, muestra un ejemplo de cómo puede variar la eficiencia η en función del parámetro $\sqrt{\frac{2\,k}{\lambda\,s}}.L$, donde; L; es la altura de la aleta, en m, k, el coeficiente de transmisión aire – paredes en Cal/m^{2}°.C.h; λ; la conductividad térmica del material de la aleta en Cal/m^{2}°C.h y s, el espesor de la aleta en m.

Una vez fijados k y , ΔT, es posible determinar el valor de S_e de la superficie de transmisión que ha de realizarse con las aletas. Es necesario, sin embargo, tener presente que no toda la superficie de la aleta está a la misma temperatura, sino que disminuye de la base al vértice y por consiguiente, la cantidad de calor transmitida disminuye también en la misma forma.

Para comodidad de cálculo se define como η de la aleta la relación entre la cantidad de calor efectivamente transmitido por la aleta y la que trasmitiría una superficie igual que se encontrarse totalmente sometida a la temperatura de la sección de unión con el cilindro. La superficie que se ha de introducir en el cálculo es:

$$S_e = \eta \text{ x } S_{ef} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. (2)$$

Donde:

S_{ef} = Superficie efectiva de la aleta.

η = eficiencia de aleta

Como se observa en la Figura 4, la eficiencia se incrementa al aumentar el espesor y la conductividad, y disminuye cuando crecen la altura de la aleta y el coeficiente de transmisión entre aire y paredes.

La Figura 5 muestra cómo puede variar el coeficiente k de transmisión entre aire y paredes metálicas, en función de la velocidad V con la cual llegue el aire las paredes. El diagrama es válido para el aire a presión ordinaria y para valores de la temperatura de las paredes a que están normalmente las aletas de los motores refrigerados por aire.

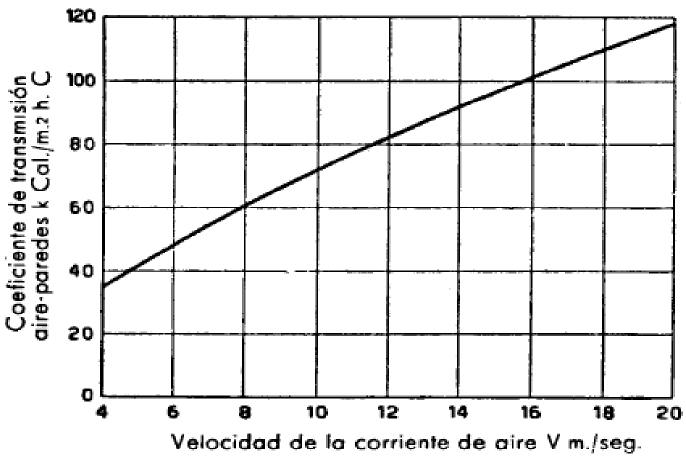


Figura 5. Coeficiente de transmisión entre aire y paredes metálicas

Fuente: Motores Endotérmicos. Pág. 140

Con lo que puede observarse como el coeficiente de transmisión aumenta al acelerarse la velocidad de la corriente. Para mantener las dimensiones de la superficie de transmisión entre límites aceptables, es necesario dotar al motor de una eficaz ventilación. En algunos casos (motocicletas y aeroplanos) esta ventilación está asegurada por las condiciones de utilización; en los otros casos, por el contrario, es necesario producir artificialmente la ventilación por medio de ventiladores.

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.

2.2 Método Numérico Computacional

El proceso de los métodos consiste en la aproximación de una variable continua en un número finito de puntos a la cual se le denomina *discretización* (Figura 6). 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 algebraicos
(continuas) (discreta)

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

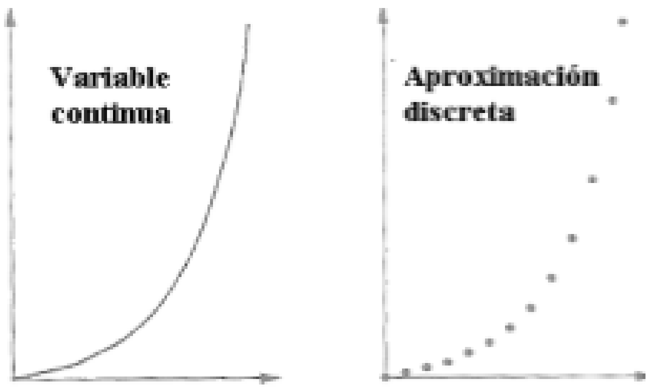


Figura 6. Discretización de variables.
Fuente: Dinámica de Fluidos Computacional. (CFD)

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 endotérmicos y exotérmicos, Turbomáquinas – bombas y turbinas, Transferencia de calor – mezclas y reacciones química, Cargas de viento, etc.

2.2.1 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) (Figura 7) 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.

Además tienen que definirse las llamadas funciones de forma que representan la variación de la solución en el interior de los elementos. Este método resulta muy atractivo por el uso de mallas no estructuradas (ampliamente empleadas para la formulación de problemas con geometrías complejas)

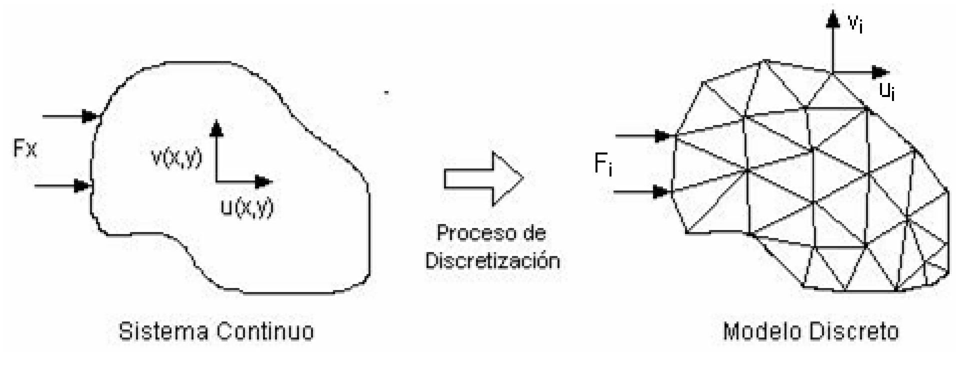


Figura 7 Discretización de variables por elementos finitos.

Fuente: El método de los elementos finitos en la ingeniería práctica

2.2.2 Método de Diferencias 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.

$$\mathrm{T(x+h,y)} \cong \mathrm{T(x,y)} + \frac{\partial \mathrm{T(x,y)}}{\partial \mathrm{x}}.\mathrm{h} + \frac{\partial \mathrm{T^2(x,y)}}{\partial \mathrm{x^2}}.\frac{\mathrm{h^2}}{2} + \mathrm{o(h3)} \ldots\ldots(3)$$

$$\mathrm{T(x-h,y)} \cong \mathrm{T(x,y)} - \frac{\partial \mathrm{T(x,y)}}{\partial \mathrm{x}}.\mathrm{h} + \frac{\partial \mathrm{T^2(x,y)}}{\partial \mathrm{x^2}}.\frac{\mathrm{h^2}}{2} - \mathrm{o(h3)} \ldots\ldots(4)$$

Agrupando lo términos, despreciando los términos o (h3) y despejando la segunda derivada:

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

De forma similar se obtiene la expresión equivalente:

$$\frac{\partial \mathrm{T^2(x,y)}}{\partial \mathrm{y^2}} = -\frac{\mathrm{T(x,y-h)} - 2\mathrm{T(x,y)} + \mathrm{T(x,y+h)}}{\partial \mathrm{x}} \ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

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.

2.2.3 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:

$$\frac{d}{dx}\left(K\frac{dT}{dx}\right)+S=0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots .(7)$$

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.08 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 Δx. Como este es un problema unidimensional, el volumen de control tiene dimensiones: Δx x 1 x 1.

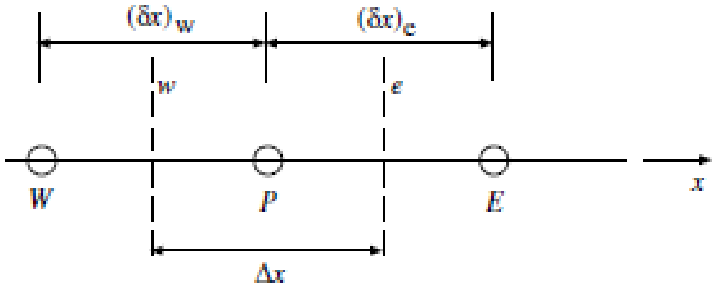


Figura 8 Malla de discretización por volúmenes finitos

Fuente: Método de los volúmenes finitos

Integrando la ecuación (7) en el volumen de control considerado, se tiene:

$$\int_w^e \frac{d}{dx}\left(K\frac{dT}{dx}\right)dx+\int_w^e Sdx=0 \quad (8)$$

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

$$\left(K\frac{dT}{dx}\right)_e-\left(K\frac{dT}{dx}\right)_w+\bar{S}\Delta x=0 \qquad (9)$$

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. 09 se muestras 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:

$$\left(K\frac{dT}{dx}\right)_w = K_w\frac{T_P - T_w}{(\delta x)_w} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(10)$$

$$\left(K\frac{dT}{dx}\right)_e = K_e\frac{T_E - T_P}{(\delta x)_e} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..11)$$

Reemplazando (10) y (11) en (9), se obtiene:

$$K_e\frac{T_E - T_P}{(\delta x)_e} - K_w\frac{T_P - T_w}{(\delta x)_w} + \bar{S}\Delta x = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

De donde al realizar las simplificaciones (Anexo 1. Desarrollo de ecuación de calor unidimensional permanente), se tendrá:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + b \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(13)$$

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 (13) indica que la temperatura en P puede expresarse en función de la temperatura en los puntos W y E.

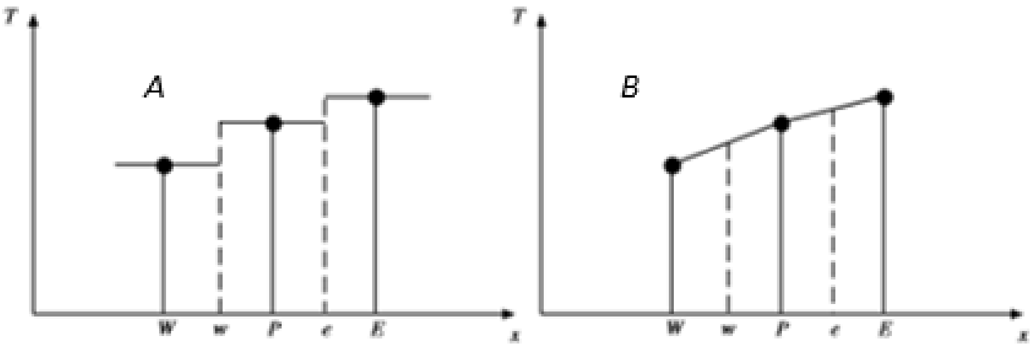


Figura 9 Funciones de la variable de integración dentro del volumen de control, de paso constante (A) de paso lineal (B).

Fuente: 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 considerara la siguiente aproximación para una primera instancia:

$$\bar{S} = S_0 + S_1 T_p \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots .. (14)$$

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 (13) puede reescribirse:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + (S_0 + S_1 T_p)\Delta x \dots\dots\dots\dots . \dots\dots . (15)$$

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

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + b \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (16)$$

Ecuación que es idéntica a (13), 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:

<u>Consistencia en los flujos a través del volumen de control:</u> El flujo de calor que sale de un volumen de control debe ser igual al que entra al volumen de control siguiente (Figura10), donde se puede observar como la ecuación cuadrática conduce a los flujos estimados en P. La función de interpolación debe evitar este problema.

Otro 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 .

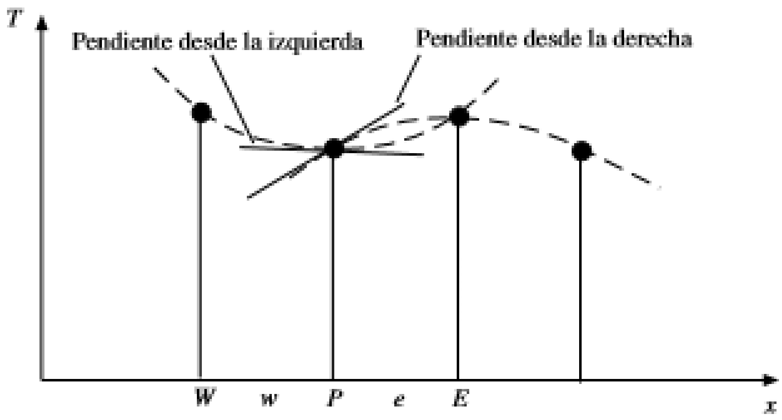


Figura 10 Ejemplo de función de interpolación que conduce a una discontinuidad de los flujos evaluados de dos volúmenes de control vecinos.

Fuente: 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.

2.2.4 Método TDMA

El método Tri Diagonal Matrix Algorithm se encarga de resolver de forma directa sistemas de ecuaciones algebraicas cuya matriz de coeficientes es de tipo tridiagonal, resolviendo de la siguiente manera ecuaciones de la forma (16):

$$\mathrm{a_p T_p = a_E T_E + \ a_W T_W + b}$$

La cual tiene la siguiente forma para una resolución lineal:

$$\mathrm{a_i \varphi_i = b_i \varphi_{i+1} + \ c_i \varphi_{i-1} + d_i} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots..(17)$$

Siendo: $\mathrm{c_i} = 0$ y $\mathrm{b_N} = 0$ válida para $1 \leq \mathrm{i} \leq \mathrm{N}$

Donde se obtendrá el algoritmo de la siguiente manera, si:

$$\varphi_i = P_i\varphi_{i+1} + Q_i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

Y el término anterior a este sería:

$$\varphi_{i-1} = P_{i-1}\varphi_i + Q_{i-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.. (19)$$

Reemplazando (19) en (17):

$$a_i\varphi_i = b_i\varphi_{i+1} + c_i(P_{i-1}\varphi_i + Q_{i-1}) + d_i$$

$$(a_i - c_iP_{i-1})\varphi_i = b_i\varphi_{i+1} + c_iQ_{i-1} + d_i$$

$$\varphi_i = \frac{b_i}{a_i - c_iP_{i-1}}\varphi_{i+1} + \frac{c_iQ_{i-1} + d_i}{a_i - c_iP_{i-1}}$$

Quedando los coeficientes para (18):

$$P_i = \frac{b_i}{a_i - c_iP_{i-1}} \qquad \text{y} \qquad Q_i = \frac{c_iQ_{i-1} + d_i}{a_i - c_iP_{i-1}}$$

No olvidándose de las condiciones iniciales y finales que son:

$$P_1 = \frac{b_1}{a_1}\ ;\ Q_1 = \frac{d_1}{a_1} \qquad \text{y} \qquad \varphi_N = Q_N$$

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

Entre ellos tendremos a los siguientes:

Motor Térmico Monocilindrico HONDA CDI CG 125:

Figura 11. Motor Térmico Monocilindrico HONDA CDI CG 125

Fuente: Honda “The Power of Dreams” .Productos. Motokars MC NLP.

Software Matlab 2016:

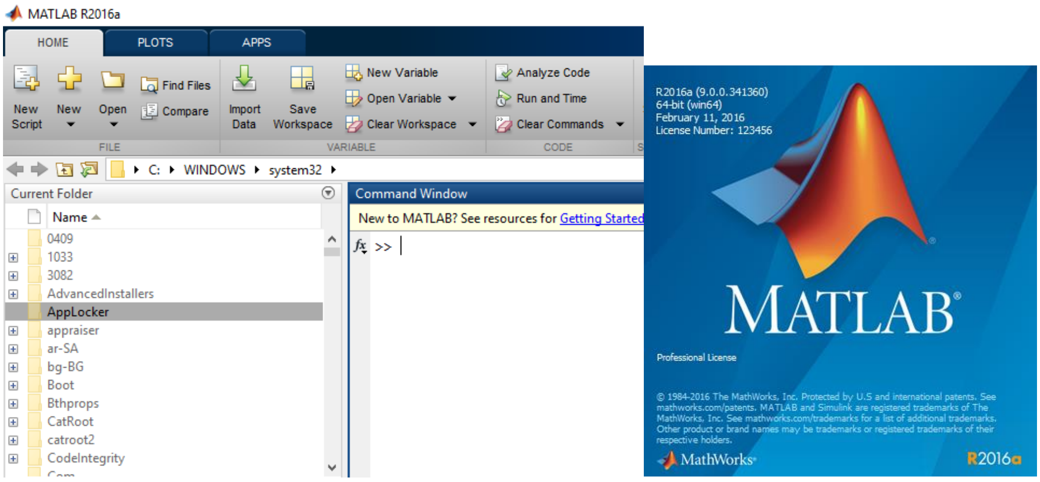


Figura 12. Presentación Matlab 2016 y entorno de trabajo Matlab 2016.

Fuente: Elaboración Propia

Cámara Termográfica Fluke Modelo Ti25:

Figura 13. Cámara Termográfica Fluke Modelo Ti25

Fuente: Fluke – "Keepíng your world up and Running"

Esta cámara está fabricada para su uso en resolución de problemas en sistemas eléctricos, equipos electromecánicos, equipos de procesos y en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, entre otros. (Ver Anexo 02. Especificaciones Técnicas de Cámara Termográfica Fluke Modelo Ti25)

Vernier:

Figura 14. Vernier Mitutoyo 150mm

Fuente: www.amazon.com.

3.2. Metodología de Trabajo.

3.3.1. Matemática - Numérica

Primeramente 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*, linealizándo 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).

3.3.2. Experimental

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.

Las tomas se realizarán en horas 2:00 p.m. del día 12 de noviembre del presente año con el apoyo del Analista Termógrafo Juan Carlos Enríquez, la cual es una toma IRT Nivel 1 (Ver Anexo 04. Análisis Termográfico IRT NIVEL 1 L-221 ASNT).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Características físicas y geométricas de las aletas del motor monocilíndrico tipo CDI CG 125.

Para el motor térmico (Figura15) y sus aletas se determinó las siguientes características técnicas (Figura16), físicas y geométricas:

Figura15. Motor Térmico Monocilindrico HONDA CDI CG 125.

Fuente: Elaboración Propia

Especificaciones técnicas

Descripción	MC NLP
Motor	Monocilíndrico, 4 tiempos, enfriado por aire
Cilindrada	124,1 cc
Diámetro x Carrera	56,5 x 49,5 mm
Relación de Compresión	9,0:1
Torque	0,9 kgf-m a 7500 rpm
Ignición	CDI
Encendido	Pedal
Embrague	Multidisco en baño de aceite
Batería	12V - 7AH
Transmisión	5 velocidades rotativo
Tanque de Combustible	9,0 litros
Reserva de Combustible	2,0 litros
Aceite de Motor	0,9 litros
Frenos	Tambor - Zapata de expansión interna
Llanta del. / pos.	2.50 - 18 40L / 2.75 - 18 42P
Suspensión del. / pos.	Telescópica / Brazo oscilante
Largo x ancho x alto	2845 x 1315 x 1705 mm

Figura 16. Especificaciones Técnicas del Motor HONDA CDI CG 125

Fuente: Honda "The Power of Dreams" .Productos. Motokars MC NLP.

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 ello, 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. (Figura 17)

Está 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 1.5 mm por aleta (1.5 a 2 mm) y con una geometría trapezoidal para las mismas con los bordes redondeados (Geometría más eficiente).

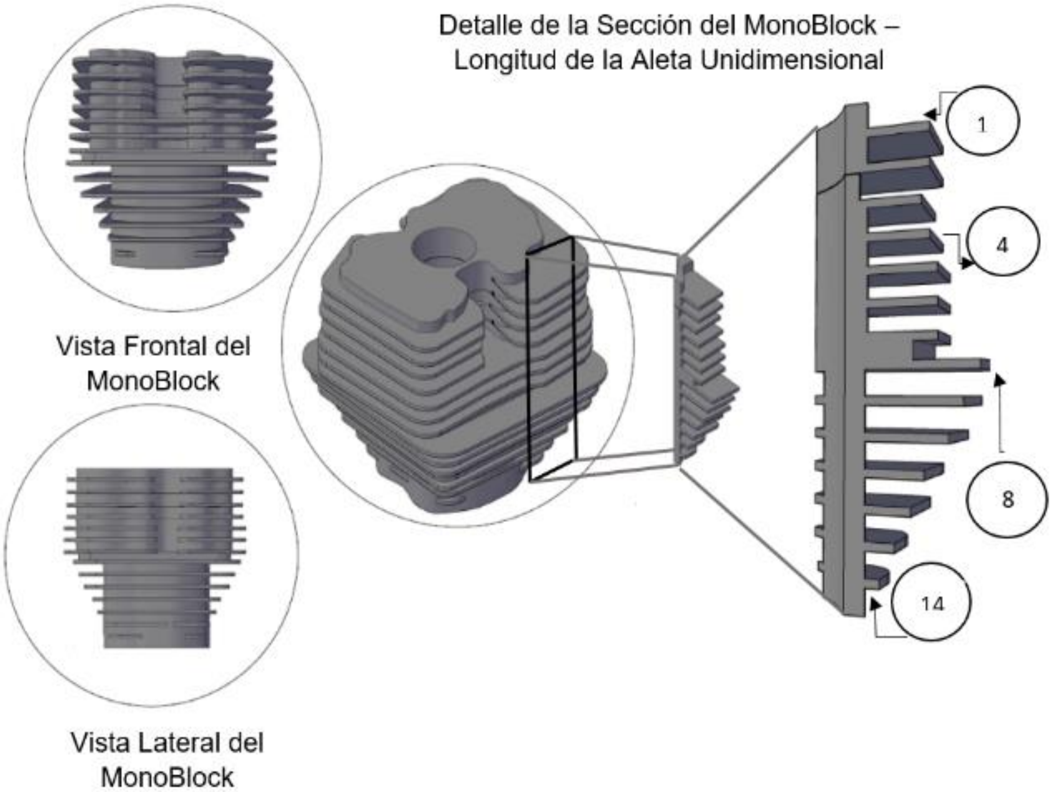


Figura 17 Dibujo de Detalle del Monoblock del Motor CDI CG 125

Fuente: Elaboración Propia

En las cuales para las dimensiones de las aletas se obtuvieron las siguientes dimensiones con el vernier Mitutoyo:

Tabla 1: Dimensiones Unidimensionales de las Aletas del Motor Térmico Monocilindrico.

Aleta N°	Longitud (mm)	Aleta N°	Longitud (mm)
1	28.9	8	27.1
2	28.9	9	25.5
3	28.9	10	23.8
4	31.9	11	22.2
5	31.9	12	20.6
6	31.9	13	18.9
7	31.9	14	17.3

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Modelamiento Matemático – Numérico de las aletas del motor monocilíndrico tipo CDI CG 125.

Para la realización del modelo se tuvo las siguientes consideraciones de trabajo:

Consideraremos una aleta con área de sección transversal uniforme A = w x b, donde w es la altura de la aleta y b es su profundidad. El perímetro es P = 2(w+b). La aleta estará fijada a una pared cuya temperatura es Tb (Fig.18) que pierde calor hacia el medio ambiente que está a una temperatura T_∞ con coeficiente de transferencia de calor h, La longitud de la aleta es L, y considere que las extremidades se encuentran aisladas. Si la conductividad térmica k varía con x, la ecuación de conservación para la aleta (Transferencia de Calor - Holman) es:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dx}}\left(\mathrm{k}\frac{\mathrm{dT}}{\mathrm{dx}}\right)+\frac{\mathrm{hP}}{\mathrm{A}}(\mathrm{T}_\infty-\mathrm{T})=0 \quad (20)$$

Además consideraremos una malla con espaciamiento uniforme tal que Δx=δx_e=δx_w (Fig.19) y la conductividad térmica se es conocida en el punto nodal principal P. Además de saber que el estudio será unidimensional.

Una vez considera las siguientes apreciaciones procederemos a realizar la solución de la misma:

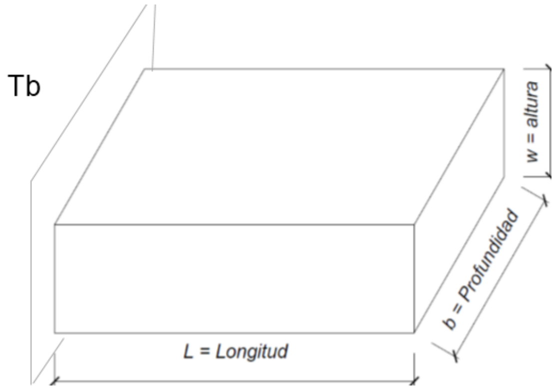


Figura 18. Área de aleta rectangular de área de sección transversal w x b y longitud L.

Fuente: Elaboración Propia

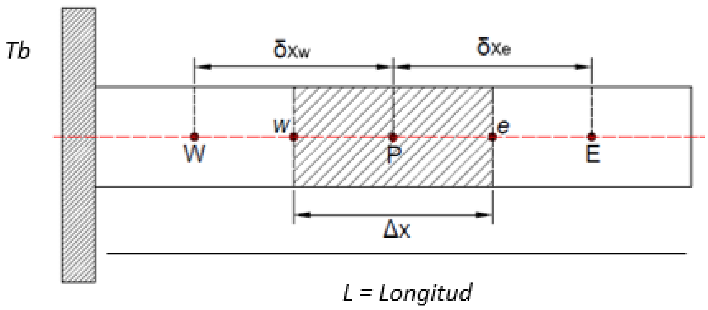


Figura 19. Malla del Problema Unidimensional

Fuente: Elaboración Propia

Integrando el volumen de control mostrado alrededor de los puntos w y e en la ecuación (20) tendremos:

$$\int_{vc} \frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right) d\forall + \int_{vc} \frac{hP}{A}(T_\infty - T)d\forall = 0$$

$$\int_{\cancel{vc}} \frac{\cancel{d}}{\cancel{dx}}\left(k\frac{dT}{dx}\right) A\cancel{dx} + \int_{vc} \frac{hP}{\cancel{A}}(T_\infty - T)\cancel{A}dx = 0$$

$$\left(k\frac{dT}{dx}\right) A\Big|_{w}^{e} + hP(T_\infty - T_P)\Delta x = 0$$

$$\left[\left(k\frac{dT}{dx}\right)_e - \left(k\frac{dT}{dx}\right)_w\right] A + hP(T_\infty - T_P)\Delta x = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

Reemplazando las ecuaciones (10) y (11) y el diferencial de x dado por: $\Delta x = x_e - x_w$, nos da en (21):

$$A\frac{k_e}{\delta x_e}(T_E - T_P) - A\frac{k_w}{\delta x_w}(T_P - T_w) + hP(T_\infty - T_P)(x_e - x_w) = 0$$

$$\frac{k_e}{\delta x_e}T_E - \frac{k_e}{\delta x_e}T_p - \frac{k_w}{\delta x_w}T_P + \frac{k_w}{\delta x_w}T_w + \frac{hP}{A}(x_e - x_w)T_\infty - \frac{hP}{A}(x_e - x_w)T_P = 0$$

$$\frac{k_e}{\delta x_e}T_E + \frac{k_w}{\delta x_w}T_w + \frac{hP}{A}(x_e - x_w)T_\infty = \left[\frac{k_e}{\delta x_e} + \frac{k_w}{\delta x_w} + \frac{hP}{A}(x_e - x_w)\right]T_P \ldots\ldots(22)$$

Una vez resuelta la ecuación, linealizamos la ecuación a través de los coeficientes de discretización:

$$a_E = \frac{k_e}{\delta x_e}$$

$$a_W = \frac{k_w}{\delta x_w}$$

$$a_p = \frac{k_e}{\delta x_e} + \frac{k_w}{\delta x_w} + \frac{hP}{A}(x_e - x_w) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(23)$$

$$b = \frac{hP}{A}(x_e - x_w)T_\infty \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(24)$$

Y el término fuente de igual manera que en (14), de manera que:

$$S = S_c + S_p T_P = \frac{hP}{A}(T_\infty - T_P) = \frac{hP}{A}T_\infty - \frac{hP}{A}T_P$$

Donde:

$$S_p = -\frac{hP}{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(25)$$

$$S_c = \frac{hP}{A}T_\infty \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(26)$$

Reemplazando (25) y (26) en las ecuaciones (23) y (22), y linealizándo la ecuación (22), tendremos:

$$a_E T_E + a_W T_w + b = a_p T_P \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(27)$$

Donde:

$$a_E = \frac{k_e}{\delta x_e}\ ;\ a_W = \frac{k_w}{\delta x_w}\ ;\ a_p = a_E + a_W - S_p\Delta x\ ;\ b = S_c\Delta x$$

La comprobación del modelamiento matemático, tendrá su presentación dentro de los anexos para su respectiva observación y verificación. (Anexo 03. Verificación de los principios básicos de Patankar). Para el desarrollo numérico primero procederemos a adimensionalizar los parámetros de la ecuación de la conservación de la aleta, para ello:

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right)+\frac{hP}{A}(T_\infty - T) = 0$$

Donde:

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_b - T_\infty} \rightarrow T = T_\infty + \theta(T_b - T_\infty) \rightarrow dT = (T_b - T_\infty)d\theta$$

$$X = \frac{x}{L} \rightarrow x = XL \rightarrow dx = LdX$$

Reemplazando:

$$\frac{d}{LdX}\left(k\frac{(T_b - T_\infty)d\theta}{L \quad\quad dX}\right)+\frac{hP}{A}(T_\infty - T) = 0$$

$$k\frac{(T_b - T_\infty)}{L^2}\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right)+\frac{hP}{A}(T_\infty - T) = 0$$

$$\frac{k(T_b - T_\infty)}{L^2}\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right)+\frac{hP}{A}(T_\infty - T) = 0$$

$$\frac{k(T_b - T_\infty)}{L^2}\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right) = -\frac{hP}{A}(T_\infty - T)$$

$$\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right) = -\frac{hPL^2\,(T_\infty - T)}{Ak(T_b - T_\infty)}$$

$$\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right)+\frac{hPL^2\,(T_\infty - T)}{Ak(T_b - T_\infty)} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(28)$$

Dándole forma para obtener: $\theta = \frac{T-T_\infty}{T_b-T_\infty}$ y $\beta^2 = \frac{hPL^2}{kA}$ tendremos en (28):

$$\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right)-\frac{hPL^2\,(T - T_\infty)}{Ak(T_b - T_\infty)} = 0$$

Y finalmente:

$$\frac{d^2\theta}{dX^2} - \beta^2\theta = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

Discretizando la ecuación por el “Método de Volúmenes Finitos”: Integrando el V.C:

$$\int_{vc}\frac{d}{dX}\left(\frac{d\theta}{dX}\right)d\forall - \int_{vc}\beta^2\theta d\forall = 0$$

$$\left(\frac{d\theta}{dX}\right)\Big|_{w}^{e} - \beta^2\theta_P\Delta x = 0$$

$$\left[\left(\frac{d\theta}{dX}\right)_e - \left(\frac{d\theta}{dX}\right)_w\right] - \beta^2\theta_P\Delta x = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(30)$$

Donde:

$$\left(\frac{d\theta}{dX}\right)_e = \frac{\theta_E - \theta_P}{\delta x_e} \quad ; \quad \left(\frac{d\theta}{dX}\right)_w = \frac{\theta_P - \theta_w}{\delta x_w}$$

Dándonos en (30):

$$\frac{\theta_E - \theta_P}{\delta x_e} - \frac{\theta_P - \theta_w}{\delta x_w} - \beta^2\theta_P\Delta x = 0$$

$$\frac{\theta_E}{\delta x_e} - \frac{\theta_P}{\delta x_e} - \frac{\theta_P}{\delta x_w} + \frac{\theta_w}{\delta x_w} - \beta^2\theta_P\Delta x = 0$$

$$\frac{1}{\delta x_e}\theta_E + \frac{1}{\delta x_w}\theta_w = \left(\frac{1}{\delta x_e} + \frac{1}{\delta x_w} + \beta^2\Delta x\right)\theta_P \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(31)$$

Entonces los coeficientes de discretización son:

$$a_E = \frac{1}{\delta x_e} = \frac{1}{\delta x} \; ; \; a_W = \frac{1}{\delta x_w} = \frac{1}{\delta x}$$

$$a_p = \frac{1}{\delta x_e} + \frac{1}{\delta x_w} + \beta^2\Delta x = \frac{2}{\delta x} + \beta^2\Delta x = \frac{2}{\delta x} - S_P\Delta x$$

Donde: $S_P = -\beta^2$, dándonos:

$$a_p = a_E + a_W - S_P\Delta x$$

Y finalmente quedando (31) de la siguiente manera:

$$a_E\theta_E + a_W\theta_w = a_p\theta_P \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(32)$$

Una vez linealizado y adimensionalizado la ecuación de la aleta, procederemos a usar el método TDMA, donde primeramente la longitud de la aleta unidimensional será discretizada en una malla mediante las posiciones de los puntos y las posiciones de cada fase (Figura 20)

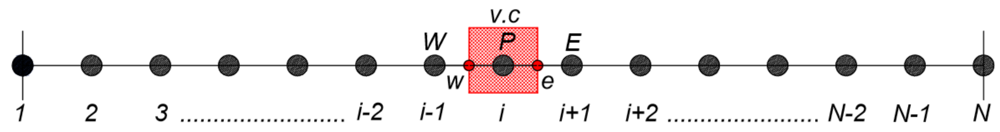


Figura 20. Distribución de la Malla

Fuente: Elaboración Propia

En la cual se considera el espaciamiento de malla como uniforme a través de todo su recorrido, donde la posición de cada fase estará dada por:

$$X_{fase}(i) = \left(\frac{i-1}{N-2}\right)^{\alpha} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(33)$$

Donde

α : Coeficiente de concentración de la malla y tiene un valor de 1

Y donde la posición de cada fase estará dada por:

$$X_{punto}(i) = \frac{X_{fase}(i+1) + X_{fase}(i)}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(34)$$

Una vez identificado la variable independiente, que es la longitud de la aleta, tocará el turno para la dependiente, que es la temperatura que al igual que la posición se encuentra en su forma adimensional dado por θ , usando el TDMA, e igualando las ecuaciones (32) y (17), tendremos:

$$\left.\begin{array}{r} a_p\theta_P = a_E\theta_E + a_W\theta_w \\ a_i\varphi_i = b_i\varphi_{i+1} + c_i\varphi_{i-1} + d_i \end{array}\right\} \begin{array}{ll} \varphi_i=\theta_P & c_i=a_W \\ b_i=a_E & a_i=a_P \end{array} \;\mathrm{Y}\;\; 0 = d_i$$

Identificado los coeficientes de discretización y el parámetro de iteración θ , para su procesamiento se tendrá algunas restricciones de trabajo, con condiciones de contorno al inicio y al final:

Para el punto inicial (punto 01), en donde se es conocida la temperatura inicial, para i=1, tendremos:

$$\begin{cases} a_1 = 1 \\ b_1 = 0 \\ c_1 = 0 \\ d_1 = \theta_b = 1 \;\; (\text{única excepción}) \end{cases}$$

Y para el punto final (punto N), en donde la transferencia de calor es igual a 0, por ser de extremo adiabático, tendremos que $q = 0 = -k\frac{\partial T}{\partial x}$ (por lo tanto $T_N = T_{N-1}$), además de establecer para i=N, con:

$$i = N \begin{cases} a_n = 1 \\ b_n = 0 \\ c_n = 1 \\ d_n = 0 \end{cases}$$

Con los valores de contorno ya establecidos, el proceso de iteración del algoritmo hará uso de (18) con sus coeficientes P_i y Q_i , así como sus condiciones iniciales P_1 y Q_1.

Donde calcularemos la distribución de la temperatura haciendo: $\varphi = \theta$ donde φ =Temperatura, obteniendo: $\varphi_N = \theta_N$; para luego hacer uso de (18) obteniendo los valores de: $\varphi_{N-1}, \varphi_{N-2} \dots \dots \varphi_2, \varphi_1$ para $\theta_{N-1}, \theta_{N-2} \dots \dots \theta_2, \theta_1$ en su forma regresiva.

Para la verificación de los resultados, comprobaremos su solución frente a la solución exacta a través del porcentaje de error generado y la perdida de calor a través de un balance global. Para encontrar el porcentaje error de la solución tendremos:

$$\%\,\text{Error} = \frac{\theta_{\text{s. numérica}} - \theta_{\text{s. exacta}}}{\theta_{\text{s. numérica}}} \text{ x } 100 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (35)$$

Para ello la solución exacta del problema, será resuelta a partir de (29):

$$\frac{d^2\theta}{dX^2} - \beta^2\theta = 0$$

Con una solución exponencial para ecuaciones diferenciales de 2do grado:

$$\theta = e^{rX} \rightarrow \left. d\theta \middle/ dX \right. = re^{X} , \left. d^2\theta \middle/ dX^2 \right. = r^2 e^{rX}$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tendremos:

$$r^2 e^{rX} - \beta^2 e^{rX} = 0 \quad \rightarrow \quad e^{rX} \left(r^2 - \beta^2 \right) = 0 \quad \rightarrow \quad r^2 - \beta^2 = 0 \quad \rightarrow \quad r = \pm\beta$$

Quedando la solución de la siguiente forma:

$$\theta = c_1 e^{\beta X} + c_2 e^{-\beta X} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots . (36)$$

Aplicando las condiciones de contorno (CC) al inicio y al final tendremos:

$$CC_{inicio}:\ X = 0 \rightarrow \theta = 1$$ (Temperatura inicial conocida)

$$CC_{final}:\ X = 1 \rightarrow \partial\theta/\partial X = 0$$ (Extremo de aleta aislada, q = 0)

Sabiendo a través de las funciones hiperbólicas los valores de e^{X} y e^{-X}, la solución en (36) será:

$$\theta = c_1 \mathrm{senh}(\beta X) + c_2 \cosh(\beta X) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (37)$$

Aplicando primero las condiciones de contorno iniciales y finales en (37):

De $\quad cc_1:\ (X, \theta) = (0,1)$

$$1 = c_1 \mathrm{senh}(0) + c_2 \cosh(0)$$

$$1 = c_1(0) + c_2(1)$$

$$c_2 = 1$$

Y de $\quad cc_2:\ X = 1 \rightarrow \partial\theta/\partial X = 0$

$$\partial[c_1 \mathrm{senh}(\beta X) + c_2 \cosh(\beta X)]/\partial X = 0$$

$$c_1 \beta \cosh(\beta X) + c_2\, \beta \mathrm{senh}(\beta X) = 0$$

$$c_1 \beta \cosh(\beta x1) + (1)\, \beta \mathrm{senh}(\beta x1) = 0$$

$$c_1 \cancel{\beta} \cosh(\beta) = -\cancel{\beta} \mathrm{senh}(\beta)$$

$$c_1 = -\tanh(\beta)$$

Reemplazando las constantes c1 y c2 en (37), tendremos la solución exacta de la ecuación de la aleta:

$$\theta = -\tanh(\beta)\, \mathrm{senh}(\beta X) + \cosh(\beta X) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . (38)$$

Como último paso verificaremos el balance global a través de la ecuación del balance de energía, con el calor de la base hacia la aleta y el calor disipado a lo largo de la aleta, respectivamente:

$$q''_{base} = -kA \left.\frac{dT}{dx}\right|_{x=0}$$

$$q''_{disipado} = \int_0^L hP(T - T_\infty)dx$$

Realizando el balance de energía para los calores

$$q''_{base} = q''_{disipado}$$

$$-kA\left.\frac{dT}{dx}\right|_{x=0} = \int_0^L hP(T - T_\infty)dx$$

$$-kA\left.\frac{dT}{dx}\right|_{x=0} - \int_0^L hP(T - T_\infty)dx = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (39)$$

Buscando la solución en forma adimensional, usaremos:

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_b - T_\infty} \rightarrow T = T_\infty + \theta(T_b - T_\infty) \rightarrow dT = (T_b - T_\infty)d\theta$$

$$X = \frac{x}{L} \rightarrow x = XL \rightarrow dx = LdX$$

Reemplazando en (39):

$$-kA\left.\frac{\cancel{(T_b - T_\infty)}d\theta}{L \quad dX}\right|_{x=0} - \int_0^L hP\cancel{(T_b - T_\infty)}\theta LdX = 0$$

$$-\left.\frac{d\theta}{dX}\right|_{x=0} - \frac{hPL^2}{kA}\int_0^1 \theta dX = 0$$

$$\rightarrow -\frac{\Delta\theta_i}{\Delta X_i} - \beta^2\int_0^1 \theta_i \Delta X_i = 0$$

$$-\frac{\Delta\theta_i}{\Delta X_i} = \beta^2\int_0^1 \theta_i \Delta X_i$$

Dándonos el balance global y además de la forma para el ingreso en la programación de la siguiente manera:

$$\begin{cases} -\dfrac{\Delta\theta_i}{\Delta X_i} = \dfrac{\theta_1 - \theta_2}{\Delta X} & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . (40) \\ \beta^2\displaystyle\int_0^1 \theta_i \Delta X_i = \beta^2\sum_{i=0}^{N} \theta_i \Delta X_i & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (41) \end{cases}$$

4.3 Evaluación del campo de temperatura numérica y analítica del sistema de enfriamiento de las aletas del motor monocilíndrico CDI CG 125.

4.3.1 Evaluación del parámetro θ en forma analítica y numérica

Una vez realizada la programación en el software MATLAB. (Anexo 5: Método Computacional Matlab), la forma adimensional de dependencia del valor X con respecto a θ, mostrará los siguiente valores:

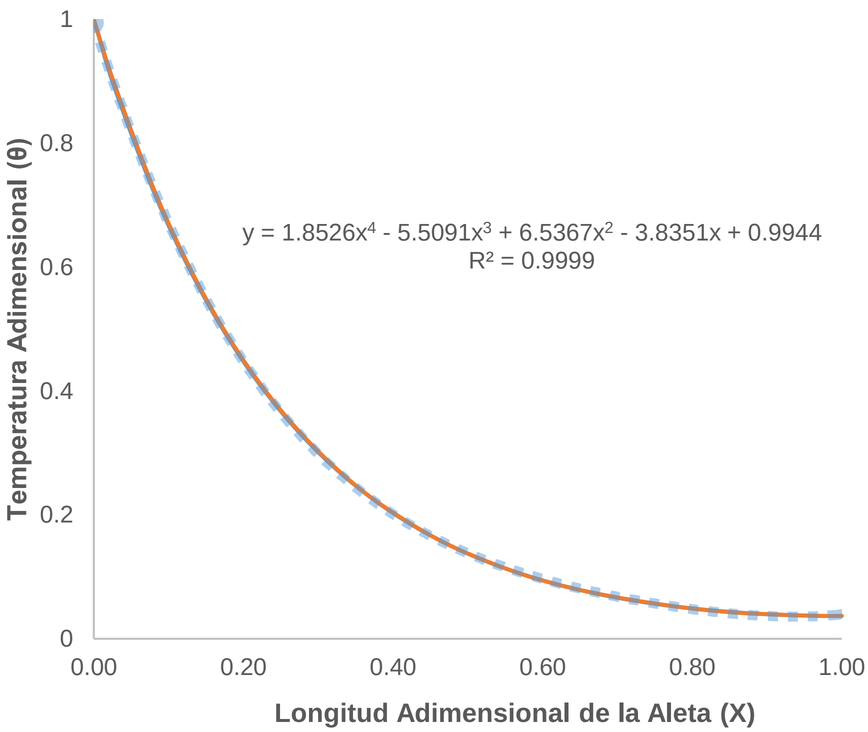
Tabla 2: Valores de X vs. Θ

X	TETA NUMERICO	TETA ANALITICO	% ERROR
0.0000	1.000	1.000	0.000
0.0278	0.890	0.895	0.592
0.0833	0.713	0.717	0.544
0.1389	0.571	0.574	0.505
0.1944	0.458	0.460	0.457
0.2500	0.367	0.369	0.407
0.3056	0.295	0.296	0.338
0.3611	0.237	0.237	0.295
0.4167	0.190	0.191	0.262
0.4722	0.153	0.153	0.196
0.5278	0.124	0.124	0.162
0.5833	0.100	0.100	0.100
0.6389	0.082	0.082	0.000
0.6944	0.068	0.068	0.074
0.7500	0.057	0.057	0.018
0.8056	0.048	0.048	0.083
0.8611	0.043	0.042	0.236
0.9167	0.039	0.039	0.000
0.9722	0.037	0.037	0.000
1.0000	0.036	0.037	0.820

Fuente: Elaboración Propia

La cual muestra un error del 0.254 % en promedio, en comparación de los datos analíticos y los numéricos, siendo los resultados con 4 decimales. Estos datos pueden reflejar su aproximación a través de la gráfica 1, además de la cual obtuvimos la ecuación que gobierna su dependencia.

Grafico 1: Temperatura vs. Longitud Adimensional de la aleta



Fuente: Elaboración Propia

La cual está dada por:

$$\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944 \ldots\ldots..(42)$$

Donde:

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

Reemplazando θ y X en (42) tendremos:

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

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

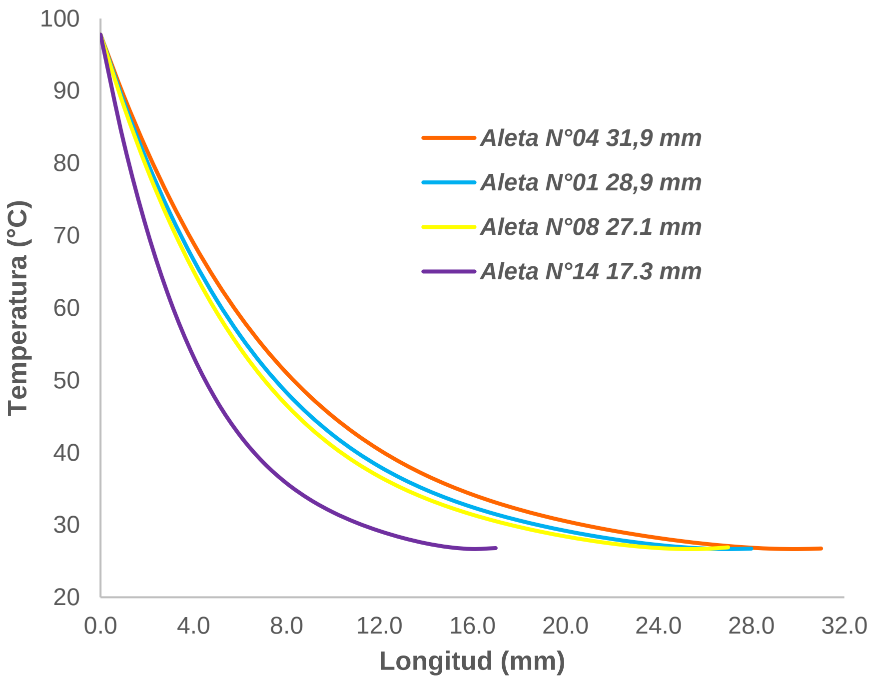
$$T(x) = T_\propto + (T_b - T_\propto)\begin{bmatrix} 1.8526\left(\frac{x}{L}\right)^4 - 5.5091\left(\frac{x}{L}\right)^3 + 6.5367\left(\frac{x}{L}\right)^2 - \\ 3.8351\left(\frac{x}{L}\right) + 0.9944 \end{bmatrix} \ldots(43)$$

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:

4.3.2. Dependencia de la distancia frente a la temperatura, a una temperatura de ambiente constante y una temperatura base constante.

Utilizando la ecuación (43), una temperatura de ambiente igual a 24°C (www.foreca.com), y una temperatura en la base de la aleta de 98.2 °C (Anexo 04: 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, tendremos:

Grafico 2: Temperatura vs. Longitud para 4 longitudes de aletas



Fuente: Elaboración Propia

La cual muestra las siguientes características:

Las cuatro curvas mostradas de las aletas en el gráfico 2 indican un valor inicial cuando la longitud es 0 mm que corresponde a un 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 T. 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.

4.3.3 Dependencia de la distancia frente a la temperatura, a una temperatura de ambiente constante y una temperatura base variable.

Para poder realizar la variación de las temperaturas bases se realizó un análisis termográfico, en la cual se buscó las temperaturas superficiales de las aletas, donde se obtuvieron los siguientes gráficos a continuación e identificando las temperaturas que predominen en el sector donde se han realizado las medidas longitudinales de la aleta:

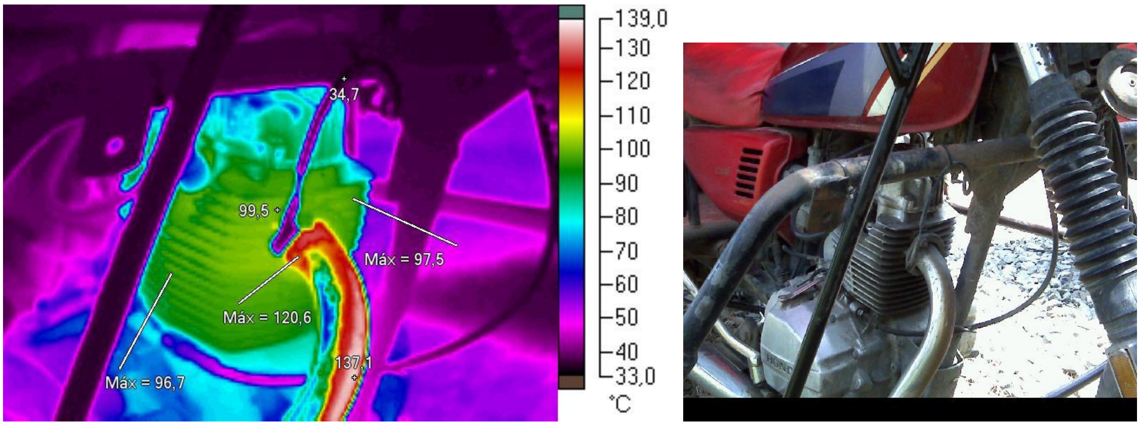


Grafico 3: Fotografía térmica del motor. Parte Frontal.

Fuente: Elaboración Propia

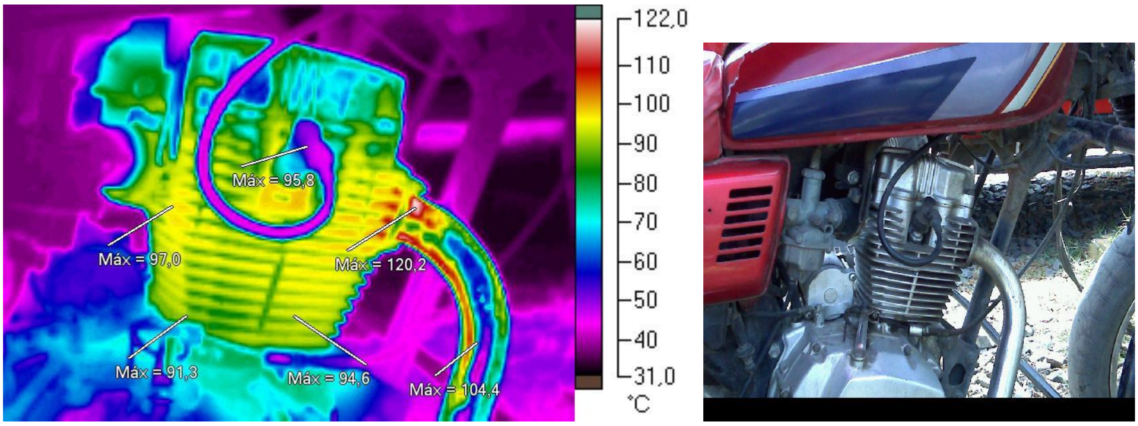


Grafico 4: Fotografía térmica del motor. Parte Lateral Derecha.

Fuente: Elaboración Propia

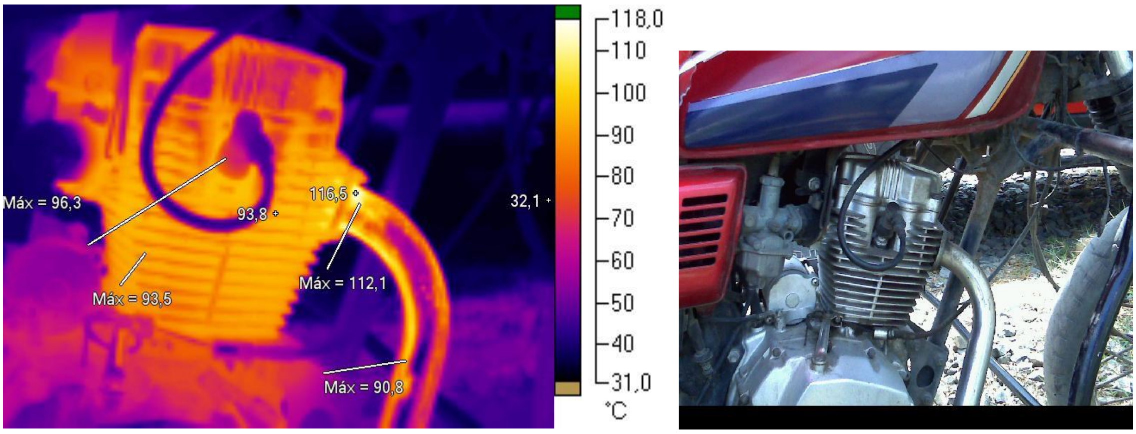


Grafico 5: Fotografía térmica del motor. Parte Lateral Derecha

Fuente: Elaboración Propia

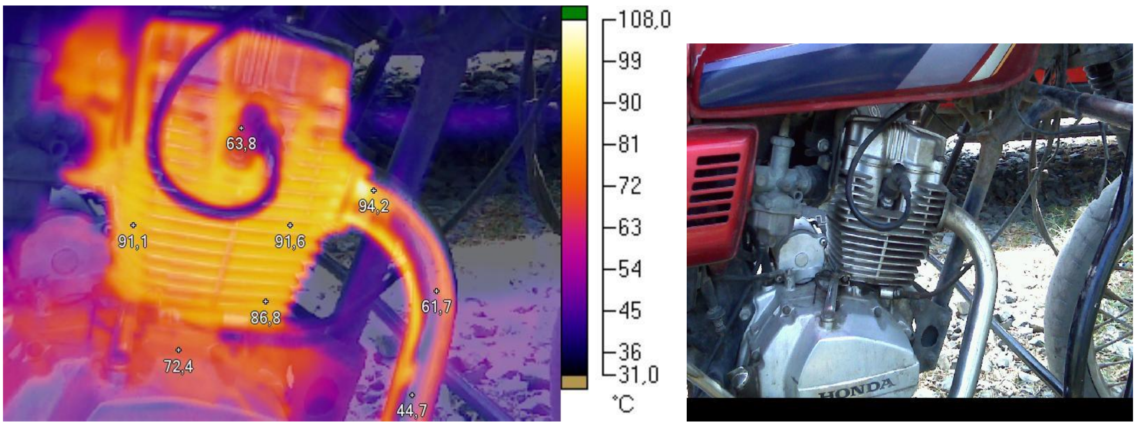


Grafico 06: Fotografía térmica del motor. Parte Lateral Derecha.

Fuente: Elaboración Propia

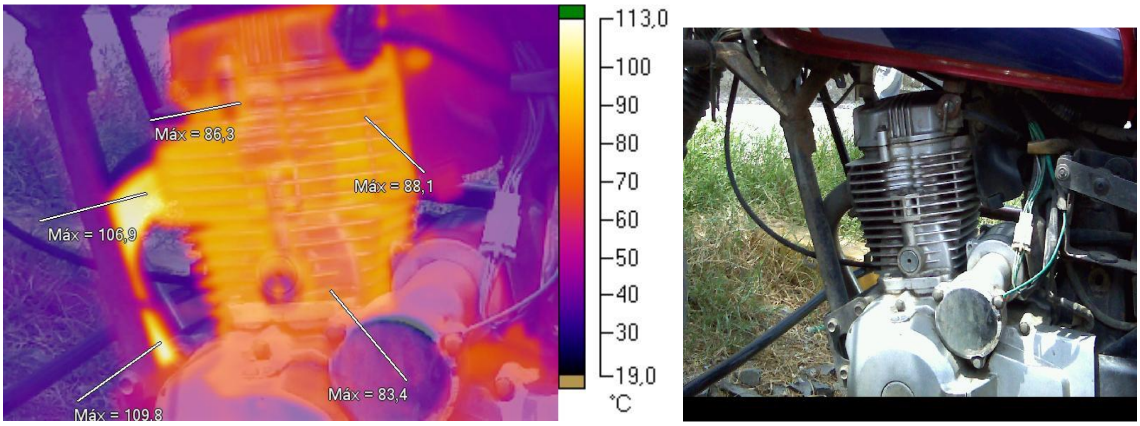


Grafico 07: Fotografía térmica del motor. Parte Lateral Izquierda.

Fuente: Elaboración Propia

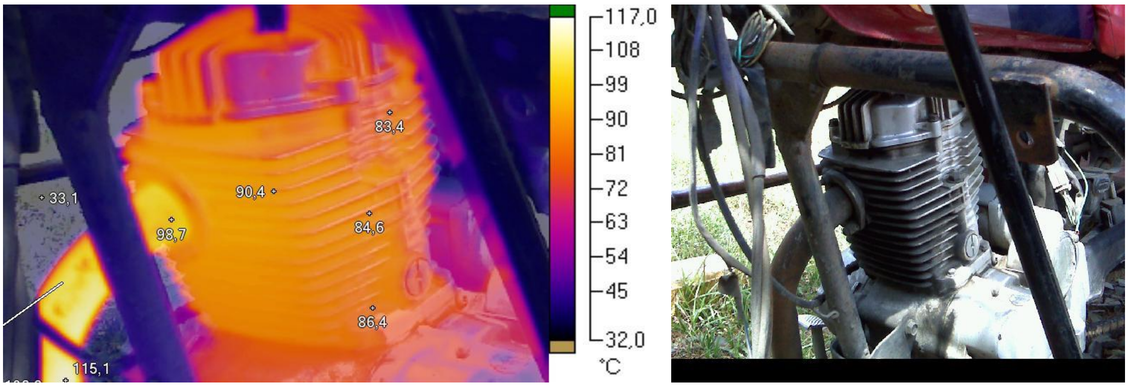


Grafico 08: Fotografía térmica del motor. Parte Frontal Izquierda.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis realizado muestra 2 tipos de imágenes: Las cuales la 1era muestra una imagen Termográfica de la temperatura superficial del cuerpo analizado, la 2da es la imagen con luz visible del elemento a trata en la cual cantidad de pixeles de las que es dividida la imagen térmica reflejara el mayor valor generado (Ver anexo 5: Análisis Termográfico Código IRT NIVEL 1 L-221 ASNT).

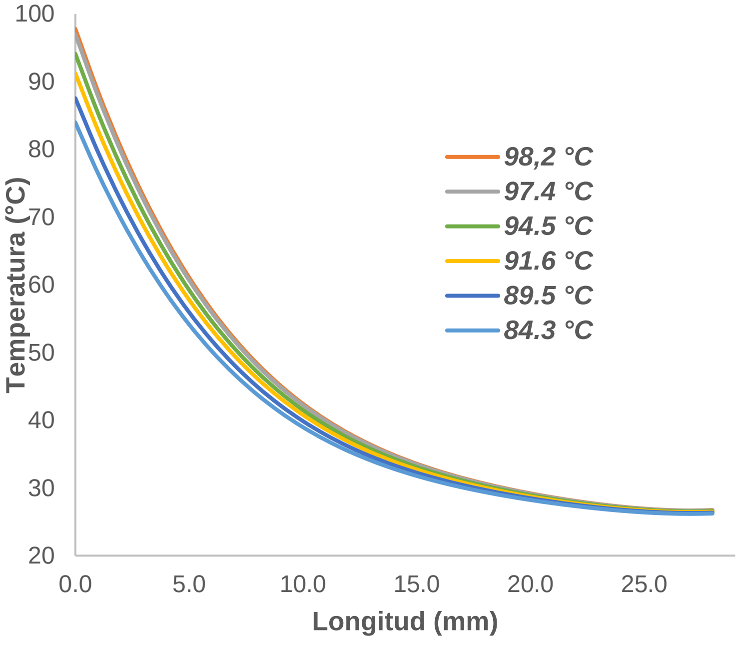
Los valores promedios registrados fueron los siguientes:

Tabla 03: Valores de Ingreso de temperatura base en la aleta unidimensional

Temperatura Promedio	**°C**
Primera Imagen (grafico 3)	98.2
Segunda Imagen (grafico 3)	97.4
Tercera Imagen(grafico 3)	94.5
Cuarta Imagen (grafico 3)	91.6
Quinta Imagen (grafico 3)	89.5
Sexta Imagen (grafico 3)	84.3

Por ello de igual manera al caso anterior se hará uso de la ecuación (43) 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 fueron de 6 valores diferentes (Anexo 5: Análisis Termográfico por Juan C. Enríquez Pérez, Código IRT NIVEL 1 L-221 ASNT), medidas para cada una de las 4 longitudes de aleta mencionadas, obteniendo:

Grafico 9: Temperatura vs. Longitud para 28.9 mm variando la temperatura base.



Fuente: Elaboración Propia

En la cual tenemos 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.

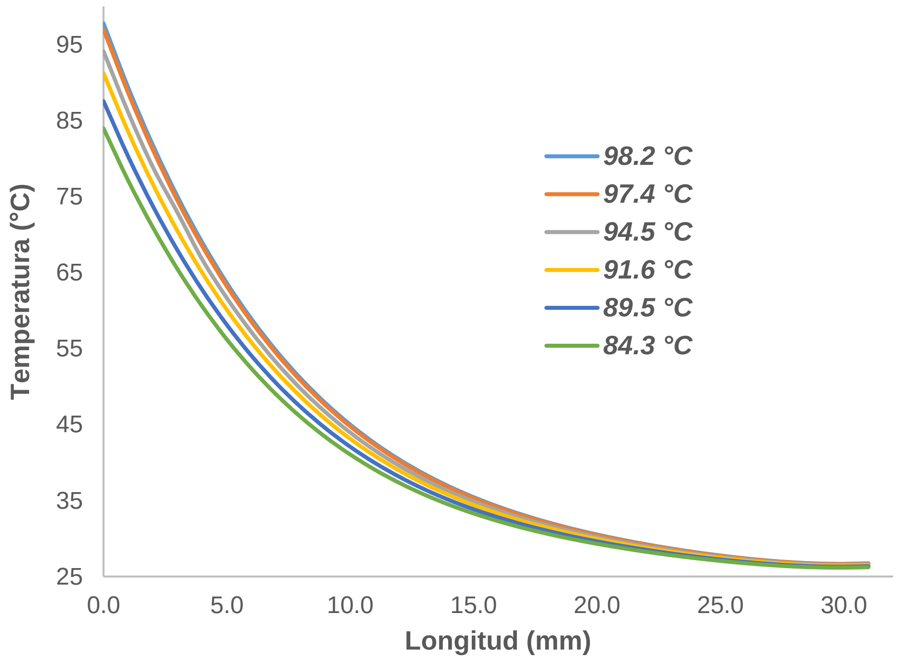
Como se sabe que todas las gráficas mantiene una temperatura de ambiente constante de 24 °C, todas tienden a este grado al finalizar su curvatura cuando la longitud ya es de 28.9 mm.

Todas las curvas de igual manera tienden a los 24 °C cuando la longitud se aproxima a su valor fijo en mm.

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.

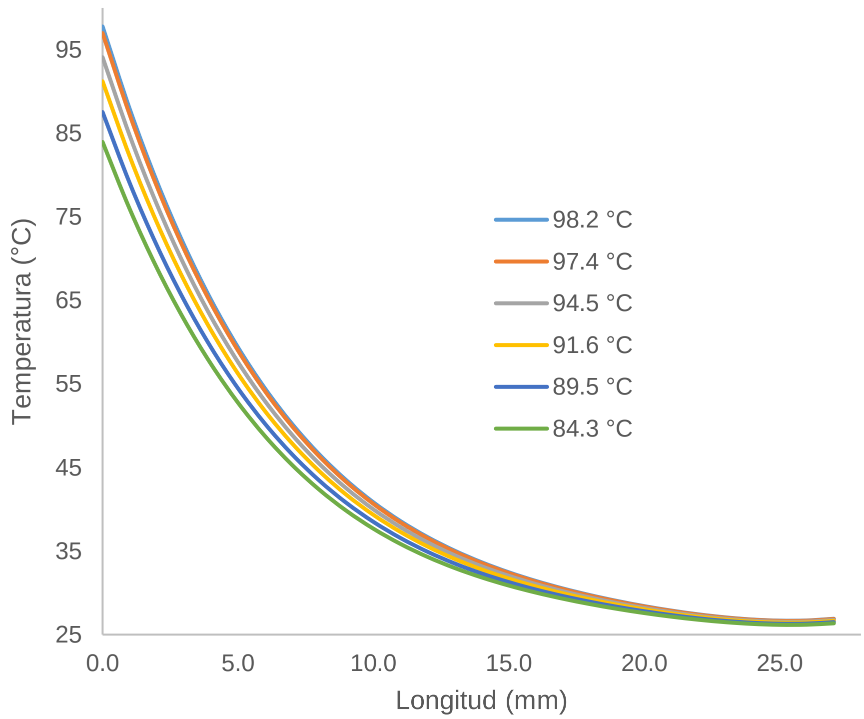
Las temperaturas máximas de cada curva, corresponden a los valores mostrados en la leyenda.

Grafico 10: Temperatura vs. Longitud para 31.9 mm variando la temperatura base.



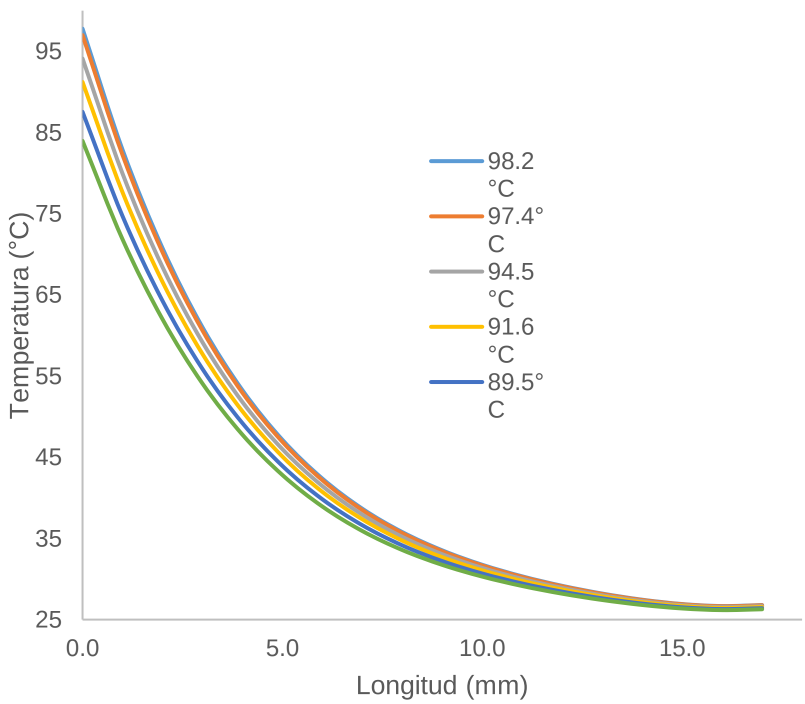
Fuente: Elaboración Propia

Grafico 11: Temperatura vs. Longitud para 27.1 mm variando la temperatura base.



Fuente: Elaboración Propia

Grafico 12: Temperatura vs. Longitud para 17.3 mm variando la temperatura base.



Fuente: Elaboración Propia

La gráfica muestra semejanza en la distribución de la temperatura con el caso anterior, pero con la condición que a diferencia, éstas por ser de mayor y/o menor longitud tiende a disipar menor calor o mayor calor a un ritmo determinado. Estas gráficas muestran una continuación de las tendencias de las temperaturas frente a la longitud de la aleta.

CAPITULO V

DISCUSIONES

A diferencia de lo ejercido por Regina y Luiz, 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 Luiz, en lo que respecta a que un aumento del número de aletas, necesariamente no implica una mayor eficiencia.

En comparación con Mendoza, las gráficas 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 25 mm.

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.

Caldas, Castejón y Ronceros, 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. (Ver Anexo 3: Tabla de Valores de X vs. Θ)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Para el Motor CDI CG 125 se tuvo las 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).

En el modelamiento matemático – numérico se hizo uso del **método de volúmenes finitos**, haciendo uso de la **ecuación de transferencia de calor en una aleta**, en la cual a través del método **TDMA** se obtuvieron los valores para la **ecuación adimensional** de θ vs X en su forma analítica y numérica, la cual en 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 a través de la gráfica N° 01 que muestra los valores numéricos de θ vs. X , que en comparación con los valores analíticos tiene un grado de error del **0.254%** (Ver Anexo 05) y con respecto a la ecuación generada de grado 4 dada por: $\boldsymbol{\theta = 1.8526X^4 - 5.5091X^3 + 6.5367X^2 - 3.8351X + 0.9944}$, 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. Además de no olvidar que se hizo uso de la **Cámara Termográfica Ti25** para calcular los valores de las temperaturas bases de la superficie del motor.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

El análisis numérico realizado como se observa ha sido realizado en forma unidimensional, lo que para futuros trabajos se puede realizar para 2 y 3 dimensiones, buscando valores más reales y específicos, además de poder realizarlos en un estado permanente y ya no en procesos estacionarios.

Una comparación experimental y numérica puede realizarse, con un análisis termografico más detallado, el que indicaría valores no solo superficiales (temperatura base) sino a través de toda la longitud de la aleta, en la cual se puede hacer estudios adrede con: RPM del motor a diferentes cantidades, con el motor en condiciones climáticas de mayor y menor temperatura, inclusive con el equipo en movimiento y no en condiciones fijas.

El valor de la constante beta, es de gran importancia, el cual puede ser manejado en forma variable, a diferencia de este trabajo que se ha tomado con un valor constante, su valor busca interpretar los cambios que pueden generar un aumento o disminución del coeficiente de convección, del área de la aleta, de su perímetro, del coeficiente de conductividad y de su longitud, buscando siempre una mayor eficiencia como equipo térmico.

Es importante que los valores numéricos obtenidos en la programación sean realizados como máximo con 4 decimales, para encontrar valores más próximos a los analíticos.

El método realizado es de un extremo de la aleta que resulta adiabático, aparte de ello hay más métodos para poder realizar trabajos futuros, como por ejemplo la de aleta infinita y la de perdida de calor por convección en su extremo.

Existe la manera de realizar también la operación mediante el método de elementos finitos y de diferencias finitas, para su contrastación.

La metodología matemática – numérica, muestra la ecuación lineal discretizada y aunque esta fue generada sin generación de calor, esta puede desarrollar fuentes de este tipo tales como generación por radiación en búsqueda de valores más reales.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Giacosa, D. (1989). *Motores Endotérmicos* (3. ª ed.). Madrid: Dossat.

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

Arias M. *Manual de automóviles* (32 ª ed.). Madrid: Dossat 2000.

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

Regina, C. y Luis, E. (noviembre, 1999) Otimização de Parámetros de Transferência de Calor no Escoamento em uma Região Anular Aletada. Comunicación presentada en *el XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecãnica: 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.

Caldas, J.B., Castejon, E. y Ronceros, G.A. (octubre, 2009) Modelo Computacional Para Análise da Condução de calor. Comunicación presentada en el *Anais do 15° 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.

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

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/.

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/.

Gutiérrez Quispe, D. (24 de noviembre de 2016) Motor diésel. Refrigeración por aire. Recuperado de:

http://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel3.shtml.

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.

Suarez, D; Pelichero, D. y Maidana, J. (Curso 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.

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/.

Gutiérrez, D. Motor Diesel. Ventajas y desventajas de la refrigeración forzada por aire. (19 de noviembre de 2016). Recuperado de: http://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel3.shtml.

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

Método de diferencias finitas. (16 de noviembre del 2016) Recuperado de: www.uam.es/personal_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/DiferenciasFinitas.html.

Carrillo, A. y Mendoza, O. Introducción al Método de Diferencias Finitas y su Implementación Computacional Recuperado de: http://www.mmc.geofisica.unam.mx/acl/.

ANEXOS

ANEXO 1: ECUACIÓN DE CALOR UNIDIMENSIONAL PERMANENTE

Para su formulación se partirá de la ecuación número (12) teniendo como resultado la ecuación (13) de la siguiente manera:

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

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

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

$$T_e \frac{K_E}{(\delta x)_e} + T_w \frac{K_w}{(\delta x)_w} + \bar{S}\Delta x = T_P \left[\frac{K_e}{(\delta x)_e} + \frac{K_w}{(\delta x)_w}\right]$$

$$\left[\frac{K_e}{(\delta x)_e} + \frac{K_w}{(\delta x)_w}\right] T_P = \frac{K_E}{(\delta x)_e} T_e + \frac{K_w}{(\delta x)_w} T_w + \bar{S}\Delta x$$

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + b$$

Donde:

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

ANEXO 2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CÁMARA TERMOGRÁFICA FLUKE MODEL TI25

Información General | Características | **Especificaciones** | Modelos, Accesorios y Precio | Más Información

Especificaciones detalladas

Temperatura	
Rango de medida de la temperatura (sin calibrar por debajo de -10 °C)	-20 °C a +350 °C (dos rangos)
Precisión	± 2 °C o 2% (la mayor de ambas)
Corrección de emisividad en pantalla	Sí

Características del detector	
Campo de visión	23° x 17°
Campo de visión instantáneo (IFOV)	2,5 mrad
Distancia focal mínima	Lentes térmicas: 15 cm (6 pulg.) Lentes de imagen visible: 46 cm (18 pulg.)
Enfoque	Manual
Frecuencia de imagen	Velocidad de actualización de 9 Hz
Tipo de detector	Matriz de plano focal de 160 x 120 con microbolómetro no refrigerado
Lentes de tipo infrarrojo	Lentes 20 mm F = 0,8
Sensibilidad térmica (NETD)	≤0,09 °C a 30 °C (90 mK)
Banda espectral infrarroja	7,5 µm a 14 µm
Cámara luz visible	640 x 480 de resolución

Presentación de la imagen	
Paletas de color	Hierro (ironbow), azul-rojo, alto contraste, ámbar, metal caliente, gris
Nivel y escala	Ajuste automático y manual del nivel y rango
Escala mínima (en modo manual)	2,5 °C

Grado de protección IP	IP54
Garantía	Dos años
Ciclo de calibración	Dos años (suponiendo un funcionamiento normal y desgaste normal)
Idiomas admitidos	Inglés, italiano, alemán, español, francés, ruso, portugués, sueco, turco, checo, polaco, finés, chino simplificado, chino tradicional, coreano y japonés

Escala mínima (en modo automático)	5 °C
Información IR-Fusion®	Totalmente infrarrojo con fundido automático máximo, medio o mínimo; e imagen en imagen con fundido automático máximo, medio o mínimo (fundido de imagen visible e infrarrojos)
Imagen en imagen (PIP)	Tres niveles de fundido infrarrojo en pantalla mostrados en 320 x 240 píxeles
Pantalla completa (PIP desactivado)	Tres niveles de fundido infrarrojo en pantalla mostrados en LCD de 640 x 480

Image capture and data storage	
Anotaciones de voz	Hasta 60 segundos de tiempo de grabación por imagen
Soporte de almacenamiento	Tarjeta de memoria SD (una tarjeta de memoria de 2 GB almacena al menos 1.200 imágenes visuales e infrarrojas vinculadas totalmente radiométricas [.is2], cada una con 60 segundos de anotación de voz o 3.000 imágenes básicas [.bmp])
Formatos de archivo	No radiométricos (.bmp) o totalmente radiométricos (.is2) No es necesario software de análisis para los archivos no radiométricos (.bmp)
Formatos de archivos de exportación con software SmartView™	JPEG, BMP, GIF, PNG, TIFF, WMF, EXIF, y EMF

Especificaciones generales	
Temperatura De funcionamiento:	-10 °C a 50 °C (14 °F a 122 °F)
Temperatura De almacenamiento:	-20 °C a +50 °C (-4 °F a 122 °F) sin baterías
Humedad relativa	10 a 90% sin condensación
Pantalla	Pantalla LCD (640 x 480) VGA panorámica en color, diagonal de 9,1 cm (3,6 pulg.) con retroiluminación (brillante o automática seleccionable)
Controles y ajustes	Escala de temperatura seleccionable por el usuario (°C/°F) Selección de idioma Ajuste de fecha/hora
Software	SmartView™; software completo de análisis y generación de informes incluido

ANEXO 3: VERIFICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE PATANKAR

<u>Regla 01:</u> Consistencia entre las fases del volumen de control

El volumen de control a través de las fases de dos V.C. adyacentes debe ser representado por la misma expresión, es decir $q_w^- = q_w^+$

Por eso:

$$q_w^- = \frac{k_w(T_w - T_P)}{\delta x_w} = \frac{k_p(T_w - T_p)}{\delta x_w} = q_w^+$$

Es por ello que el flujo debe ser evaluado en la fase. Si k_e se evalúa en la fase como debe ser, el método se vuelve consistente.

<u>Regla 02:</u> Coeficientes Positivos

$$a_E = \frac{k_e}{\delta x_e} \;;\; a_W = \frac{k_w}{\delta x_w} \;;\; a_p = a_E + a_W - \left(-\frac{hP}{A}\right)\Delta x \;;\; b = S_c \Delta x$$

Todos son positivos

<u>Regla 03:</u> Linealización del término fuente con pendiente negativa.

Como el término fuente es: $S = S_c + S_p T_P$ con S_p como pendiente de valor $S_p = -\frac{hP}{A} < 0$. Cumple con lo mencionado.

<u>Regla 04</u>: Suma de los coeficientes vecinos

Debe cumplir que $a_P \geq \sum a_n b$;

Sabiendo: $a_p = a_E + a_W - \left(-\frac{hP}{A}\right)\Delta x$

$a_E + a_W = \sum a_n b$, por lo tanto: $a_p = \sum a_n b - \left(-\frac{hP}{A}\right)\Delta x$

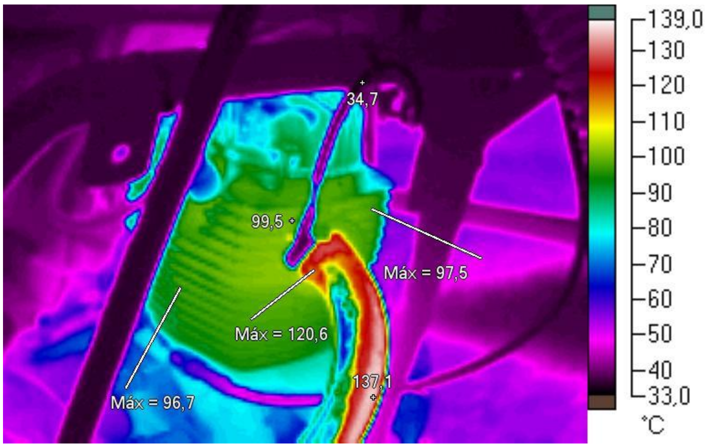
$$a_p = \sum a_n b + \frac{hP}{A}\Delta x \rightarrow a_P \geq \sum a_n b$$

Por Juan C. Enríquez Pérez.
INFORME Nº 100-005
jcmotionperu@hotmail.com

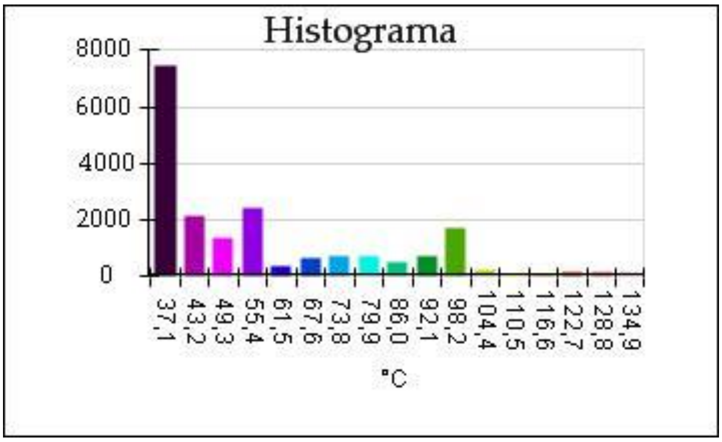
El análisis realizado muestra 3 tipos de imágenes: Las cuales la **1era** muestra una **imagen termográfica** del tipo IR00XXXX.IS2 de la temperatura superficial del cuerpo analizado, la **2da** es la **imagen con luz visible** del elemento a tratar, y **grama** que muestra la cantidad de pixeles que son re da temperatura generada en cada pixel.

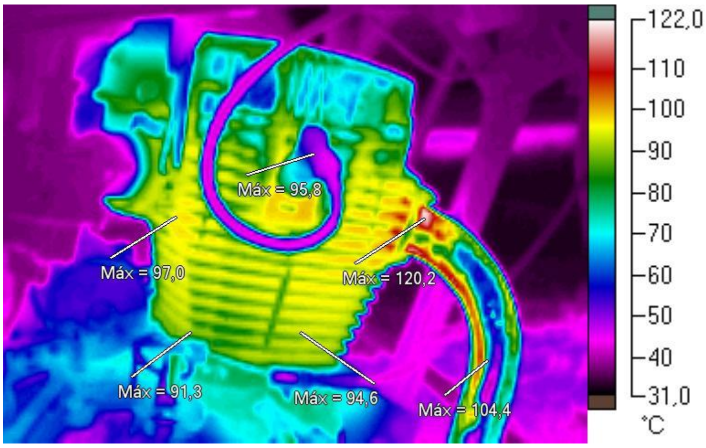
Vista Frontal del MonoBlock

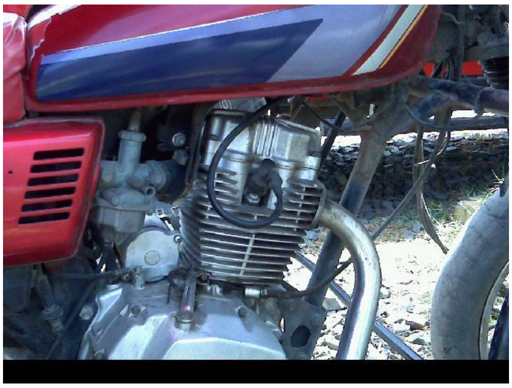
ANALISIS



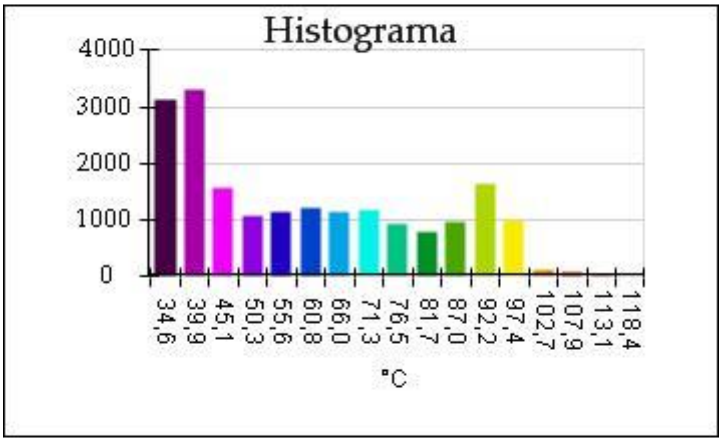
T. Promedio = 98.2 °C



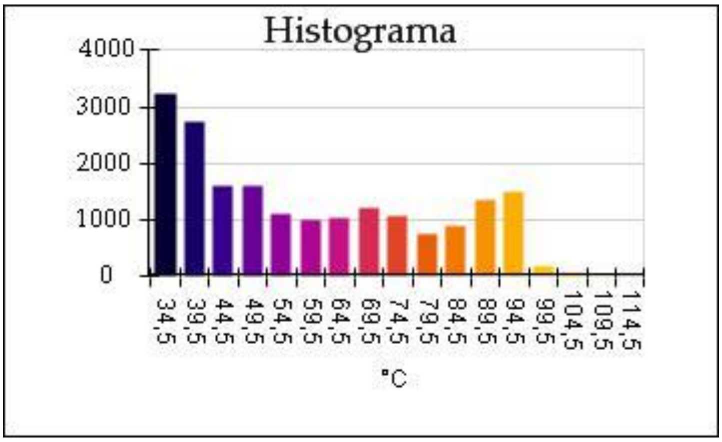


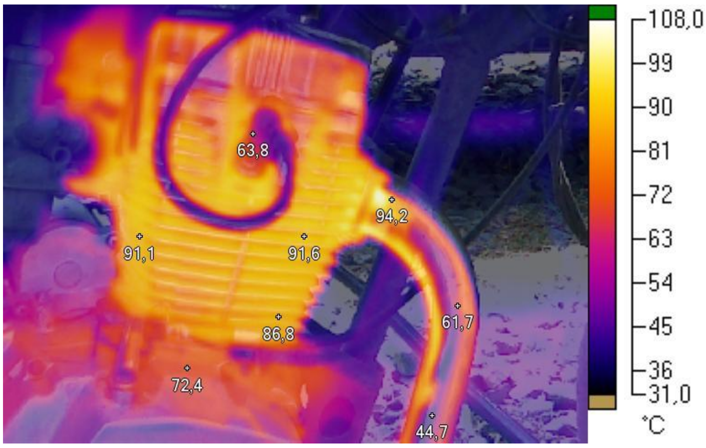


T. Promedio = 97.4 °C

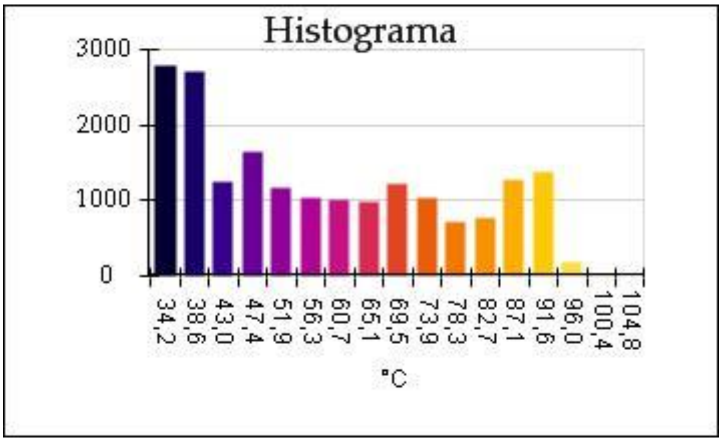


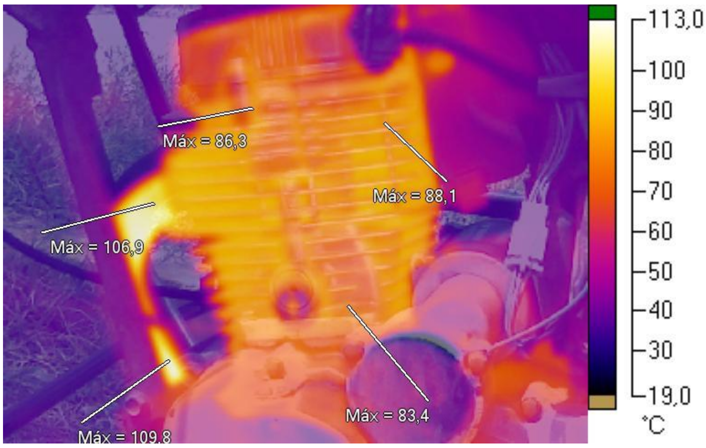
T. Promedio = 94.5 °C

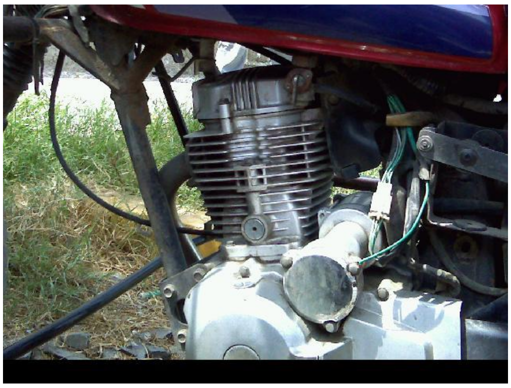




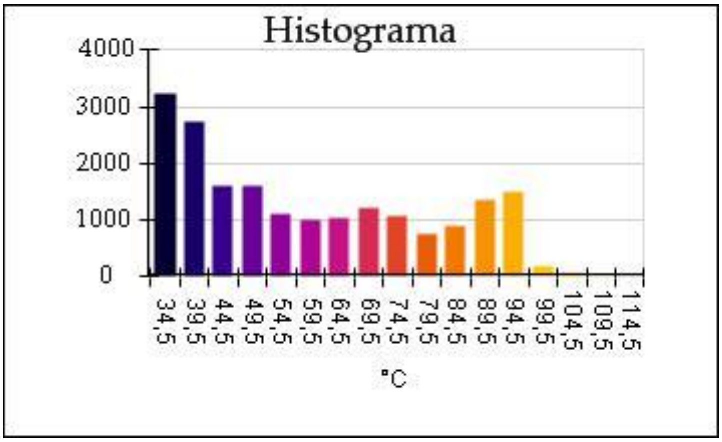
T. Promedio = 91.6 °C

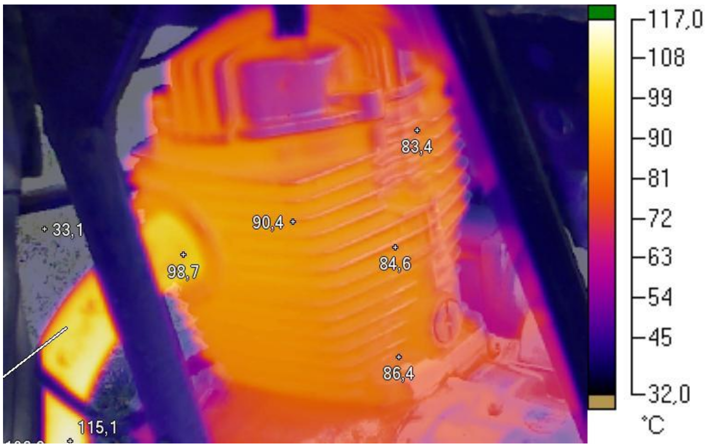




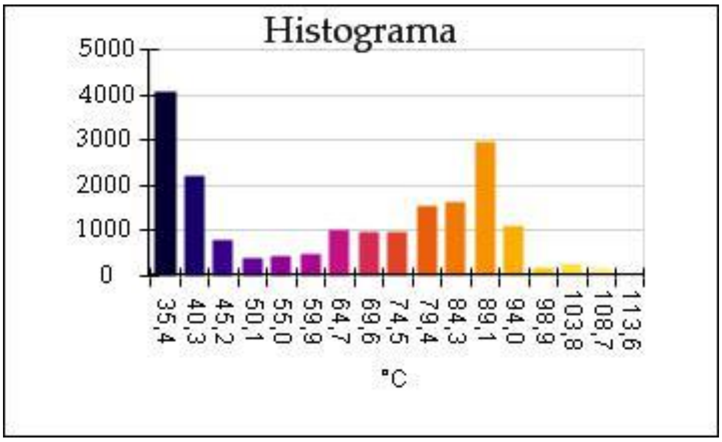


T. Promedio = 89.5 °C





T. Promedio = 84.3 °C



Valores de Ingreso de temperatura base en la aleta unidimensional

Temperatura Promedio	**°C**
Primera Imagen	98.2
Segunda Imagen	97.4
Tercera Imagen	94.5
Cuarta Imagen	91.6
Quinta Imagen	89.5
Sexta Imagen	84.3

ANEXO 5: METODO COMPUTACIONAL MATLAB

```
% ANEXO          : METODO COMPUTACIONAL MATLAB
% APLICACION     : ALETA DE UN MOTOR MONOCILINDRICO CDI CG 125

% VARIABLES FIJAS DEL PROBLEMA
N=20;                       %     N    = Número de puntos en la malla
alfa=1;                     %   alfa  = Coeficiente de concentración de
malla
beta_cuadrado=16;           %    ß^2  = Parámetro adimensional igual a
hPL^2/(KA).
Sp=-(beta_cuadrado);        %    Sp   = Termino Fuente Variable
Sc=0;                       %    Sc   = Termino Fuente Constante
beta=4;

                                %METODO A
%    |---|---o---|---o---|---o---|---o---|---o---|---o---|---o---|---|
%    1   2 .........   i-1      i      i+1.......     N-1       N

%UBICACIÖN DE LA FASE RESPECTO AL PUNTO 'i' [o]
pos=1;
vectorXf=pos:N-1;
for i=1:N-1
    Xf=((i-1)/(N-2)).^alfa;
    vectorXf(pos)=Xf;
    pos=pos+1;
end

%UBICACIÖN DE CADA PUNTO [|]
pos=1;
vectorX=pos:N;
for i=2:N-1
    X=(vectorXf(i-1)+vectorXf(i))/2;
    vectorX(i)=X;
    vectorX(1)=0;
    vectorX(N)=1;
    pos=pos+1;
end

%DISTANCIA ENTRE LOS PUNTOS 'i' Y EL PUNTO 'i+1'
pos=1;
vectorDX=pos:N-1;
for i=1:N-1
    DX=vectorX(i+1)-vectorX(i);
    vectorDX(pos)=DX;
    pos=pos+1;
end

%DISTANCIA ENTRE LOS FASES IZQ. Y DER. DEL PUNTO 'i'
pos=1;
vectorDeltaX=pos:N;
for i=2:N-1
    DeltaX=vectorXf(i)-vectorXf(i-1);
    vectorDeltaX(i)=DeltaX;
    vectorDeltaX(1)=0;
    vectorDeltaX(N)=0;
    pos=pos+1;
end

%CONDICIONES DE CONTORNO DE LA ALETA (A , B , C y D)

%CONSTANTE B
```

```
pos=1;
vector_b=pos:N;
for i=2:N-1
    b=1/(vectorDX(i));
    vector_b(pos+1)=b;
    vector_b(1)=0.0;
    vector_b(N)=0.0;
    pos=pos+1;
end

%CONSTANTE C
pos=1;
vector_c=pos:N;
for i=2:N-1
    c=1/(vectorDX(i-1));
    vector_c(pos+1)=c;
    vector_c(1)=0.0;
    vector_c(N)=1.0;
    pos=pos+1;
end

%CONSTANTE A
pos=1;
vector_a=pos:N;
for i=2:N-1
    a=((vector_b(i))+(vector_c(i))-Sp*(vectorDeltaX(i)));
vector_a(pos+1)=a;
    vector_a(1)=1.0;
vector_a(N)=1.0;
    pos=pos+1;
end

%CONSTANTE D
pos=1;
vector_d=pos:N;
for i=2:N-1
    d=Sc*vectorDeltaX(i);
    vector_d(pos+1)=d;
    vector_d(1)=1.0;
    vector_d(N)=0.0;
    pos=pos+1;
end

% ALGORITMO DE THOMAS (P,Q y θ)

% CONSTANTE P
pos=1;
vector_P=pos:N;
for i=2:N
    vector_P(1)=vector_b(1)/vector_a(1);
P=(vector_b(i))/((vector_a(i))-(vector_c(i)*vector_P(i-1)));
vector_P(pos+1)=P;
    pos=pos+1;
end

% CONSTANTE Q
pos=1;
vector_Q=pos:N;
for i=2:N
    vector_Q(1)=vector_d(1)/vector_a(1);
    Q=(vector_d(i)+vector_c(i)*vector_Q(i-1))/(vector_a(i)-
(vector_c(i)*vector_P(i-1)));
    pos=pos+1;
```

```
end

SOLUCION NUMERICA DE LA VARIABLE θ

% CONSTANTE θ
pos=N;
vector_TETA=1:N;
for i=1:N-1
    vector_TETA(N)=vector_Q(N);
    TETA=vector_P(N-i)*vector_TETA(pos)+vector_Q(N-i);
    vector_TETA(N-i)=TETA;
    pos=pos-1;
end

%SOLUCION EXACTA DE LA VARIABLE θ
pos=1;
vector_TETAex=pos:N;
for i=1:N
    TETAex=-(tanh(beta))*sinh(beta*vectorX(i))+cosh(beta*vectorX(i));
    vector_TETAex(pos)=TETAex;
    pos=pos+1;
end

%  ERROR ENTRE LA SOLUCIÓN NUMERICA Y LA SOLUCION EXACTA DE LA
VARIABLE θ
pos=1;
vector_ERRO=pos:N;
for i=1:N
    ERRO=((abs(vector_TETA(i)-
vector_TETAex(i)))/abs(vector_TETAex(i)))*100;
    vector_ERRO(pos)=ERRO;
    pos=pos+1;
end

% BALANCE GLOBAL DE ENERGIA ( CONDUCCION Y CONVECCION)
Qbase_aleta=(vector_TETA(1)-vector_TETA(2))/vectorDX(1);

pos=1;
vector_Qconv=pos:N;
vector_Qconv(1)=0;
for i=1:N-1

Qconv=vector_Qconv(i)+beta_cuadrado*vector_TETA(i+1)*vectorDeltaX(i+1)
;
    vector_Qconv(pos+1)=Qconv;
    pos=pos+1;
end

%  ERROR DEL BALANCE DE ENERGIA
BalanceGlobal=abs(Qbase_aleta-vector_Qconv(N));

%-------------------------------------------------------------------%


% DIAGRAMA DE TEMPERATURA vs LONGITUD DE LA ALETA
% VARIACION DE T vs L DE LA ALETA,
% CON Tb=cte y Tamb=cte

   Tb=98.2;     % Tempertura base (°C)
   Tamb=24;     % Temperatura de ambiente (°C)

   long = 28.9;
   cte1 = 0:1:long;
```

```
   T1   = Tamb +( Tb - Tamb )*(1.8526*(cte1/long).^4-
5.5091*(cte1/long).^3+6.5367*(cte1/long).^2-
3.8351*(cte1/long)+0.9944);
   long = 31.9;
   cte2 = 0:1:long;
   T2   = Tamb +( Tb - Tamb )*(1.8526*(cte2/long).^4-
5.5091*(cte2/long).^3+6.5367*(cte2/long).^2-
3.8351*(cte2/long)+0.9944);
   long = 27.1;
   cte3 = 0:1:long;
   T3   = Tamb +( Tb - Tamb )*(1.8526*(cte3/long).^4-
5.5091*(cte3/long).^3+6.5367*(cte3/long).^2-
3.8351*(cte3/long)+0.9944);
   long = 17.3;
   cte4 = 0:1:long;
   T4   = Tamb +( Tb - Tamb )*(1.8526*(cte4/long).^4-
5.5091*(cte4/long).^3+6.5367*(cte4/long).^2-
3.8351*(cte4/long)+0.9944);

   plot(cte1,T1,cte2,T2,cte3,T3,cte4,T4)



%-------------------------------------------------------------------%

% DIAGRAMA DE TEMPERATURA vs LONGITUD DE LA ALETA
% VARIACION DE T vs L DE LA ALETA,
% CON Tb= no cte y Tamb=cte

   long1=28.9;     % Longitud de la basa (mm)
   Tamb=24;       % Temperatura de ambiente (°C)

   Tb1a = 98.2;
   cte1a = 0:1:long1;
   T1a = Tamb +( Tb1a - Tamb )*(1.8526*(cte1a/long1).^4-
5.5091*(cte1a/long1).^3+6.5367*(cte1a/long1).^2-
3.8351*(cte1a/long1)+0.9944);
   Tb2a = 97.4;
   cte2a = 0:1:long1;
   T2a = Tamb +( Tb2a - Tamb )*(1.8526*(cte2a/long1).^4-
5.5091*(cte2a/long1).^3+6.5367*(cte2a/long1).^2-
3.8351*(cte2a/long1)+0.9944);
   Tb3a = 94.5;
   cte3a = 0:1:long1;
   T3a = Tamb +( Tb3a - Tamb )*(1.8526*(cte3a/long1).^4-
5.5091*(cte3a/long1).^3+6.5367*(cte3a/long1).^2-
3.8351*(cte3a/long1)+0.9944);
   Tb4a = 91.6;
   cte4a = 0:1:long1;
   T4a = Tamb +( Tb4a - Tamb )*(1.8526*(cte4a/long1).^4-
5.5091*(cte4a/long1).^3+6.5367*(cte4a/long1).^2-
3.8351*(cte4a/long1)+0.9944);
   Tb5a = 87.9;
   cte5a = 0:1:long1;
   T5a = Tamb +( Tb5a - Tamb )*(1.8526*(cte5a/long1).^4-
5.5091*(cte5a/long1).^3+6.5367*(cte5a/long1).^2-
3.8351*(cte5a/long1)+0.9944);
   Tb6a = 84.3;
   cte6a = 0:1:long1;
   T6a = Tamb +( Tb6a - Tamb )*(1.8526*(cte6a/long1).^4-
5.5091*(cte6a/long1).^3+6.5367*(cte6a/long1).^2-
3.8351*(cte6a/long1)+0.9944);
```

```
   plot(cte1a,T1a,cte2a,T2a,cte3a,T3a,cte4a,T4a,cte5a,T5a,cte6a,T6a)

   long2=31.9;     % Longitud de la basa (mm)
   Tamb=24;       % Temperatura de ambiente (°C)

   Tb1b = 98.2;
   cte1b = 0:1:long2;
   T1b = Tamb +( Tb1b - Tamb )*(1.8526*(cte1b/long2).^4-
5.5091*(cte1b/long2).^3+6.5367*(cte1b/long2).^2-
3.8351*(cte1b/long2)+0.9944);
   Tb2b = 97.4;
   cte2b = 0:1:long2;
   T2b = Tamb +( Tb2b - Tamb )*(1.8526*(cte2b/long2).^4-
5.5091*(cte2b/long2).^3+6.5367*(cte2b/long2).^2-
3.8351*(cte2b/long2)+0.9944);
   Tb3b = 94.5;
   cte3b = 0:1:long2;
   T3b = Tamb +( Tb3b - Tamb )*(1.8526*(cte3b/long2).^4-
5.5091*(cte3b/long2).^3+6.5367*(cte3b/long2).^2-
3.8351*(cte3b/long2)+0.9944);
   Tb4b = 91.6;
   cte4b = 0:1:long2;
   T4b = Tamb +( Tb4b - Tamb )*(1.8526*(cte4b/long2).^4-
5.5091*(cte4b/long2).^3+6.5367*(cte4b/long2).^2-
3.8351*(cte4b/long2)+0.9944);
   Tb5b = 87.9;
   cte5b = 0:1:long2;
   T5b = Tamb +( Tb5b - Tamb )*(1.8526*(cte5b/long2).^4-
5.5091*(cte5b/long2).^3+6.5367*(cte5b/long2).^2-
3.8351*(cte5b/long2)+0.9944);
   Tb6b = 84.3;
   cte6b = 0:1:long2;
   T6b = Tamb +( Tb6b - Tamb )*(1.8526*(cte6b/long2).^4-
5.5091*(cte6b/long2).^3+6.5367*(cte6b/long2).^2-
3.8351*(cte6b/long2)+0.9944);

   plot(cte1b,T1b,cte2b,T2b,cte3b,T3b,cte4b,T4b,cte5b,T5b,cte6b,T6b)

   long3=27.1;     % Longitud de la basa (mm)
   Tamb=24;       % Temperatura de ambiente (°C)

   Tb1c = 98.2;
   cte1c = 0:1:long3;
   T1c = Tamb +( Tb1c - Tamb )*(1.8526*(cte1c/long3).^4-
5.5091*(cte1c/long3).^3+6.5367*(cte1c/long3).^2-
3.8351*(cte1c/long3)+0.9944);
   Tb2c = 97.4;
   cte2c = 0:1:long3;
   T2c = Tamb +( Tb2c - Tamb )*(1.8526*(cte2c/long3).^4-
5.5091*(cte2c/long3).^3+6.5367*(cte2c/long3).^2-
3.8351*(cte2c/long3)+0.9944);
   Tb3c = 94.5;
   cte3c = 0:1:long3;
   T3c = Tamb +( Tb3c - Tamb )*(1.8526*(cte3c/long3).^4-
5.5091*(cte3c/long3).^3+6.5367*(cte3c/long3).^2-
3.8351*(cte3c/long3)+0.9944);
   Tb4c = 91.6;
   cte4c = 0:1:long3;
   T4c = Tamb +( Tb4c - Tamb )*(1.8526*(cte4c/long3).^4-
5.5091*(cte4c/long3).^3+6.5367*(cte4c/long3).^2-
3.8351*(cte4c/long3)+0.9944);
   Tb5c = 87.9;
   cte5c = 0:1:long3;
```

```
   T5c = Tamb +( Tb5c - Tamb )*(1.8526*(cte5c/long3).^4-
5.5091*(cte5c/long3).^3+6.5367*(cte5c/long3).^2-
3.8351*(cte5c/long3)+0.9944);
   Tb6c = 84.3;
   cte6c = 0:1:long3;
   T6c = Tamb +( Tb6c - Tamb )*(1.8526*(cte6c/long3).^4-
5.5091*(cte6c/long3).^3+6.5367*(cte6c/long3).^2-
3.8351*(cte6c/long3)+0.9944);

   plot(cte1c,T1c,cte2c,T2c,cte3c,T3c,cte4c,T4c,cte5c,T5c,cte6c,T6c);

   long4=17.3;    % Longitud de la basa (mm)
   Tamb=24;       % Temperatura de ambiente (°C)

   Tb1d = 98.2;
   cte1d = 0:1:long4;
   T1d = Tamb +( Tb1d - Tamb )*(1.8526*(cte1d/long4).^4-
5.5091*(cte1d/long4).^3+6.5367*(cte1d/long4).^2-
3.8351*(cte1d/long4)+0.9944);
   Tb2d = 97.4;
   cte2d = 0:1:long4;
   T2d = Tamb +( Tb2d - Tamb )*(1.8526*(cte2d/long4).^4-
5.5091*(cte2d/long4).^3+6.5367*(cte2d/long4).^2-
3.8351*(cte2d/long4)+0.9944);
   Tb3d = 94.5;
   cte3d = 0:1:long4;
   T3d = Tamb +( Tb3d - Tamb )*(1.8526*(cte3d/long4).^4-
5.5091*(cte3d/long4).^3+6.5367*(cte3d/long4).^2-
3.8351*(cte3d/long4)+0.9944);
   Tb4d = 91.6;
   cte4d = 0:1:long4;
   T4d = Tamb +( Tb4d - Tamb )*(1.8526*(cte4d/long4).^4-
5.5091*(cte4d/long4).^3+6.5367*(cte4d/long4).^2-
3.8351*(cte4d/long4)+0.9944);
   Tb5d = 87.9;
   cte5d = 0:1:long4;
   T5d = Tamb +( Tb5d - Tamb )*(1.8526*(cte5d/long4).^4-
5.5091*(cte5d/long4).^3+6.5367*(cte5d/long4).^2-
3.8351*(cte5d/long4)+0.9944);
   Tb6d = 84.3;
   cte6d = 0:1:long4;
   T6d = Tamb +( Tb6d - Tamb )*(1.8526*(cte6d/long4).^4-
5.5091*(cte6d/long4).^3+6.5367*(cte6d/long4).^2-
3.8351*(cte6d/long4)+0.9944);

    plot(cte1d,T1d,cte2d,T2d,cte3d,T3d,cte4d,T4d,cte5d,T5d,cte6d,T6d);

%    ------------------ Finalización del Programa--------------------
```

ANEXO 6: DATOS ESTADÍSTICOS GENERADAS POR LAS CURVAS LONGITUD VS. TEMPERATURA

Tabla A1: Valores de X vs. Θ

X	TETA NUMERICO	TETA ANALITICO	% ERROR	f(x) - TETA	% ERROR
0.0000	1.000	1.000	0.000	0.9944	0.56
0.0278	0.890	0.895	0.592	0.8927	0.35
0.0833	0.713	0.717	0.544	0.7172	0.60
0.1389	0.571	0.574	0.505	0.5737	0.43
0.1944	0.458	0.460	0.457	0.4581	0.03
0.2500	0.367	0.369	0.407	0.3653	0.51
0.3056	0.295	0.296	0.338	0.2918	0.95
0.3611	0.237	0.237	0.295	0.2340	1.06
0.4167	0.190	0.191	0.262	0.1886	0.80
0.4722	0.153	0.153	0.196	0.1530	0.04
0.5278	0.124	0.124	0.162	0.1249	1.09
0.5833	0.100	0.100	0.100	0.1025	2.24
0.6389	0.082	0.082	0.000	0.0843	2.97
0.6944	0.068	0.068	0.074	0.0694	2.76
0.7500	0.057	0.057	0.018	0.0570	0.87
0.8056	0.048	0.048	0.083	0.0471	2.50
0.8611	0.043	0.042	0.236	0.0399	6.03
0.9167	0.039	0.039	0.000	0.0362	6.50
0.9722	0.037	0.037	0.000	0.0370	0.15
1.0000	0.0369	0.037	0.820	0.0395	7.05
			0.254		1.87

Calor de Convección= 3. 972, Calor de Conducción = 3.972,

Balance de Energía = 0.2384 x 10 ^-6

Tabla A2: Valores de Longitud vs. Temperatura para las 4 longitudes de la aleta

cte1	T1	cte2	T2	cte3	T3	ct4	T4
0.0000	97.7845	0.0000	97.7845	0.0000	97.7845	0.0000	97.7845
1.0000	88.5019	1.0000	89.3281	1.0000	87.9241	1.0000	82.8788
2.0000	80.2820	2.0000	81.7514	2.0000	79.2649	2.0000	70.7621
3.0000	73.0301	3.0000	74.9834	3.0000	71.6928	3.0000	61.0159
4.0000	66.6565	4.0000	68.9566	4.0000	65.0999	4.0000	53.2586
5.0000	61.0761	5.0000	63.6066	5.0000	59.3844	5.0000	47.1454
6.0000	56.2087	6.0000	58.8721	6.0000	54.4505	6.0000	42.3684
7.0000	51.9785	7.0000	54.6952	7.0000	50.2087	7.0000	38.6563

8.0000	48.3147	8.0000	51.0210	8.0000	46.5755	8.0000	35.7750
9.0000	45.1512	9.0000	47.7979	9.0000	43.4735	9.0000	33.5270
10.0000	42.4266	10.0000	44.9773	10.0000	40.8315	10.0000	31.7516
11.0000	40.0842	11.0000	42.5139	11.0000	38.5843	11.0000	30.3250
12.0000	38.0720	12.0000	40.3657	12.0000	36.6731	12.0000	29.1603
13.0000	36.3429	13.0000	38.4938	13.0000	35.0447	13.0000	28.2073
14.0000	34.8542	14.0000	36.8624	14.0000	33.6526	14.0000	27.4528
15.0000	33.5684	15.0000	35.4390	15.0000	32.4560	15.0000	26.9202
16.0000	32.4522	16.0000	34.1942	16.0000	31.4204	16.0000	26.6699
17.0000	31.4774	17.0000	33.1018	17.0000	30.5174	17.0000	26.7991
18.0000	30.6205	18.0000	32.1389	18.0000	29.7247		
19.0000	29.8626	19.0000	31.2856	19.0000	29.0260		
20.0000	29.1895	20.0000	30.5254	20.0000	28.4113		
21.0000	28.5920	21.0000	29.8447	21.0000	27.8766		
22.0000	28.0653	22.0000	29.2335	22.0000	27.4242		
23.0000	27.6094	23.0000	28.6845	23.0000	27.0622		
24.0000	27.2293	24.0000	28.1940	24.0000	26.8051		
25.0000	26.9344	25.0000	27.7612	25.0000	26.6734		
26.0000	26.7389	26.0000	27.3886	26.0000	26.6937		
27.0000	26.6620	27.0000	27.0820	27.0000	26.8988		
28.0000	26.7272	28.0000	26.8502				
		29.0000	26.7053				
		30.0000	26.6624				
		31.0000	26.7401				

Tabla A3: Valores de Temperatura para la longitud de 28.9 °C

cte1a	*T1a*	*T2a*	*T3a*	*T4a*	*T5a*	*T6a*
0.0000	97.7845	96.989	94.1052	91.2214	87.5422	83.9623
1.0000	88.5019	87.8065	85.2855	82.7646	79.5482	76.4187
2.0000	80.2820	79.6752	77.4755	75.2758	72.4693	69.7386
3.0000	73.0301	72.5015	70.5852	68.6689	66.224	63.8452
4.0000	66.6565	66.1966	64.5294	62.8623	60.7352	58.6656
5.0000	61.0761	60.6764	59.2273	57.7783	55.9295	54.1306
6.0000	56.2087	55.8614	54.6026	53.3437	51.7376	50.1750
7.0000	51.9785	51.6768	50.5833	49.4898	48.0947	46.7372
8.0000	48.3147	48.0526	47.1023	46.1520	44.9395	43.7598
9.0000	45.1512	44.9232	44.0965	43.2699	42.2152	41.1889
10.0000	42.4266	42.2280	41.5078	40.7876	39.8688	38.9747
11.0000	40.0842	39.9108	39.2822	38.6535	37.8515	37.0711
12.0000	38.0720	37.9203	37.3703	36.8204	36.1186	35.4359
13.0000	36.3429	36.2098	35.7274	35.2450	34.6295	34.0307
14.0000	34.8542	34.7372	34.3130	33.8888	33.3475	32.8209
15.0000	33.5684	33.4652	33.0912	32.7173	32.2401	31.7759
16.0000	32.4522	32.3611	32.0307	31.7004	31.2789	30.8688

17.0000	*31.4774*	*31.3968*	*31.1046*	*30.8123*	*30.4395*	*30.0767*
18.0000	*30.6205*	*30.5491*	*30.2904*	*30.0316*	*29.7015*	*29.3803*
19.0000	*29.8626*	*29.7994*	*29.5703*	*29.3411*	*29.0488*	*28.7643*
20.0000	*29.1895*	*29.1336*	*28.9308*	*28.7279*	*28.4692*	*28.2174*
21.0000	*28.5920*	*28.5425*	*28.3630*	*28.1835*	*27.9546*	*27.7318*
22.0000	*28.0653*	*28.0214*	*27.8625*	*27.7037*	*27.5009*	*27.3037*
23.0000	*27.6094*	*27.5705*	*27.4294*	*27.2884*	*27.1084*	*26.9333*
24.0000	*27.2293*	*27.1945*	*27.0682*	*26.9420*	*26.7810*	*26.6243*
25.0000	*26.9344*	*26.9027*	*26.7880*	*26.6733*	*26.5270*	*26.3847*
26.0000	*26.7389*	*26.7094*	*26.6023*	*26.4953*	*26.3587*	*26.2258*
27.0000	*26.6620*	*26.6333*	*26.5292*	*26.4252*	*26.2924*	*26.1633*
28.0000	*26.7272*	*26.6978*	*26.5912*	*26.4846*	*26.3486*	*26.2163*

Tabla A4: Valores de Temperatura para la longitud de 31.9 °C

cte1b	*T1b*	*T2b*	*T3b*	*T4b*	*T5b*	*T6b*
0.0	*97.7845*	*96.9890*	*94.1052*	*91.2214*	*87.5422*	*83.9623*
1.0	*89.3281*	*88.6238*	*86.0705*	*83.5173*	*80.2597*	*77.0901*
2.0	*81.7514*	*81.1287*	*78.8716*	*76.6144*	*73.7347*	*70.9327*
3.0	*74.9834*	*74.4337*	*72.8716*	*70.4484*	*67.9062*	*65.4326*
4.0	*68.9566*	*68.4719*	*66.7148*	*64.9577*	*62.7160*	*60.5348*
5.0	*63.6066*	*63.1795*	*61.6316*	*60.0836*	*58.1086*	*56.1870*
6.0	*58.8721*	*58.4961*	*57.1332*	*55.7703*	*54.0314*	*52.3395*
7.0	*54.6952*	*54.3643*	*53.1646*	*51.9649*	*50.4343*	*48.9450*
8.0	*51.0210*	*50.7297*	*49.6736*	*48.6175*	*47.2701*	*45.9591*
9.0	*47.7979*	*47.5413*	*46.6112*	*45.6811*	*44.4944*	*43.3398*
10.0	*44.9773*	*44.7511*	*43.9312*	*43.1113*	*42.0653*	*41.0475*
11.0	*42.5139*	*42.3143*	*41.5907*	*40.8671*	*39.9439*	*39.0457*
12.0	*40.3657*	*40.1893*	*39.5497*	*38.9100*	*38.0939*	*37.2999*
13.0	*38.4938*	*38.3376*	*37.7711*	*37.2046*	*36.4819*	*35.7787*
14.0	*36.8624*	*36.7237*	*36.2210*	*35.7183*	*35.0769*	*34.4529*
15.0	*35.4390*	*35.3157*	*34.8686*	*34.4215*	*33.8511*	*33.2961*
16.0	*34.1942*	*34.0843*	*33.6858*	*33.2874*	*32.7791*	*32.2845*
17.0	*33.1018*	*33.0037*	*32.6479*	*32.2922*	*31.8383*	*31.3967*
18.0	*32.1389*	*32.0511*	*31.7330*	*31.4149*	*31.0091*	*30.6142*
19.0	*31.2856*	*31.2070*	*30.9223*	*30.6376*	*30.2743*	*29.9208*
20.0	*30.5254*	*30.4550*	*30.2000*	*29.9449*	*29.6195*	*29.3030*
21.0	*29.8447*	*29.7817*	*29.5533*	*29.3248*	*29.0334*	*28.7498*
22.0	*29.2335*	*29.1770*	*28.9725*	*28.7680*	*28.5070*	*28.2531*
23.0	*28.6845*	*28.6340*	*28.4509*	*28.2678*	*28.0342*	*27.8069*
24.0	*28.1940*	*28.1487*	*27.9848*	*27.8209*	*27.6118*	*27.4083*
25.0	*27.7612*	*27.7206*	*27.5736*	*27.4266*	*27.2391*	*27.0566*
26.0	*27.3886*	*27.3521*	*27.2197*	*27.0872*	*26.9182*	*26.7538*
27.0	*27.0820*	*27.0488*	*26.9283*	*26.8079*	*26.6542*	*26.5047*
28.0	*26.8502*	*26.8195*	*26.7081*	*26.5967*	*26.4546*	*26.3163*

29.0	*26.7053*	*26.6761*	*26.5704*	*26.4646*	*26.3297*	*26.1985*
30.0	*26.6624*	*26.6337*	*26.5297*	*26.4256*	*26.2928*	*26.1637*
31.0	*26.7401*	*26.7106*	*26.6035*	*26.4964*	*26.3598*	*26.2268*

Tabla A5: Valores de Temperatura para la longitud de 27.1 °C

cte1c	*T1c*	*T2c*	*T3c*	*T4c*	*T5c*	*T6c*
0.0	*97.7845*	*96.9890*	*94.1052*	*91.2214*	*87.5422*	*83.9623*
1.0	*87.9241*	*87.2349*	*84.7365*	*82.2381*	*79.0505*	*75.9491*
2.0	*79.2649*	*78.6690*	*76.5091*	*74.3491*	*71.5933*	*68.9120*
3.0	*71.6928*	*71.1786*	*69.3146*	*67.4506*	*65.0724*	*62.7584*
4.0	*65.0999*	*64.6568*	*63.0505*	*61.4441*	*59.3947*	*57.4006*
5.0	*59.3844*	*59.0029*	*57.6199*	*56.2370*	*54.4725*	*52.7558*
6.0	*54.4505*	*54.1222*	*52.9321*	*51.7420*	*50.2236*	*48.7462*
7.0	*50.2087*	*49.9261*	*48.9018*	*47.8775*	*46.5706*	*45.2990*
8.0	*46.5755*	*46.3321*	*45.4497*	*44.5674*	*43.4417*	*42.3464*
9.0	*43.4735*	*43.2635*	*42.5024*	*41.7413*	*40.7703*	*39.8255*
10.0	*40.8315*	*40.6500*	*39.9922*	*39.3343*	*38.4950*	*37.6784*
11.0	*38.5843*	*38.4271*	*37.8571*	*37.2871*	*36.5598*	*35.8522*
12.0	*36.6731*	*36.5364*	*36.0411*	*35.5458*	*34.9139*	*34.2990*
13.0	*35.0447*	*34.9257*	*34.4940*	*34.0623*	*33.5116*	*32.9757*
14.0	*33.6526*	*33.5485*	*33.1713*	*32.7940*	*32.3127*	*31.8444*
15.0	*32.4560*	*32.3649*	*32.0344*	*31.7039*	*31.2822*	*30.8719*
16.0	*31.4204*	*31.3404*	*31.0504*	*30.7604*	*30.3904*	*30.0304*
17.0	*30.5174*	*30.4471*	*30.1924*	*29.9377*	*29.6127*	*29.2965*
18.0	*29.7247*	*29.6629*	*29.4392*	*29.2155*	*28.9300*	*28.6522*
19.0	*29.0260*	*28.9718*	*28.7753*	*28.5789*	*28.3283*	*28.0844*
20.0	*28.4113*	*28.3637*	*28.1913*	*28.0189*	*27.7989*	*27.5849*
21.0	*27.8766*	*27.8348*	*27.6833*	*27.5318*	*27.3385*	*27.1504*
22.0	*27.4242*	*27.3873*	*27.2534*	*27.1196*	*26.9489*	*26.7827*
23.0	*27.0622*	*27.0292*	*26.9095*	*26.7899*	*26.6372*	*26.4886*
24.0	*26.8051*	*26.7749*	*26.6653*	*26.5556*	*26.4158*	*26.2797*
25.0	*26.6734*	*26.6446*	*26.5401*	*26.4356*	*26.3023*	*26.1726*
26.0	*26.6937*	*26.6647*	*26.5594*	*26.4541*	*26.3198*	*26.1891*
27.0	*26.8980*	*26.8675*	*26.7540*	*26.6409*	*26.4964*	*26.3558*

Tabla A6: Valores de Temperatura para la longitud de 17.3 °C

cte1d	*T1d*	*T2d*	*T3d*	*T4d*	*T5d*	*T6d*
0.0	*97.7845*	*96.989*	*94.1052*	*91.2214*	*87.5422*	*83.9623*
1.0	*82.8788*	*82.244*	*79.9428*	*77.6416*	*74.7056*	*71.849*
2.0	*70.7621*	*70.258*	*68.4303*	*66.6027*	*64.2709*	*62.0021*
3.0	*61.0159*	*60.6169*	*59.1701*	*57.7234*	*55.8776*	*54.0817*
4.0	*53.2586*	*52.9432*	*51.7996*	*50.6561*	*49.1971*	*47.7776*
5.0	*47.1454*	*46.8959*	*45.9913*	*45.0867*	*43.9325*	*42.8096*
6.0	*42.3684*	*42.1703*	*41.4524*	*40.7345*	*39.8186*	*38.9274*

7.0	*38.6563*	*38.4983*	*37.9255*	*37.3527*	*36.6218*	*35.9107*
8.0	*35.775*	*35.6481*	*35.1879*	*34.7276*	*34.1405*	*33.5692*
9.0	*33.527*	*33.4243*	*33.0519*	*32.6796*	*32.2045*	*31.7423*
10.0	*31.7516*	*31.668*	*31.365*	*31.0621*	*30.6755*	*30.2995*
11.0	*30.325*	*30.2568*	*30.0096*	*29.7624*	*29.447*	*29.1401*
12.0	*29.1603*	*29.1047*	*28.903*	*28.7013*	*28.444*	*28.1936*
13.0	*28.2073*	*28.162*	*27.9975*	*27.8331*	*27.6233*	*27.419*
14.0	*27.4528*	*27.4156*	*27.2806*	*27.1457*	*26.9735*	*26.806*
15.0	*26.9202*	*26.8887*	*26.7746*	*26.6604*	*26.5148*	*26.3731*
16.0	*26.6699*	*26.6411*	*26.5368*	*26.4324*	*26.2993*	*26.1697*
17.0	*26.7991*	*26.7689*	*26.659*	*26.5501*	*26.4105*	*26.2747*