

Diseño, construcción e instrumentación y control de un sistema de enfriamiento automotriz para aplicaciones didácticas

Design, fabrication and instrumentation and control of an automotive cooling system for educational applications

Manuel A. Almazán de la Cruz ^a, José L. Rodríguez Muñoz ^b, José S. Pacheco Cedeño ^c, Ventura Rodríguez Lugo ^d, Jorge Zuno Silva ^e, Carlos E. Borja Soto ^f

Abstract:

This study presents the design, construction, and instrumentation of a cooling system with educational applications, aimed at teaching heat transfer and thermal control in internal combustion engines. The structure was designed using SolidWorks assembled with A36 steel, which was used to integrate all components of the system: radiator, a centrifugal pump, temperature sensors, and an instrumentation and control circuit based on Arduino Uno, which processes data from K-type thermocouples, allowing for precise temperature measurements in the thermal cooling system. To measure the temperature on real time, an LCD screen was integrated, optimizing the use of pins on the microcontroller and improving monitoring efficiency. To evaluate the working operating of the system, experimental tests were conducted under three volumetric coolant flow rate conditions (low, medium, and high). In each test, the coolant enters to the system at 80°C, and outlet temperatures were recorded under two scenarios: with and without fan load. It was observed that at low volumetric flow rate (7.5 L/min) a higher cooling process was achieved, with average outlet temperatures of 61.46°C without a fan and 58.36°C with a fan, indicating that a longer residence time inside the radiator benefits the thermal dissipation. At medium flow (15 L/min), the outlet temperature increased to 65.9°C without a fan and 61.2°C with a fan, while under high flow conditions (22.5 L/min), the outlet temperature reached 68.4°C without a fan and 63.86°C with a fan, evidencing that a higher coolant flow rate does not increase the thermal dissipation, but rather reduces the heat exchange time within the system.

Keywords:

Design, SolidWorks, Fabrication, Instrumentation and control, volumetric mass flow rate

Resumen:

El estudio presenta el diseño, construcción e instrumentación de un sistema de enfriamiento con aplicaciones didácticas, orientado a la enseñanza de la transferencia de calor y el control térmico en motores de combustión interna. Se diseñó una estructura mediante SolidWorks, ensamblada con acero A36, donde se integraron componentes como un radiador, una bomba centrífuga, sensores de temperatura y un sistema que incorpora además un circuito de instrumentación y control, basado en un Arduino Uno, que procesa datos provenientes de termopares tipo K, lo que permite mediciones precisas de temperatura en el circuito térmico. Para la visualización en tiempo real, se integró una pantalla LCD, lo que optimiza el uso de pines en el microcontrolador y mejora la eficiencia del monitoreo. Para evaluar el rendimiento térmico del sistema, se realizaron pruebas experimentales bajo tres condiciones de flujo de refrigerante (bajo, medio y alto). En cada prueba, el refrigerante ingresó al sistema a 80 °C, registrándose las temperaturas de salida bajo dos escenarios: con y sin carga del ventilador. Se observó que a bajo flujo (7.5 L/min) se alcanzó una mayor temperatura de

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0002-1293-5199>, Email: al464923@uaeh.edu.mx

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: jose_rodriguez@uaeh.edu.mx

^c Tecnológico Nacional de México | Instituto Tecnológico de Morelia | Morelia-Michoacán | México, <https://orcid.org/0000-0002-3400-518X>, Email: jose.pc@morelia.tecnm.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales | Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería | México, <https://orcid.org/0000-0001-8767-032X>, Email: venturar165@gmail.com

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: jorge_zuno@uaeh.edu.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

enfriamiento, la cual fue de 61.46°C sin ventilador y de 58.36°C con ventilador, lo que indica que un tiempo de residencia mayor dentro del radiador favorece la disipación térmica. A flujo medio (15 L/min), la temperatura de salida aumentó a 65.9°C sin ventilador y 61.2°C con ventilador, mientras que en condiciones de alto flujo (22.5 L/min), la temperatura de salida alcanzó 68.4°C sin ventilador y 63.86°C con ventilador, evidenciando que un mayor caudal de refrigerante no garantiza una mayor disipación térmica, sino que reduce el tiempo de intercambio de calor dentro del sistema.

Palabras Clave:

Diseño, SolidWorks, Construcción, Instrumentación y control, Caudal volumétrico

Introducción

El sistema de enfriamiento en un dispositivo mecánico tiene como principal objetivo evitar el sobrecalentamiento de este, garantizando una temperatura de operación óptima. Los sistemas de enfriamiento en motores de combustión interna son componentes críticos que desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento eficiente y seguro de los vehículos y maquinaria que utilizan este tipo de motores. A medida que los motores operan, generan una cantidad significativa de calor debido a la combustión del combustible y la fricción interna entre las partes móviles. Si este calor no se gestiona adecuadamente, puede llevar a un sobrecalentamiento, provocando daños en el motor, reducción de su rendimiento y, en casos extremos, fallos catastróficos. El diseño y la eficiencia de estos sistemas es indispensable para mantener la temperatura de operación adecuada del motor, así como de optimizar el consumo de combustible y reducir las emisiones contaminantes. Además, un sistema de enfriamiento bien mantenido puede prolongar la vida útil del motor y mejorar su rendimiento general. Específicamente en este tipo de motores térmicos se tienen 2 tipos de sistemas de enfriamiento, el sistema de enfriamiento por aire y el sistema de enfriamiento por agua. En el primero, el calor generado por la combustión es transferido por radiación desde las aletas hacia una fuente de aire fresco proporcionado por un ventilador. En el segundo, el medio para transferir el calor es el agua y el aire. Su principal diferencia con respecto al sistema de enfriamiento por aire, es que el calor es transferido por contacto directo, cambio de temperatura en el agua y emisión de ondas calóricas de manera directa al aire (Girardi, 1985). En los motores de combustión interna, pese a que en las fases de admisión y escape de los gases se disipa parte del calor generado en el motor, dicha pérdida no es suficiente para que el motor se enfríe y continúe operando en condiciones óptimas. Es por ello que se hace circular un líquido refrigerante por medio de un sistema cerrado, el cual consta de mangueras, un radiador y un ventilador eléctrico, el cual crea convección forzada sobre los tubos y aletas del radiador para así enfriar el líquido refrigerante, donde ya transferido el calor del motor al líquido, este realiza el mismo recorrido hasta

que el motor alcance la temperatura nominal de operación y así evitar daños severos, como la deformación de componentes o incluso la falla total del motor (Castro, 2015). Romero Piedrahita (2007) llevó a cabo un análisis del sistema de enfriamiento en el cual se detallan los elementos y los cálculos involucrados para el determinar la cantidad de calor liberado en el sistema. Además, realizó cálculos para determinar el caudal de circulación de líquido, el caudal del aire y el cálculo del ventilador. Jaime Girardi (1985) explicó las generalidades de los sistemas de enfriamiento tanto por aire como por agua, haciendo énfasis en características como la termocirculación y circulación de fluido con bombas de 1 o más atmosferas, además del mantenimiento pertinente para cada uno de estos sistemas. Carlos Armijos (2014) realizó la restauración de un motor de Corsa, con el objetivo de dar su uso en aplicaciones didácticas en los talleres de ingeniería automotriz, en donde además de enfocarse en la parte de inyección de combustible, también se encargó de explicar la parte de la instrumentación del sistema de enfriamiento, específicamente en el control del electroventilador y el sensor de temperatura del refrigerante, elaborando para este último, un formato de práctica para las lecturas que arroja el sensor de temperatura. Piedrahita (2009) desarrolló una aportación sobre el comportamiento y gestión térmica de los motores de combustión interna alternativos, en el cual da seguimiento a la transferencia de calor de estos, tanto en los gases presentes en el cilindro y las paredes de la cámara de combustión, en los sistemas de admisión y en el lado que circula el refrigerante. Siendo en este último en el cual describe las formas de organización del flujo de refrigerante por la camisa de enfriamiento del motor, determinando que la mayoría de los modelos para camisas de enfriamiento son meramente empíricos debido a las dificultades teóricas por flujos turbulentos dentro de la cámara, así como por correcciones prácticas. Herrera Atehortú (2021) realizó el diseño de un sistema de enfriamiento al cual efectuó un estudio de las estrategias de refrigeración utilizadas en motores de encendido provocado que usan gas natural, empleando la revisión sistemática de documentación, así como los balances de masa y energía y el dimensionamiento del sistema. Cabrera (2022) realizó una práctica que consistió en el

balance térmico de motores para determinar la predisposición hacia el mejor aprovechamiento del calor y las vías para aumentar el rendimiento térmico del motor, así como los datos necesarios para el cálculo del sistema de enfriamiento y los diferentes componentes del balance térmico en función de los parámetros que caracterizan las condiciones de trabajo (carga, frecuencia de rotación, composición de la mezcla, entre otros). *Taipe (1992)* desarrolló un programa de computadora para el diseño de intercambiadores de calor tipo Coraza-Tubo, además de un análisis del coeficiente convectivo y las caídas de presión en el lado de la coraza para motores Diésel, determinando que la comprensión de los sistemas de enfriamiento automotriz es esencial para cualquier persona interesada en la mecánica de vehículos. *Piedrahita (2007)* desarrolló el modelado y simulación del calentamiento de un motor durante su ciclo de operación, determinando que las pérdidas de calor durante el ciclo de trabajo del motor generan una distribución de energía en la cámara de combustión. Además, detalló que el sistema de refrigeración demanda de suficiente capacidad para liberar la cantidad de calor producida. *Torregosa (2008)* desarrollaron una metodología para rediseñar el sistema de refrigeración en un motor Diésel de alta potencia para aplicaciones residenciales, encontrando valores satisfactorios para la temperatura máxima de salida del motor, mostrando una desviación menor al 3%. Basado en lo anterior, es necesario fomentar el conocimiento en el campo de los sistemas de enfriamiento automotriz, ya que esto ayudará a prevenir problemas mecánicos ocasionados por el sobrecalentamiento del motor, mantener las condiciones óptimas de operación y mejorar su rendimiento energético. Es por ello que el trabajo consiste en el diseño y construcción de un sistema de enfriamiento automotriz con propósitos educativos, centrándose en la instrumentación y control de las condiciones de entrada y salida de dicho sistema. Este enfoque promueve la coordinación de diversas áreas del conocimiento, como la termodinámica, la mecánica de fluidos y la transferencia de calor, integrando a su vez aspectos de automatización y control. Así mismo, se busca resaltar la importancia del uso de estos conceptos en un contexto didáctico, facilitando así la comprensión de los principios fundamentales que rigen el funcionamiento eficiente de un sistema de enfriamiento en motores de combustión interna.

Metodología

El sistema de refrigeración automotriz tiene la función de mantener la temperatura del motor dentro de un rango óptimo de temperaturas y evitar el sobrecalentamiento. Este sistema se encarga de disipar el calor generado por el motor durante su funcionamiento, asegurando así su

eficiencia y prolongando su vida útil. En la Figura 1 se muestra el diseño y las dimensiones de la base en la cual van a ir montados los componentes del sistema de enfriamiento (radiador, el ventilador, bomba y los depósitos donde se almacenará el agua caliente y agua fría). El diseño es realizado con la ayuda del software SolidWorks, cuyas medidas son las siguientes: 140.5 cm de largo (L), 90 cm de ancho (A) y 150 cm de alto (H).

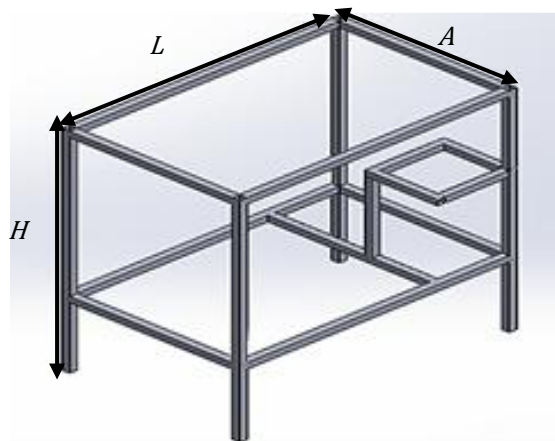


Figura 1. Diseño de la estructura del sistema de enfriamiento en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se definió el diseño de la estructura destinada para soportar el sistema de enfriamiento, se procedió con el ensamble del mismo. Para esto, se utilizaron tubos de perfil cuadrado cuyas dimensiones son de 1.5 pulgadas por lado y un grosor de pared de 1 mm, cuyo material es un acero ASTM A36 con un contenido de carbono de 0.26%, lo que le brinda buena soldabilidad, además, presenta un límite de fluencia de 250 MPa, resistencia a la tracción de 400 a 550 MPa, una dureza Brinell de 119 a 159 HB y un módulo de elasticidad de 200 GPa. Para la unión de estos perfiles se utilizó un electrodo 6013 de 1/8 de pulgada, el cual es ideal por su buen funcionamiento en todas las posiciones, fácil encendido y reencendido de arco además de que la escoria normalmente se desprende sola teniendo poca salpicadura, sus depósitos son de muy buena apariencia. El recubrimiento de este electrodo es el de rutilo, cuya base es el óxido de titanio, permitiendo una buena formación de escoria, lo que protege la soldadura contra la contaminación, mejora la apariencia final de la misma, mejora la apariencia del cordón al proporcionar un arco suave, presenta baja salpicadura y permite desprender fácilmente la escoria.



Figura 2. Unión por soldadura de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

En el sistema se acoplo el radiador de un Chevrolet Spark, cuya temperatura de operación oscila entre los 98°C y 100°C cuyas dimensiones son de 60 cm de ancho y 40 cm de alto y el material de las aletas es aluminio el cual cuenta con una densidad de 2700 kg/m³, un calor específico de 1300 J/(kg·K) y una conductividad térmica de 170 W/(m·K), lo que le confiere una buena capacidad de calentamiento y enfriamiento, lo que permite una respuesta rápida a cambios de temperatura en el sistema. Para la instalación del radiador junto con el ventilador (Figura 3) se realizaron barrenos con taladro y una broca de 3/8" y para asegurar que el radiador se mantuviera en su posición durante el flujo del agua, incorporando unos retenes de goma. Estos retenes actúan como fijadores que evitan que el radiador se desplace o se mueva, incluso cuando el agua circule. De este modo, se garantiza la estabilidad y el correcto funcionamiento del sistema, minimizando el riesgo de fugas o daños.



Figura 3. Radiador y ventilador acoplados en la estructura. Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de los depósitos del líquido se usaron placas de acero inoxidable AISI 304, el cual es un acero inoxidable austenítico, aleado con Cr (18%-20%), Ni (8%-10.5%) y bajo contenido de C (0.07%) que presenta una buena resistencia a la corrosión, tiene propiedades para embutido profundo y no es magnético. Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos, los cuales ayudan a evitar el agrietamiento o fractura del material. Las placas fueron

soldadas con electrodo E-316 (Figura 4), en el cual la escoria es de fácil remoción, cuenta con una resistencia a la tensión de 95700 psi, un límite elástico de 71000 psi y con una composición química C (0.04%-0.08%), Cr (17.00%-20.00%), Ni (11.00%-14.00%), Mn (0.50%-2.50%), Si (1.00%), P (0.04%), S (0.03%), Mo (2.00 % - 3.00%) y Cu (0.75%). De la misma manera se hicieron perforaciones con el mismo electrodo para acoplar una brida y un conector roscado para la resistencia en el depósito de agua caliente.



Figura 4. Soldadura de los depósitos para el líquido refrigerante. Fuente: Elaboración propia.

En el depósito de mayor tamaño (agua caliente), se soldó una rosca diseñada para la instalación de una resistencia de cobre (Figura 5), la cual cuenta con un revestimiento que la protege de la corrosión y el desgaste. Esta resistencia opera a un voltaje de 120V y es capaz de entregar una potencia de 2000W, la cual permite calentar el líquido refrigerante de manera rápida.



Figura 5. Instalación de la rosca para la resistencia. Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se desarrolló un sistema de medición de temperatura utilizando un Arduino Uno, el cual es un microcontrolador que se emplea para procesar y controlar datos a través de una computadora, así como un par de termopares MAX6675, con el objetivo de monitorear la temperatura a la entrada y salida en el sistema de enfriamiento automatizado. Por otra parte, para la visualización de las lecturas de temperatura, se integró una pantalla LCD con módulo I2C, el cual es un adaptador

que permite una comunicación sencilla y efectiva con el microcontrolador Arduino Uno. Este módulo optimiza el uso de pines en el microcontrolador, permitiendo que se realicen otras funciones simultáneamente. La pantalla LCD muestra de manera clara y legible las temperaturas medidas en tiempo real, lo que proporciona al usuario información inmediata sobre el estado del sistema de enfriamiento. Para la prueba de funcionamiento del sistema de control (Figura 6), se hizo una comparación de la temperatura ambiente en un cuarto cerrado y la temperatura del agua en el mismo ambiente introduciendo uno de los termopares en un vaso, obteniendo así una lectura de 22.2 °C para la temperatura del agua y 25 °C para la temperatura ambiente.

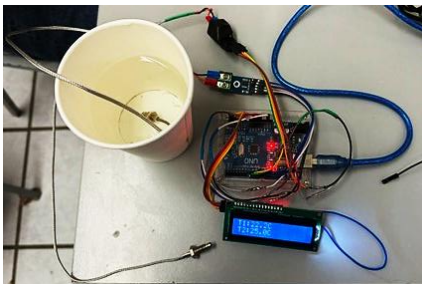


Figura 6. Sistema de control con Arduino Uno. Fuente: Elaboración propia.

Con el sistema de control terminado, se llevaron a cabo las conexiones de los tubos que permitirán el adecuado flujo del agua en el sistema de enfriamiento automatizado. Durante esta etapa, se instaló una bomba centrífuga con un voltaje de operación de 127V a 60 Hz y una potencia de 0.5 hp, es ideal para uso en entornos donde se requiere un caudal de hasta 31 l/min y una elevación máxima de 25 m. También se instalaron 2 medidores de flujo tipo turbina, que son dispositivos para monitorear la cantidad de agua que circula a través del sistema (Figura 7). Estos medidores operan mediante un rotor que gira cuando el agua pasa a través de ellos, permitiendo así la medición precisa con $\pm 1\%$ de exactitud del flujo en tiempo real con el propósito de diagnosticar y dar mantenimiento del sistema a temperaturas de funcionamiento que van desde los 6°C hasta 80°C, una presión máxima de trabajo de 20 BAR y un rango de caudal de 10 L/min a 90 L/min.

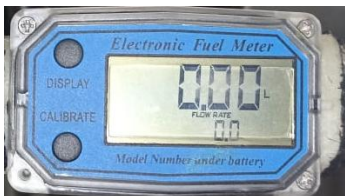


Figura 7. Medidor de flujo tipo turbina. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con el sistema de enfriamiento completo se hace circular el fluido refrigerante, para el cual se instaló una válvula a la salida de la bomba para variar el caudal de la misma de 7.5 L/min a 22.5 L/min (ver Figura 8). Esta válvula permite el retroceso del flujo, lo que facilita el control del caudal del fluido que circula a través del sistema. Una vez que el fluido es impulsado por la bomba, se dirige hacia un medidor de flujo, donde se registra y monitorea la cantidad de fluido que está circulando en el sistema. Posteriormente, el fluido refrigerante avanza hacia el radiador, que cumple la función de intercambiador de calor, donde el refrigerante caliente entra en contacto con el aire que proporciona el ventilador produciendo un intercambio térmico que permite enfriar el agua, bajando así su temperatura. Una vez enfriado, el fluido refrigerante es conducido hacia otro medidor de flujo, que asegura que la cantidad de refrigerante que regresa al sistema es la adecuada. Así el fluido a menor temperatura se dirige hacia el depósito de agua donde se almacena temporalmente. Al completarse el ciclo, el fluido refrigerante regresa al depósito donde la temperatura es más alta, reiniciando así el ciclo.



Figura 8. Sistema de enfriamiento terminado. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Para la obtención de los resultados experimentales, se establecieron tres niveles de flujo: bajo, medio y alto, las cuales fueron controladas por medio de una válvula tipo globo ubicada a la salida de la bomba de refrigerante, donde la temperatura a la entrada del sistema se ajustó a un valor de 80 °C. Los resultados obtenidos a las condiciones de bajo flujo se presentan en la Tabla 1, donde se detallan las mediciones de temperatura.

Tabla 1. Temperaturas obtenidas bajo condiciones de bajo flujo. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de prueba	Con carga de ventilador		Sin carga de ventilador	
	T_0	T_f	T_0	T_f
1	80 °C	58.3 °C	80 °C	61.2 °C
2	80 °C	58.2 °C	80 °C	61.7 °C
3	80 °C	58.6 °C	80 °C	61.5 °C

En función de las condiciones de medio flujo (Tabla 2), las temperaturas registradas fueron relativamente más elevadas en comparación con las condiciones de bajo flujo tanto con carga de ventilador como sin carga del ventilador, lo cual indica que con el incremento del flujo de refrigerante se reduce el tiempo en el que el refrigerante está en contacto con la superficie en la cual circula y con el radiador, lo que resulta en una menor eficiencia en la transferencia de calor, ya que el refrigerante no tiene suficiente tiempo para absorber todo el calor disponible, lo que puede resultar en temperaturas más altas en el sistema.

Tabla 2. Temperaturas obtenidas bajo condiciones de medio flujo

Tipo de prueba	Con carga de ventilador		Sin carga de ventilador	
	T_0	T_f	T_0	T_f
1	80 °C	60.7 °C	80 °C	65.5 °C
2	80 °C	61.7 °C	80 °C	66 °C
3	80 °C	61.2 °C	80 °C	66.2 °C

Así mismo, comparando los resultados de las condiciones de alto flujo (Tabla 3) en comparación con los resultados obtenidos con las pruebas a medio y bajo flujo de refrigerante, se puede determinar que un mayor flujo de refrigerante no garantiza necesariamente un mejor enfriamiento del motor, ya que la efectividad del sistema depende de múltiples factores, tales como las condiciones de temperatura, humedad y la temperatura de entrada al radiador. Por tal motivo, es importante realizar un diagnóstico adecuado para identificar la causa del aumento de temperatura y con ello, poder determinar las condiciones óptimas de operación en un motor de combustión interna.

Tabla 3. Temperaturas obtenidas bajo condiciones de alto flujo.

Tipo de prueba	Con carga de ventilador		Sin carga de ventilador	
	T_0	T_f	T_0	T_f
1	80 °C	64.4 °C	80 °C	68.7 °C
2	80 °C	63.5 °C	80 °C	63.7 °C
3	80 °C	68 °C	80 °C	68.5 °C

A partir de los resultados obtenidos de las tres pruebas realizadas, se procedió a calcular los promedios de las temperaturas en función de cada una de las diferentes condiciones de flujo evaluadas (Tabla 4). Este análisis permite obtener una visión más clara de cómo varían las temperaturas bajo las distintas circunstancias de flujo, lo que permite comprender mejor el comportamiento del sistema estudiado. Al comparar los promedios, se pueden

identificar patrones y tendencias que podrían ser relevantes para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas.

Tabla 4. Promedio de temperaturas en el sistema de enfriamiento. Fuente: Elaboración propia.

Temperaturas sin carga del ventilador		Temperaturas con carga de ventilador	
Flujo de operación	Temperatura promedio de salida	Flujo de operación	Temperatura promedio de salida
7.5 L/min	61.46 °C	7.5 L/min	58.36 °C
15 L/min	65.9 °C	15 L/min	61.2 °C
22.5 L/min	68.4 °C	22.5 L/min	63.86 °C

Finalmente, en la Tabla 5 se presenta un resumen detallado de las propiedades de los insumos utilizados para la medición de los parámetros del sistema de enfriamiento.

Tabla 5. Características de los elementos del sistema.

Componente	Resistencia	Bomba	Medidor de flujo
Material/Parámetros de operación	Material: Cobre	Caudal máximo: 30 L/min	Tipo de dispositivo: Medidor de flujo tipo turbina
	Diseño: Rosca de 1" de diámetro	Elevación máxima: 25 m	Método de operación: Rotor que gira con el flujo de agua
	Revestimiento: Protección contra corrosión y desgaste	Frecuencia: 60 Hz	Exactitud de medición: $\pm 1\%$
	Voltaje de operación: 120 V	Voltaje de operación: 120 V	Rango de caudal: 10 L/min a 90 L/min
	Potencia: 2000 W	Potencia: 0.5 hp	Presión máxima de trabajo: 20 BAR
	Función: Calentamiento rápido del líquido refrigerante		Rango de temperatura de operación: 6°C a 80°C -

Conclusión

En el presente trabajo se desarrolló un sistema de enfriamiento automotriz con fines didácticos con el objetivo de evaluar las condiciones de operación bajo tres condiciones de flujo de refrigerante (alto, medio y bajo). El diseño estructural del sistema fue realizado usando el software SolidWorks, considerando que las dimensiones de la base fueron de 140.5 cm de largo, 90 cm de ancho y 150 cm de alto, cuyo material de fabricación es acero estructural A36, el cual fue ensamblado mediante soldadura con electrodos 6013 y E-316, garantizando resistencia mecánica y durabilidad. Sobre esta estructura se montaron los componentes que conforman el sistema de enfriamiento como lo es el radiador de aluminio de un Chevrolet Spark, una bomba centrífuga de 0.5 hp, depósitos de acero inoxidable AISI 304, medidores de flujo tipo turbina, una resistencia de cobre de 2000W, así como un sistema de instrumentación y control basado en Arduino Uno, el cual consiste de sensores de temperatura tipo K con módulo MAX6675 y una pantalla LCD con módulo I2C para la visualización los datos térmicos en tiempo real. Así mismo, este estudio permitió desarrollar un sistema de enfriamiento funcional y didáctico, integrando conceptos de termodinámica, mecánica de fluidos y automatización y control. Los resultados mostraron que la temperatura de enfriamiento está influenciada por la velocidad del flujo refrigerante y la presencia del ventilador. A bajo flujo, se obtuvo la mayor rapidez de transferencia de calor, ya que el refrigerante permanece más tiempo en contacto con el radiador. A alto flujo, la temperatura del refrigerante disminuyó ligeramente debido a la menor retención del calor en el radiador. Por otra parte, la instrumentación y control con Arduino basados en sensores de temperatura tipo K mostraron ser una herramienta eficaz para el monitoreo y control del sistema.

Derivado de los resultados realizados bajo tres niveles de flujo (7.5, 15 y 22.5 L/min) y una temperatura de ingreso de refrigerante al sistema de 80°C, bajo condiciones de carga y sin carga del ventilador se pudo encontrar que a bajo flujo de refrigerante (7.5 L/min) se logró la mayor disipación de calor, con temperaturas promedio de salida del sistema de 61.46°C sin ventilador y 58.36°C con ventilador. A flujo medio (15 L/min), las temperaturas aumentaron a 65.9°C sin ventilador y 61.2°C con ventilador, mientras que a alto flujo (22.5 L/min) se alcanzaron valores de 68.4°C sin ventilador y 63.86°C con ventilador, encontrándose que, a mayor flujo de refrigerante, mayor es la temperatura a la salida del sistema.

Referencias

- Castro Arreola, O. Y. & Instituto Politécnico Nacional. (2015). *Rediseño de un Sistema de Enfriamiento Automotriz*. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19906/Castro%20Arreola%20Osvaldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero Piedrahita, C. A., & Carranza Sánchez, Y. A. (2007). Elementos de diseño de sistemas de enfriamiento de motores de combustión interna. *Scientia Et Technica*, 1(34). Recuperado a partir de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5605>
- Gilardi, J. (1985). *Motores de combustión interna* (Vol. 33). Agroamerica.
- ARMIJOS, C. A. A. (2014). *FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica Equinoccial).
- Piedrahita, C. R. (2009). Contribución al conocimiento del comportamiento térmico y la gestión térmica de los motores de combustión interna alternativos. *Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/4923/tesisUPV3034.pdf*.
- Herrera Atehortúa, A. F. (2021). Diseño de un sistema de refrigeración para un motor de combustión interna.
- Cabrera, J. R. S. (2022). *BALANCE TÉRMICO DE MOTORES*.
- Taipe Pesantes, C. J. (1992). *Diseño de intercambiadores tubo-coraza para enfriar el agua del sistema de enfriamiento de motores a diésel* (Bachelor's thesis).
- Romero Piedrahita, C. A., Carranza Sánchez, Y. A., & Quintero Riaza, H. F. (2007). Modelado Del Calentamiento De Los Motores De Combustión. *Scientia Et Technica*, 1(37). Recuperado a partir de <https://moodle2.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4051>
- Torregosa, A., González, P. C. O., Gautier, E., & Romero, C. (2008). *Metodología para el análisis de un sistema de refrigeración rediseñado para un motor diesel*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4749094>
- Temperaturas, como se hizo el sistema, que todos los componentes se hicieron en solid, que se realizaron las pruebas con diferentes flujos (7.5, 15 y 22.5 l/min)