



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE LOS
PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR
DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA A
DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE AGUA-
REFRIGERANTE”**

GAVILEMA OROZCO HENRRY DANILO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-01-30

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

GAVILEMA OROZCO HENRRY DANILO

Titulada:

**“ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE
FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA A
DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE AGUA-REFRIGERANTE”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Mario Audelo G.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. David Bravo M.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GAVILEMA OROZCO HENRRY DANILO

TÍTULO DE LA TESIS: “ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA A DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE AGUA-REFRIGERANTE”

Fecha de Examinación: 2014-02-06

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán M. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Dr. Mario Audelo G. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. David Bravo M. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Santillán M.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Henry Danilo Gavilema Orozco

DEDICATORIA

A mi Madre Marlene Nelly, por darme la vida, por ser el pilar fundamental y el más importante y por demostrarme con su ejemplo de fortaleza que todo en la vida es posible con constancia y dedicación, gracias mamá por tu apoyo, cariño y amor incondicional, tus palabras de aliento me incentivaron a seguir siempre adelante.

A mi Hijo Alain quien se convirtió en la fuente de inspiración, alegría y felicidad desde su llegada, quiero dedicarle esta meta alcanzada, ya que en ti pude encontrar la fortaleza en mi corazón, mi alma y las ganas de vivir día a día.

Henry Danilo Gavilema Orozco

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la luz de mi vida y darme la oportunidad, el entusiasmo y la fortaleza de culminar mis estudios brindándome salud y sabiduría cada día de mi existencia.

Desde lo más profundo de mi corazón a mis Padres Sebastián y Nelly, por ser ejemplo de perseverancia, humildad, amor, sacrificio y por ser la inspiración para realizar cada uno de mis sueños.

A mis hermanos y en especial a Edison, por su apoyo incondicional que siempre me ha brindado, porque es parte de mi formación y un claro ejemplo de lucha y superación, con humildad comparto este logro contigo.

Henry Danilo Gavilema Orozco

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Introducción.....	4
2.1.1 <i>Sistema de refrigeración</i>	5
2.1.2 <i>Elementos del sistema de refrigeración de un motor</i>	9
2.1.2.1 <i>Radiador</i>	10
2.1.2.2 <i>La tapa del radiador</i>	11
2.1.2.3 <i>El depósito de expansión</i>	11
2.1.2.4 <i>Bomba de agua</i>	11
2.1.2.5 <i>El termostato</i>	11
2.1.2.6 <i>Los conductos</i>	12
2.1.2.7 <i>El ventilador</i>	12
2.1.2.8 <i>Camisa de agua</i>	13
2.1.3 <i>Rangos de temperatura</i>	13
2.2 Los refrigerantes.....	14
2.2.1 <i>Composición del refrigerante</i>	15
2.2.2 <i>Nivel del refrigerante</i>	16
2.3 Adquisición de datos.....	16
2.3.1 <i>Elementos del sistema de adquisición de datos</i>	17
2.3.1.1 <i>Entorno LabView</i>	18
2.3.1.2 <i>Tarjeta de adquisición de datos NI myDAQ</i>	19
2.4 Termocuplas.....	21
2.4.1 <i>Medición de la termocupla</i>	21
2.4.2 <i>Efecto Seebeck</i>	22
2.4.2.1 <i>El potencial de contacto metal-metal v_c</i>	22
2.4.2.2 <i>Efecto Thomsom</i>	23
2.4.2.3 <i>Ventajas de las termocuplas</i>	23
2.4.3 <i>Tipos de termocuplas</i>	23
2.4.3.1 <i>Termocupla tipo k</i>	24
2.4.4 <i>Curvas características de las termocuplas</i>	25
2.5 Acondicionador de señal.....	25
2.6 Transferencia de calor.....	27
2.6.1 <i>Modos de transferencia de calor en un mci</i>	27
2.6.1.1 <i>Conducción</i>	27
2.6.1.2 <i>Convección</i>	28
2.6.1.3 <i>Radiación</i>	28
2.7 Diseño de experimentos.....	28
2.7.1 <i>Principales conceptos en el diseño de experimentos</i>	29
2.7.2 <i>Clasificación del diseño experimental</i>	29
2.7.3 <i>Diseño completamente al azar DCA</i>	30
2.7.4 <i>Aleatorización</i>	30

2.8	Hipótesis	31
2.9	Análisis de varianza.....	31
2.9.1	<i>Contraste anova</i>	32
2.10	Balance térmico del motor.....	33
3.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
3.1	Diseño experimental	36
3.1.1	<i>Diseño del experimento</i>	36
3.1.2	<i>Hipótesis</i>	39
3.1.3	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	39
3.2	Localización y trazado de la ruta.....	41
3.3	Componentes del motor.....	42
3.3.1	<i>Características del motor</i>	42
3.3.2	<i>Características del sistema de refrigeración</i>	42
3.4	Elementos utilizados.....	43
3.4.1	<i>Los sensores (termocupla)</i>	44
3.4.2	<i>Refrigerante</i>	44
3.4.3	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	46
3.5	Diseño e Implementación	48
3.5.1	<i>Montaje de las termocuplas</i>	48
3.5.2	<i>Simulación física del circuito</i>	52
3.5.3	<i>Acondicionamiento de señales</i>	53
3.6	Diseño de la interfaz de usuario.....	54
3.7	Interfaces desarrolladas en LabView.....	55
3.7.1	<i>Panel frontal</i>	56
3.7.2	<i>Diagrama de bloques del acondicionamiento</i>	57
3.7.3	<i>Pruebas de funcionamiento</i>	58
3.7.4	<i>Medición y monitoreo</i>	59
4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	
4.1	Análisis de varianza (ANOVA).....	61
4.2	Contraste de hipótesis.....	67
4.3	Análisis de la transferencia de calor del motor hacia el fluido refrigerante	68
4.3.1	<i>Calor transmitido al refrigerante</i>	68
4.3.2	<i>La masa de agente refrigerante que pasa por el motor</i>	68
4.3.3	<i>Cálculo de temperaturas</i>	69
4.3.4	<i>Cálculo del calor evacuado del motor al refrigerante</i>	69
5.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1	Comportamiento de la temperatura en el motor	77
5.1.1	<i>Concentración: 50-50 % (agua-refrigerante)</i>	77
5.1.2	<i>Concentración: 100 % refrigerante</i>	78
5.1.3	<i>Concentración: 10-90 % (agua-refrigerante)</i>	78
5.1.4	<i>Concentración: 30-70 % (agua-refrigerante)</i>	79
5.1.5	<i>Concentración: 100 % agua</i>	79
5.2	Análisis del comportamiento de la temperatura	80
5.3	Presupuesto estimado del proyecto.....	81
5.3.1	<i>Costos directos</i>	81
5.3.2	<i>Costos indirectos</i>	82
5.3.3	<i>Costos totales</i>	82
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	

6.1	Conclusiones.....	83
6.2	Recomendaciones	83

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Propiedades del agua natural	15
2. Tipos de termocuplas	24
3. Análisis de anova.....	33
4. Calor aproximado evacuado en mci	34
5. Preparación de las concentraciones	37
6. Codificación de los tratamientos	38
7. Orden de aplicación de los tratamientos	40
8. Datos técnicos del vehículo	42
9. Componentes utilizados.....	43
10. Registro de temperaturas (concentración 50-50 agua-refrigerante).....	62
11. Registro de temperaturas (concentración 30-70 agua-refrigerante).....	64
12. Matriz de datos en estudio	65
13. Cálculos para generar la anova	65
14. Resultados del análisis de varianza.....	67
15. Costos directos.....	82
16. Costos indirectos.....	82
17. Costos totales	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema general de la distribución de la energía en un motor.....	5
2. Refrigeración por aire	6
3. Refrigeración por aire forzada	7
4. Refrigeración mixta	8
5. Elementos del sistema de refrigeración	9
6. Radiador.....	10
7. Tipos de arreglos de láminas de un radiador	10
8. Bomba de agua	11
9. Termostato	12
10. Ventilador	12
11. Camisa de agua.....	13
12. Sistema de adquisición de datos	16
13. Elementos del sistema de adquisición de datos	17
14. NI myDAQ	19
15. Composición interna de la NI myDAQ	20
16. Voltaje formado por la unión de dos metales	22
17. Termocupla.....	22
18. Termocupla industrial tipo k.....	25
19. Curva de calibración a la unión de 0°C.....	25
20. Variación del coeficiente Seebeck con la temperatura	25
21. Diagrama del amplificador AD595	26
22. Unidades experimentales.....	38
23. Entorno SPSS	41
24. Ruta de recorrido	41
25. Sistema de adquisición de datos	46
26. Amoladora	49
27. Suelda oxicorte	49
28. Taladro de columna	50
29. Acople del tubo.....	50
30. Adaptación de las mangueras	51
31. Montaje de las mangueras	51
32. Termocupla instalada a la salida del motor	52
33. Simulación del circuito	52
34. Diagrama del acondicionador de señal AD595	53
35. Conexión del AD595	53
36. Entorno del panel frontal en LabView.....	56
37. Registro de datos	57
38. Acondicionamiento de la señal.....	57
39. Sistema de monitoreo de temperatura.....	58
40. Hojas de registro.....	59
41. Temperatura del motor 50-50 agua-refrigerante.....	77
42. Temperatura del motor 100 % refrigerante	78
43. Temperatura del motor 10-90 % (agua-refrigerante).....	78

44.	Temperatura del motor 30-70 % (agua-refrigerante).....	79
45.	Temperatura del motor 100 % agua.....	79

LISTA DE ABREVIACIONES

A/D	Análogo/Digital
ADC	Convertidor Análogo-Digital
AI	Entradas Analógicas
ANOVA	ANálisis Of Varianza
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de materiales
AO	Salidas Analógicas
D/A	Digital/Análogo
DIO	Entradas y Salidas Digitales
DAC	Convertidor Digital-Análogo
DAQ	Tarjeta de Adquisición de datos
DCA	Diseño Completamente al Azar
DE	Diseño Experimental
MCI	Motores de Combustión Interna
NI	National Instruments
PC	Computador Personal
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society Automotive Engineers)
T1	Tratamiento uno
T11	Tratamiento once
VI	Instrumentos Virtuales

LISTA DE ANEXOS

- A** Registro de datos experimentales de temperatura a la entrada y salida del motor
- B** Mangueras para radiador
- C** Componentes de la NI myDAQ
- D** Distribución de los puertos de la NI myDAQ
- E** Hoja de datos de seguridad del etilenglicol
- F** Propiedades físicas de algunos refrigerantes utilizados en motores de combustión interna.
- G** Especificaciones de AD594/AD595
- H** Cálculo de varianza

RESUMEN

El proyecto tiene la finalidad de realizar un estudio teórico y experimental de los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina variando la concentración de agua-refrigerante, para determinar la concentración en la cual se produce la mejor evacuación de calor hacia el refrigerante cuando funciona en condiciones reales de operación.

El estudio inicia con la recopilación de información y adquisición de elementos para diseñar un dispositivo de adquisición de datos, el sistema permite monitorear la temperatura del fluido refrigerante del motor. Mediante la instalación de dos termocuplas a la entrada y salida del motor y una aplicación realizada en LabView se tomará medidas de temperatura del fluido refrigerante para las diferentes concentraciones que se le aplican al sistema de refrigeración, este sistema está constituido por un circuito que permite la comunicación entre la PC y el motor a través del cual se puede tomar medidas de temperatura y generar un reporte ya sea en el mismo programa o en una tabla de Excel.

Aplicando un diseño experimental completamente al azar (DCA) se conforman once concentraciones de agua-refrigerante, las mismas que se aplican en el sistema de refrigeración y se realizarán ciclos de conducción por una determinada trayectoria fija para obtener medidas de temperatura del refrigerante a la entrada y salida del motor.

El método estadístico empleado para el análisis de datos es el análisis de varianza que permite verificar si uno o varios tratamientos influyen sobre la variable temperatura, y si existe una influencia cuantificar la misma.

Con este análisis de varianza se verificó existe diferencia significativa entre las concentraciones aplicadas al motor ya que $F_{\text{calc}} > F_{\text{teor}}$. De ahí que, (concentración 30-70 agua-refrigerante) permite la mayor evacuación de calor y además mantiene la temperatura del motor en un rango de óptimo de funcionamiento.

ABSTRACT

The project aims to carry out a theoretical and experimental study of the operating parameters of a gasoline internal combustion engine varying the concentration of cooling water, in order to determine the concentration at which the best evaluation of heat occurs into the coolant when runs in real operating conditions.

The study begins with gathering information and acquiring items to design a data acquisition device, the system allows monitoring the temperature of the coolant by installing two thermocouples to the input and output of the engine with an extension made in LabView taking temperature measures of fluid cooler for the different concentrations which are applied to the cooling system, this system consists of a circuit which allows communication between the PC and the motor through which the data are transferred and a report is produced in the same program or in Excel.

Applied a completely randomized experimental design (CRD), eleven concentrations of cooling water are formed, the same as are applied in the cooling system and cycles of handling will be developed by a certain fix path in order to obtain measurements of coolant temperature at the input and output of the engine.

The statistical method used for data analysis is the analysis of variance that allows verifying if one or more treatments influence over the temperature variable and if there is an influence, quantify it.

With the analysis of variance it was verified that significant difference appears between the concentrations applied to the motor because $F_{cal} > F_{teor}$. For instance, (cooling water concentrations 30-70) allows greater heat dissipation and also maintains the temperature of the engine in an optimal operating range.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los motores de combustión interna son las máquinas térmicas más habituales y han jugado un papel dominante en el campo de la generación de potencia y propulsión desde sus inicios en 1876, cuando Nikolaus Otto desarrollo el primer prototipo de un motor de cuatro tiempos a gasolina, se volvieron muy importantes ya que lo utilizaban como medios de transporte de carga y personas.

Los esfuerzos por entender y mejorar estas máquinas han sido crecientes, el método más común en esta área de trabajo era la experimentación pero últimamente el análisis teórico ha crecido significativamente permitiendo obtener resultados a corto tiempo y a un bajo costo.

Si bien el agua natural fue el líquido más usado como refrigerante para motores a inicios de la fabricación de automóviles, debido a que tiene una buena propiedad de transmisión del calor, puede ser obtenida en cualquier lugar y es económicamente accesible, sería el refrigerante ideal, pero pronto se vio que algunas propiedades del agua, como su punto de congelación, su punto de ebullición son bajos y más aún la corrosión que causa en los elementos del sistema de refrigeración limitando así su uso para éste fin, de ahí surge la necesidad de mejorar este tipo de refrigerante con la utilización de ciertos tipos de sustancias químicas mezcladas con agua.

Existe una gran polémica en cuanto a la concentración adecuada y utilización del refrigerante apropiado para el motor, en el mercado existen una variedad de refrigerantes premezclados con precios económicamente razonables, pero la gran mayoría de propietarios de vehículos opta por utilizar un refrigerante de bajo costo o una mezcla con agua sin tomar en cuenta las consecuencias que sufre el motor en cuanto a su eficiencia y funcionalidad.

1.2 Justificación

Siendo la refrigeración uno de los sistemas de control más importante en la vida útil del motor de combustión interna ya que el resultado del enfriamiento de los elementos de este garantiza la eficiencia y funcionalidad de un motor y sus componentes.

Dentro del sistema de refrigeración se encuentran muchos factores que pueden variar su normal funcionamiento tanto interno como externo, y un cambio en las características del mismo podrían causar un sin número de problemas principalmente mecánicos, provocando pérdidas económicas considerables.

El método más común para la verificación del sistema de refrigeración es la experimentación, que se basa en medir la capacidad de enfriamiento del motor (disipación de calor) en bancos de prueba; mientras que el análisis teórico permite hallar valores más exactos sobre los ensayos, ya que los ordenadores alcanzan capacidades extraordinarias de cálculo para resolver numéricamente las ecuaciones que plantean la leyes de la termodinámica y transferencia de calor, lo que permite obtener resultados relativamente aceptables con una baja inversión económica.

La incidencia del sistema de refrigeración en el desempeño de un motor es alta, de ahí la necesidad de contar con un sistema de refrigeración en perfecto estado, una concentración adecuada y un buen fluido refrigerante.

El proyecto tiene la finalidad de realizar un estudio teórico y experimental de los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina utilizando diferentes concentraciones de agua-refrigerante como fluido refrigerante en el motor, aplicando métodos estadísticos determinar la concentración adecuada en la cual se produce la mejor evacuación del calor del motor hacia el refrigerante.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Realizar un estudio teórico y experimental de los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina a diferente concentración de agua-refrigerante.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Describir el funcionamiento del sistema de refrigeración de un motor de combustión interna a gasolina.

Implementar un módulo electrónico de medición de la temperatura del refrigerante a la entrada y salida del motor de combustión interna a gasolina para monitorear en comportamiento de la temperatura del flujo refrigerante que opera en el sistema de refrigeración del motor.

Analizar los datos obtenidos aplicando métodos estadísticos para verificar si uno o varios tratamientos influyen sobre la variable temperatura, si existe influencia significativa cuantificar la misma.

Analizar la influencia de la concentración (agua-refrigerante) en cuanto a la evacuación de calor del motor, comparando la variación de la temperatura del líquido refrigerante entre las diferentes concentraciones aplicadas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

La temperatura interviene en la mayor parte de los fenómenos físicos y por tanto es natural que exista un gran número de dispositivos que puedan usarse para la medida de la misma, así como también diferentes formas de acondicionamiento.

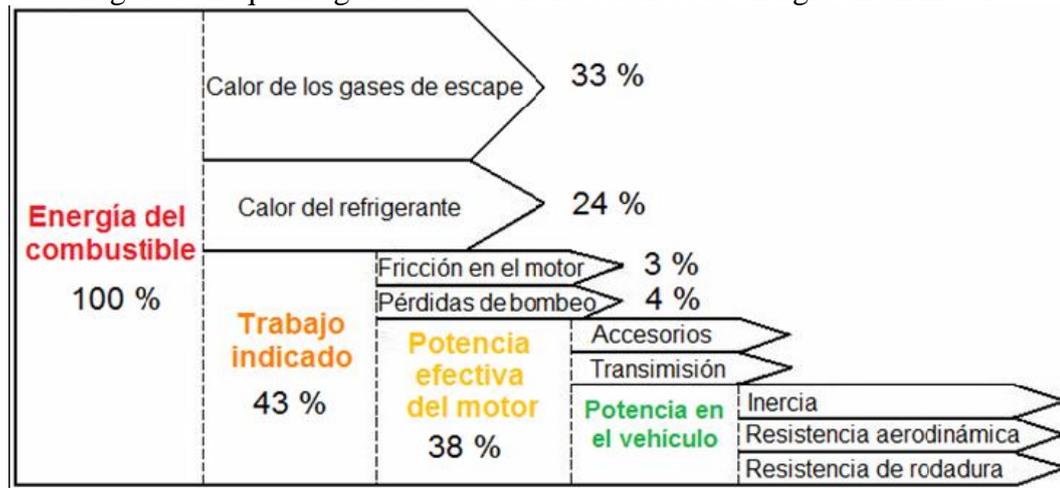
Una de las máquinas energéticas productoras de potencia motriz es el motor de combustión interna, aprovechando la energía química del combustible para convertirla en energía térmica, la cual se convierte a su vez en energía mecánica o trabajo. Su evolución a partir del año 1876 hasta la última década ha influenciado generando mejoras sociales y económicas, permitiendo el desarrollo de la tecnología en muchas áreas, siendo el transporte y la generación de energía en las que mayores mejoras se han presentado, el gran éxito de su empleo se debe a la elevación de sus índices de potencia.

La gran producción de vehículos a nivel mundial que utilizan un motor de combustión interna y toda la ingeniería empleada para producirlos, dependen de diversos factores para tener un adecuado funcionamiento, de modo que cualquier variación de estos influirá en la eficiencia de la máquina trayendo como consecuencia final pérdidas económicas, aumento de emisiones tóxicas y consumo de combustible. Uno de ellos es la temperatura. Si bien se conoce estas sobrepasan los 1000°C en la cámara de combustión por lo que es necesario controlar esta variable mediante un buen sistema de refrigeración y el uso de un apropiado refrigerante.

En la figura 1 se muestra la distribución global de la energía en un motor de combustión interna, liberada en el proceso de la combustión (se podría tener pequeñas variaciones en los porcentajes dependiendo del tipo de vehículo y de las condiciones de trabajo), en la que se aprecia que el 30% de la energía total aproximadamente es aprovechada por el motor, lo que significa que existe una fuerte carga térmica que debe ser evacuada al

exterior por medio del refrigerante, que actúa a través de los elementos del sistema de refrigeración, asegurándose de mantener una temperatura homogénea entre 82 y 113 °C, rango de temperaturas recomendado por los diversos fabricantes en las que el motor desarrolla mejor potencia y una mayor eficiencia mediante la combustión de una masa dada de combustible en el interior del cilindro, por otro lado evitando agrietamientos térmicos en las distintas partes del motor (PIEDRAHITA, 2009).

Figura 1. Esquema general de la distribución de la energía en un motor



Fuente: (PIEDRAHITA, 2009)

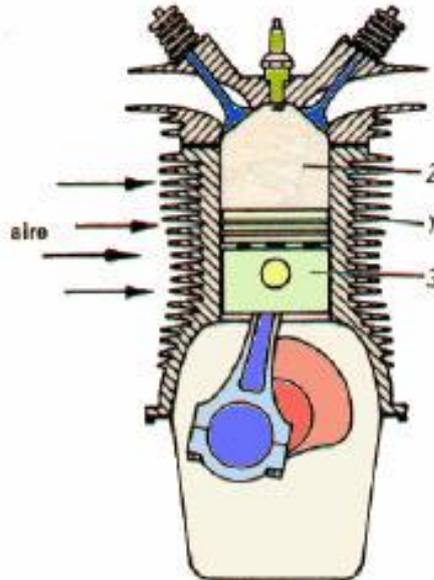
2.1.1 Sistema de refrigeración. Los sistemas actualmente empleados para la refrigeración de los motores a nivel mundial, tanto los de tipo Otto como Diésel, son los siguientes:

- Refrigeración por aire
 - Forzada
 - Directa
- Refrigeración por líquido
 - Circulación por termosifón
 - Circulación forzada por bomba
- Refrigeración mixta (líquido y aire)

Refrigeración por aire. Este sistema consiste en evacuar directamente el calor del motor a la atmósfera a través del aire que lo circunda.

Para mejorar la conductibilidad térmica, estos motores se fabrican de aleación ligera y disponen sobre la carcasa exterior de unas aletas que permiten aumentar la superficie radiante de calor. La longitud de estas aletas es proporcional a la temperatura alcanzada en las diferentes zonas del cilindro, siendo por tanto, de mayor longitud las que están más próximas a la cámara de combustión (CHOY, 2006).

Figura 2. Refrigeración por aire



Fuente: (CHOY, 2006)

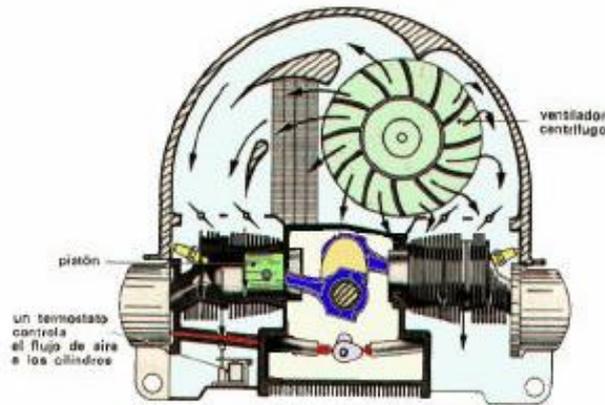
El sistema puede ser de refrigeración directa o forzada.

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.

Refrigeración forzada: El sistema de refrigeración forzada por aire es utilizado 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. Refrigeración por aire forzada



Fuente: <http://www.motores-de-combustion-interna/refrigeracion-aire-forzada.jpg>

Refrigeración por líquido. Este sistema consiste en un circuito de agua o mezcla de agua-refrigerante, en contacto directo con las paredes de las camisas y cámaras de combustión, que absorbe el calor radiado y lo transporta a un depósito refrigerante donde el líquido se enfría y vuelve al circuito para cumplir nuevamente su misión refrigerante, el circuito se establece por el interior del bloque y culata, para lo cual estas piezas se fabrican huecas, de forma que el líquido refrigerante circunde las camisas y cámaras de combustión circulando alrededor de ellas.

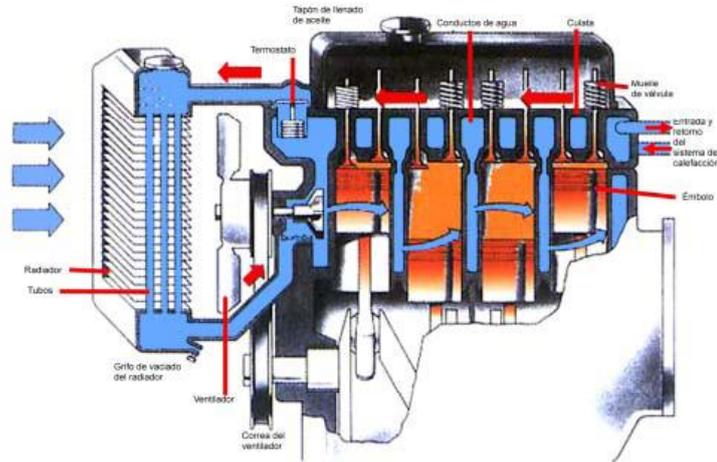
Circulación por termosifón: El líquido circula por la diferencia de densidad que experimenta al variar su temperatura, este sistema necesita una gran cantidad de agua y una diferencia importante de temperaturas.

Circulación forzada por bomba: Este sistema ofrece una refrigeración más eficaz con menor volumen de agua, ya que debido a las grandes revoluciones que alcanzan hoy día los motores, necesitan una evacuación más rápida de calor, lo cual se consigue forzando la circulación del agua por el interior de los mismos.

Refrigeración mixta (líquido y aire). Con este sistema se asegura la circulación del líquido en adecuados conductos alrededor de las paredes de los cilindros y en la culata del motor. En los vehículos el sistema de refrigeración adoptado es el de recuperación total del líquido refrigerante, por lo que es necesario establecer una circulación cerrada e introducir en el circuito un radiador donde el líquido pueda también refrigerarse con el aire. Por lo

tanto, el líquido es un medio de transporte del calor de la pequeña superficie exterior de los cilindros a la gran superficie interior del radiador donde el calor se transmite al aire.

Figura 4. Refrigeración mixta



Fuente: <http://www.motores-de-combustion-interna/refrigeracion-mixta.jpg>

Funcionamiento del sistema El sistema consiste en disponer una bomba centrífuga intercalada en el circuito y movida por el propio motor. La bomba activa la circulación del agua en su recorrido con una velocidad proporcional a la marcha del motor.

En su funcionamiento la bomba aspira el agua refrigerada de la parte baja del radiador y la impulsa al interior del bloque a través de los huecos que rodean las camisas y cámaras de combustión, el refrigerante sale por la parte superior de la culata y se dirige otra vez al radiador por su parte alta, donde es enfriada nuevamente a su paso por los paneles de refrigeración.

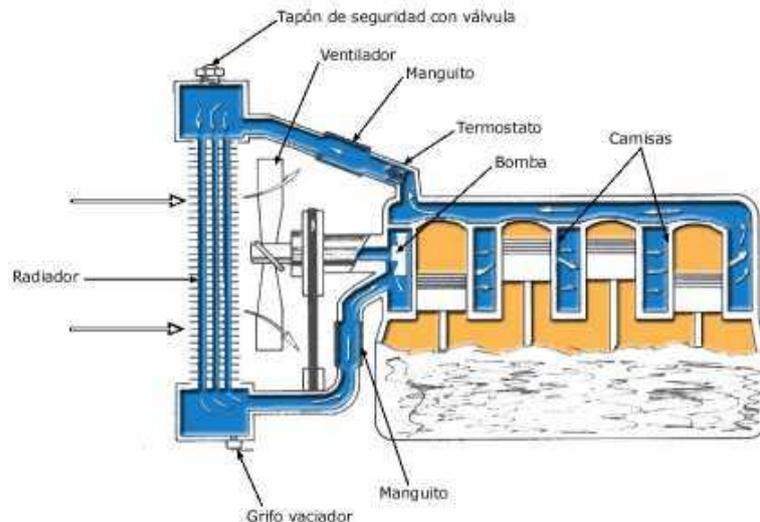
Con esta circulación forzada, el agua se mantiene en el circuito a una temperatura de 85 a 95 °C, con una diferencia entre la entrada y la salida de 8 a 10 °C, controlada por medio de una válvula de paso que mantiene la temperatura ideal de funcionamiento sin grandes cambios bruscos en el interior de los cilindros, que podría dar lugar a dilataciones y contracciones de los materiales.

En muchas instalaciones, sobre todo en automóviles de turismo, el agua de refrigeración se aprovecha para la calefacción interna del vehículo, para ello se intercala en serie a la salida del agua caliente de la culata, un intercambiador de calor que trabaja como

radiador, calentando el aire del vehículo y así proporcionar a los ocupantes un confort a la hora de viajar.

2.1.2 Elementos del sistema de refrigeración de un motor. El circuito de refrigeración de los motores está formado por los siguientes elementos.

Figura 5. Elementos del sistema de refrigeración



Fuente: <http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/imagenes/refrigeracion/figura02.jpg>

En la figura 5, se muestra el circuito de refrigeración, con sus elementos básicos, para llevar a cabo su función. El líquido refrigerante es impulsado a cierta presión gracias a la bomba de agua instalada, a través de los ductos especiales llamados también cámaras de agua, que se construyen por el interior de la culata y el block, de manera que el refrigerante bañe a la cámara de combustión, transportando consigo el exceso de energía térmica contenida en las paredes de las piezas del motor, el calor contenido en el líquido es liberado a la atmosfera gracias al intercambiador de calor (radiador), por medio de mecanismos como la radiación y la convección entre el aire del ambiente y el aire forzado proveniente del ventilador instalado.

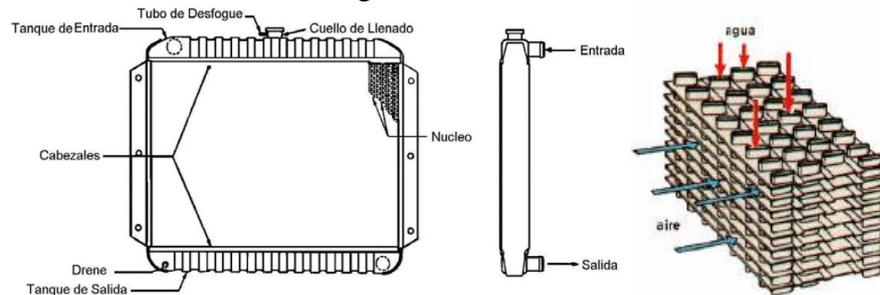
El circuito cuenta con una válvula de control de flujo (termostato), que regula el flujo de agua según sea el caso, reduciendo el flujo para elevar la temperatura, o por el contrario aumentando el flujo para reducir a este, el circuito también posee un sensor de temperatura generalmente es un termómetro de termo resistencia que es un indicador para el conductor que puede ser de señal luminosa o de alarma.

2.1.2.1 Radiador. Es un intercambiador de calor, que expone un gran volumen de refrigerante caliente a un gran volumen de aire de enfriamiento. Hay dos tipos:

De flujo descendente

De flujo transversal

Figura 6. Radiador



Fuente: (CHOY, 2006)

Construido de aluminio, está constituido por tubos paralelos espaciados provistos de aletas trasversales de aluminio, con el fin de aumentar el área de refrigeración. Está conectado a dos tanques por la parte superior de los tubos entra el líquido refrigerante caliente proveniente del motor de combustión, el calor es disipado al ambiente mediante convección y radiación debido a los gradientes de temperatura que existe entre el aire del ambiente y el forzado que brinda el ventilador.

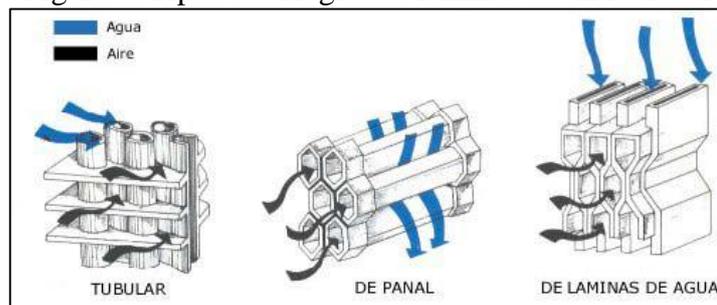
Hay varios tipos de arreglos de las láminas.

Tubulares

De lámina de agua

De panel

Figura 7. Tipos de arreglos de láminas de un radiador



Fuente: (CHOY, 2006)

2.1.2.2 *La tapa del radiador.* El radiador en la parte superior tiene tapa que permite la presurización del sistema (presión de alivio 0.9 kg/cm²), evitando la evaporación del refrigerante cuando el motor realiza trabajos intensos y en la parte inferior tiene un colector donde se deposita el refrigerante frío para luego retornar al proceso.

2.1.2.3 *El depósito de expansión.* Muchos sistemas utilizan un depósito para recibir el exceso de refrigerante generado por la expansión del mismo, permitiendo su retorno al radiador cuando el sistema se enfría. Cuando el sistema no cuenta con éste elemento requiere un colchón de aire en la parte superior del radiador para comprimirse en el calor absorbiendo la diferencia de volumen.

2.1.2.4 *Bomba de agua.* La bomba de agua es un elemento del sistema de enfriamiento cuyo cometido es impulsar el agua para establecer una corriente continua que pasa alternativamente por las zonas de calentamiento y de enfriamiento.

Construida por un plato con aletas insertado dentro de una carcasa y fijado al mismo eje del ventilador a menos que este sea accionado por un motor eléctrico. La bomba de agua gira con la misma velocidad que el motor por un engranaje o polea, el exceso de agua empujado vuelve directamente al radiador. Cuando la bomba sufre de cavitación, corrosión o abrasión pierde eficiencia.

Figura 8. Bomba de agua



Fuente: (ARIAS, 2001)

2.1.2.5 *El termostato.* Tal como un atleta que tiene que calentarse antes de correr, el termostato funciona para calentar el motor antes de trabajar y lo mantiene a la temperatura óptima para su trabajo, así el termostato es el controlador de la temperatura.

Se trata de una válvula que permite o no la circulación del refrigerante hacia el interior del motor, cuando la temperatura del motor se acerca a la temperatura nominal del termostato (normalmente 80°C), este empieza a abrirse dejando pasar un poco de agua para mezclarse con el agua caliente e iniciar el proceso de refrigeración. Cuando el motor se calienta totalmente, el termostato se abre a plenitud controlando la velocidad de circulación del agua.

Figura 9. Termostato



Fuente: (ARIAS, 2001)

2.1.2.6 *Los conductos.* Los conductos recorren por el motor, tratando de absorber todo el calor posible, entre más corrosión y obstrucciones se encuentren (a veces el exceso de selladores de empaquetaduras o empaquetaduras mal fabricadas) menos será la circulación y menor el calor que llevará al radiador para ser disipado.

Figura 10. Ventilador



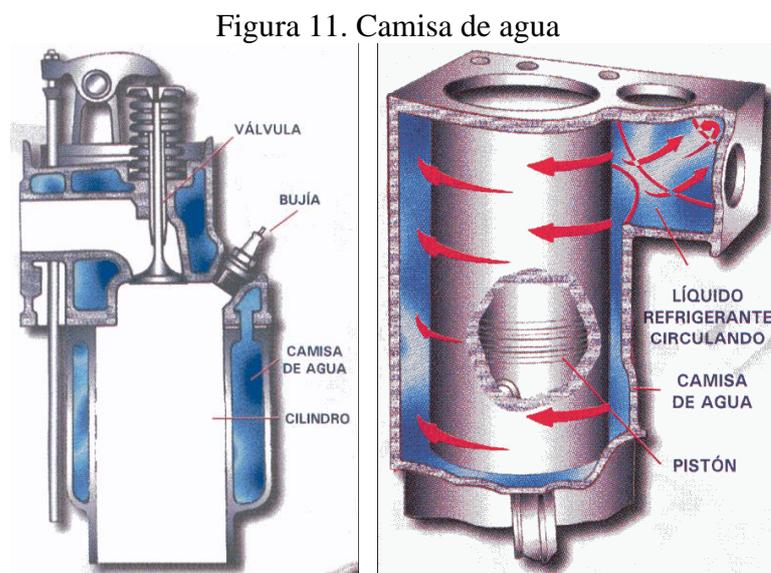
Fuente: (ARIAS, 2001)

2.1.2.7 *El ventilador.* El ventilador es un elemento crítico en el sistema de refrigeración a velocidades inferiores a 70 km/h. Sobre esta velocidad el flujo de aire actúa con la misma eficiencia hasta el punto de que la fuerza requerida para pasar por el viento causa

demasiado estrés al motor y se calienta más. Si la correa del ventilador está seca o gastada el ventilador no gira a la velocidad correcta reduciendo la eficiencia del radiador, algunos autos tienen ventiladores eléctricos que operan con su propio termostato o sensor de temperatura activando el ventilador cuando requiere y manteniéndolo girando después de apagar el motor hasta que se enfría el sistema.

2.1.2.8 Camisa de agua. A fin de permitir que el líquido refrigerante circule alrededor de los cilindros y demás piezas que necesitan enfriarse es necesario asignarle un espacio, esos espacios por los cuales circula el líquido refrigerante se le denomina camisa de agua o enfriamiento.

Las camisas de agua rodean la cámara de combustión, el cilindro, los asientos de las bujías, los asientos y guías de las válvulas y las partes en contacto con los gases resultantes de la combustión (CHOY, 2006).



Fuente: (ARIAS, 2001)

2.1.3 Rangos de temperatura. Si la temperatura está por debajo de los rangos establecidos:

- Aumenta el consumo de combustible por falta de temperatura para una combustión eficiente.
- Acumula agua en el aceite como residuo de la combustión.

- Aumenta el consumo de aceite y desgaste de piezas porque ellas están diseñadas para expandir hasta su tamaño y tolerancia normal.
- Reduce la potencia del motor por pérdida de compresión.
- Causa herrumbre en el sistema de escape por la falta de evaporación del agua residual de la combustión.
- Causa depósitos de nitración, carbón y barniz en las válvulas, bujías y pistones.

Si la temperatura del motor excede los rangos establecidos por el fabricante:

- Disminuye la viscosidad del aceite.
- Disminuye la protección al desgaste.
- Provoca incremento del coeficiente de fricción entre las partes móviles.
- Detona el combustible en el cilindro antes de tiempo.

2.2 Los refrigerantes

Sólo la tercera parte de la energía liberada en la combustión se convierte en energía mecánica útil. Otra tercera parte se pierde en los gases de escape y en energía radiante, y el resto es calor que debe eliminarse para evitar el sobrecalentamiento y colapso del motor. El fluido refrigerante cumple la importante función de extraer del motor este exceso de calor.

Como fluido refrigerante se emplea generalmente el agua por ser el líquido más estable y económico pero se sabe que tiene grandes inconvenientes ya que a temperaturas de ebullición el agua es muy oxidante y ataca a las partes metálicas en contacto con ella .y a temperaturas muy bajas se solidifica con facilidad.

Por otra parte y debido a la dureza de las aguas (muchas cal) precipita gran cantidad de sales calcáreas que pueden obstruir las canalizaciones y el radiador.

Otro de los inconvenientes del agua es que a temperaturas por debajo de 0 °C se solidifica aumentando de volumen lo cual podría reventar los conductos por los que circula.

2.2.1 Composición del refrigerante. El refrigerante de motores por lo general es una mezcla de etileno o de anticongelante con base de etilenglicol propileno y agua. El punto de congelación de la mezcla dependerá de la cantidad relativa de glicol usada. Es importante nunca usar exclusivamente agua como refrigerante del motor. (El agua es corrosiva a las temperaturas de operación del motor). La calidad del agua es importante.

Tabla 1. Propiedades del agua natural

Color	Incolora
Punto de ebullición	100°C
Punto de congelamiento	0°C
Cloruro	250 ppm
Sulfatos	250 ppm
Dureza	377.2 ppm
PH	6.5-8.5
Coefficiente de transferencia de calor	2374.44 W/m K
Conductividad térmica	0.673 W/m ² °C

Fuente: (MORALES, 2006)

Por esta razón es conveniente utilizar un líquido en base de etilenglicol para evitar este tipo de inconvenientes en el sistema. El anticongelante en base de etilenglicol tiene un punto de ebullición más alto que el agua; contiene inhibidores y aditivos necesarios para retardar la formación de sedimentos, corrosión y posee un lubricante para el sello de la bomba de agua.

Los inhibidores especiales en base de silicatos se agregan para prevenir la corrosión de partes de aluminio como las cabezas de cilindros, termostato, radiadores, y se utilizan mucho en automóviles modernos.

Con el uso de los anticongelantes, que son unos productos químicos preparados para mezclar con el agua de refrigeración de los motores y conseguir los siguientes fines:

- Disminuir el punto de congelación del líquido refrigerante el cual, en proporciones adecuadas hace descender el punto de congelación entre 5 y 35 °C por tanto, la proporción de mezcla estará en función de las condiciones climatológicas de la zona o país donde circule el vehículo.
- Aumentar la temperatura de ebullición del agua para evitar pérdidas en los circuitos que trabajen por encima de los 100 °C.

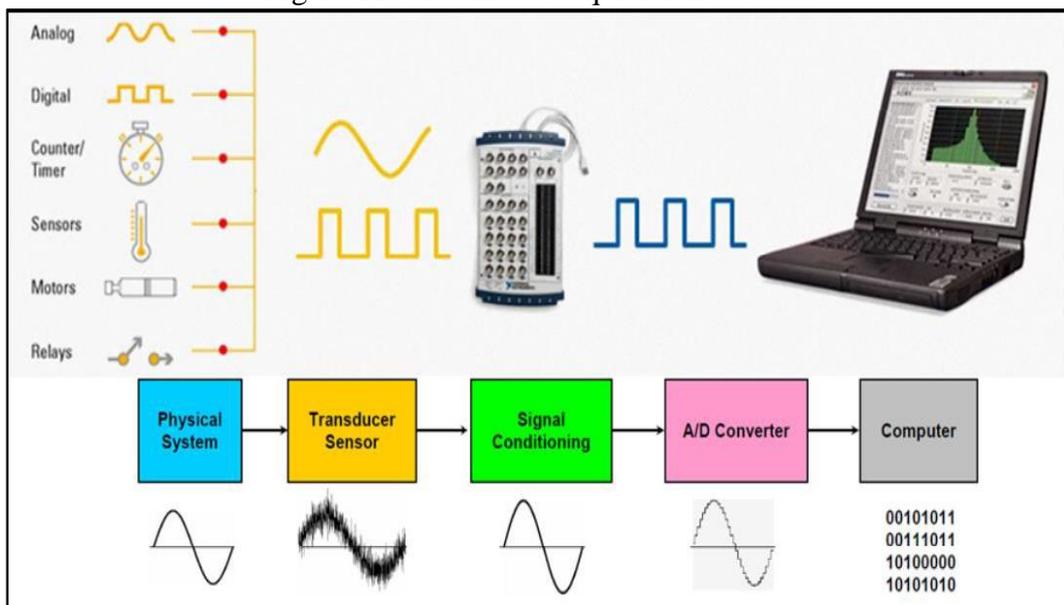
- Evitar la corrosión de las partes metálicas por donde circula el agua (MORALES, 2006).

2.2.2 Nivel del refrigerante. El nivel del refrigerante es crítico para el funcionamiento apropiado de un sistema de enfriamiento. Si el nivel del refrigerante cae hasta un punto donde el aire es arrastrado hacia las chaquetas de enfriamiento, la capacidad de enfriamiento se reducirá resultando daños mecánicos serios, incluyendo la corrosión de la cavitación.

2.3 Adquisición de datos

La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en recopilar información o muestras para documentar o analizar un fenómeno que está ocurriendo en la realidad.

Figura 12. Sistema de adquisición de datos



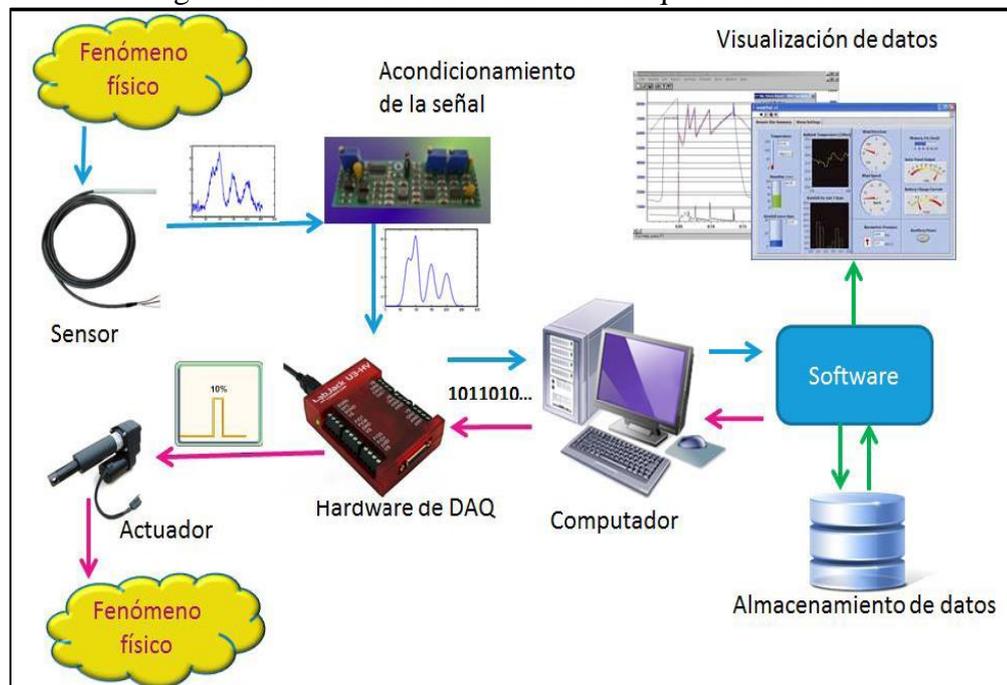
Fuente: <http://wiki.gxtechnical.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control>

Para ejemplificar la adquisición de datos se puede pensar en un técnico registrando la temperatura de un horno en un papel, está realizando una adquisición de datos. Pero como la tecnología ha avanzado, este tipo de proceso se ha simplificado haciéndose más preciso, versátil y fiable a través de equipos electrónicos que adquiere estas señales y generan datos que pueden ser manipulados por un ordenador u otros equipos electrónicos.

Básicamente consiste en adquirir señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecúa la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital, el elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o Tarjeta de Adquisición de Datos (OGATA, 1998).

2.3.1 Elementos del sistema de adquisición de datos. Para obtener información acerca de cualquier fenómeno físico se utilizan sensores (también llamados transductores), estos obtienen la información convirtiendo la magnitud física en una señal eléctrica.

Figura 13. Elementos del sistema de adquisición de datos



Fuente: <http://wiki.gxtechnical.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control>

Esta señal puede ser un voltaje o una corriente que por lo general tiene mucho ruido que la distorsiona, por esta razón es necesario acondicionarla con un circuito adecuado, el mismo que puede ser un acondicionador operacional o amplificador de señal.

Luego para poder leer estas señales se utiliza una interface especial. Este hardware de adquisición de datos tiene generalmente múltiples entradas y salidas analógicas y digitales.

Hay muchos dispositivos para leer estas señales que están disponibles comercialmente algunos de carácter general y otros altamente especializados.

Para digitalizar las señales analógicas, esta interface tiene uno o varios conversores analógico digitales y para poder generar un voltaje a partir de un dato digital incluye conversores digitales-analógicos, también incluye contadores y temporizadores.

Una vez que la información está accesible desde la PC se puede utilizar un software comercial o desarrollar uno para analizarla, desplegarla y almacenarla, tomando en cuenta que no solo se puede capturar información sino que también se puede generar una acción, como causar un movimiento que cierre un circuito o encender un dispositivo, etc. A partir de un comando dado desde nuestro programa (OGATA, 1998).

2.3.1.1 Entorno LabView. En cuanto al software, existe software comercial para daq muy conocidos como el LabView o incluso el MatLab tiene un módulo para adquisición de datos, pero también se puede desarrollar un software propio ya que la mayoría de las interfaces daq proveen varios mecanismos para hacerlo.

LabView incluye un grupo de VIs que permiten configurar, adquirir datos y enviarlos a los dispositivos daq.

Frecuentemente un dispositivo puede ejecutar una variedad de funciones (conversión análogo/digital A/D, conversión digital a análogo D/A, E/S digital y operaciones de contador/temporizador), cada dispositivo soporta diferentes daq y velocidades de generación de señal.

No siempre puede conectarse señales directamente a un dispositivo daq. En estos casos se debe utilizar accesorios acondicionadores de señal para tratar las señales antes de que el dispositivo daq las convierta en información digital.

El software controla el sistema daq adquiriendo los datos puros, analizando y presentando los resultados.

Hay diversas opciones para un sistema daq:

- El dispositivo daq reside en el computador. Puede conectar el dispositivo en la ranura PCI de un computador de escritorio o en la ranura PCMCIA de un computador portátil para un sistema de medición daq portátil.
- El dispositivo daq es externo y se conecta al computador a través de un puerto existente como el puerto serial USB o el puerto Ethernet, lo que significa que se pueden ubicar fácilmente los nodos de medida cerca de los sensores.

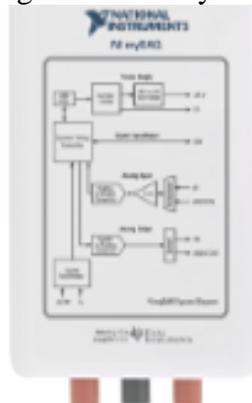
El computador recibe los datos puros directamente en el dispositivo daq. La aplicación creada en LabView presenta y manipula los datos en una forma que el usuario pueda entender. El software también controla el sistema daq ordenando al dispositivo cuando y desde cuáles canales adquirir datos.

Típicamente el software daq incluye controladores y programas de aplicación. Los controladores son únicos para el dispositivo e incluyen un grupo de comandos que el dispositivo acepta.

Los programas de aplicación también presentan y analizan los datos adquiridos. Los dispositivos de medición de NI incluyen el programa controlador NI – DAQ, una colección de VIs que se utilizan para configurar, adquirir datos y enviarlos hacia los dispositivos de medición o de control (PROAKIS, 1999).

2.3.1.2 Tarjeta de adquisición de datos NI myDAQ. Es un dispositivo de adquisición de datos cuyo software está basado en LabView, permitiendo a los estudiantes manejar señales del mundo real.

Figura 14. NI myDAQ

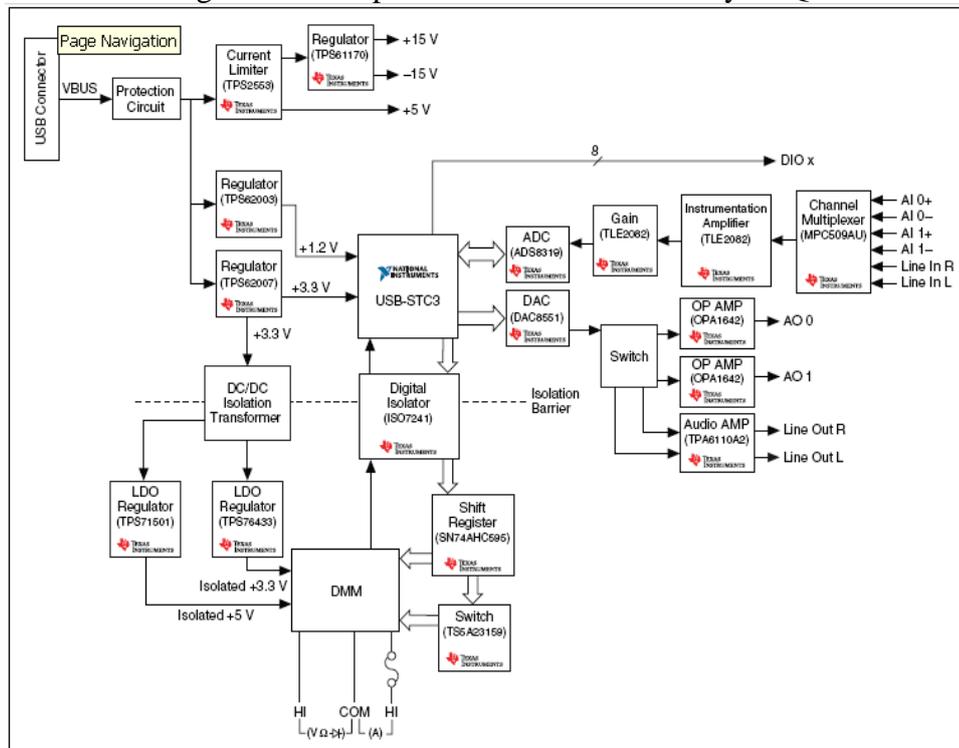


Fuente: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD549.pdf

NI myDAQ es ideal para la medición de sensores, combinado con LabView sobre una computadora, los estudiantes pueden analizar y procesar señales adquiridas y realizar procesos de controles simples y complejos.

Entradas y elementos de la NI myDAQ. Provee entradas análogas (AI), salidas análogas (AO), entradas y salidas digitales (DIO), fuentes de voltaje, y las funciones de un multímetro digital (DMM) en un dispositivo compacto USB.

Figura 15. Composición interna de la NI myDAQ



Fuente://rfic.eecs.berkeley.edu/ee42/labs/myDAQ%20Getting%20Started.pdf

Entrada analógicas (AI). Hay dos canales de entrada analógica en la NI myDAQ, estos canales pueden ser configurados como de tensión diferencial o de entrada de audio. Las entradas analógicas son multiplexadas, es decir, un solo convertidor analógico a digital (ADC) se utiliza para probar los dos canales, en modo de uso general puede llegar a medir señales hasta ± 10 V a 16 bits.

La salida analógica (AO). Hay dos canales de salidas analógicas en la NI myDAQ, estos canales pueden configurarse como salida de tensión o de salida de audio. Ambos canales tienen un convertidor digital a analógico (DAC), por lo que

puede actualizar de forma simultánea con la salida analógica se puede generar una señal de hasta ± 10 Voltios.

Entrada / salida digital (DIO). Hay ocho líneas para entrada y salidas digitales (DIO), cada línea puede ser configura y programada para funcionar como salida o entrada digital las cuales además pueden trabajar como un contador o temporizador.

Fuentes de alimentación. Hay tres fuentes de alimentación disponibles en la NI myDAQ, donde dos fuentes de +15 y -15 V pueden ser usados para alimentar componentes analógicos de potencia, tales como amplificadores operacionales y reguladores lineales, además presenta una fuente de 5 V que puede ser utilizada para alimentar dispositivos digitales (OGATA, 1998).

2.4 Termocuplas

La temperatura interviene en la mayor parte de los fenómenos físicos y por tanto es natural que exista un gran número de dispositivos que puedan usarse para la medida de la misma, así como también, diferentes formas de acondicionamiento.

Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores en sentido amplio, son los elementos del sistema de medida que ofrecen a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada, registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar. Normalmente son circuitos electrónicos que ofrecen entre otras funciones las siguientes:

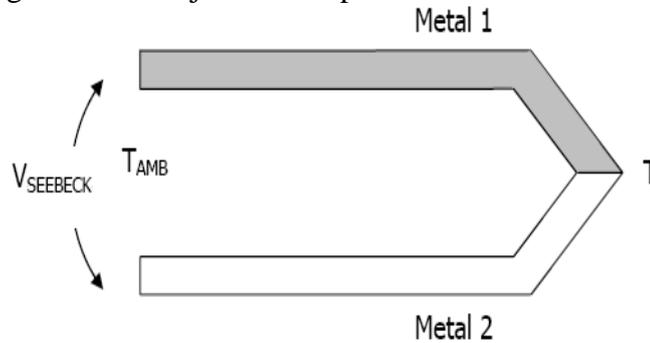
- Amplificación
- Filtrado
- Adaptación de impedancias

Dado la precisión y el rango de medición necesarios en el ámbito tratado, los termopares de tipo k presentan el mejor compromiso error/coste.

2.4.1 Medición de la termocupla. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera

un voltaje muy pequeño del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura, a lo cual se lo conoce como el efecto Seebeck, quien en 1821 estudió su comportamiento.

Figura 16. Voltaje formado por la unión de dos metales



Fuente: (VIGNOLA, 2006)

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Figura 17. Termocupla



Fuente: (VIGNOLA, 2006)

2.4.2 Efecto Seebeck. Es la suma de dos efectos independientes:

- El potencial de contacto debido a la unión metal-metal.
- El doble voltaje de Thomson debido a que cada uno de los dos metales tiene una diferencia de temperatura entre sus extremos.

2.4.2.1 El potencial de contacto metal-metal *vc.* La unión de dos metales diferentes genera una diferencia de potencial que depende de la temperatura.

En general el voltaje que aparece entre los metales es tan pequeño (del orden de milivoltios), que para la mayoría de las aplicaciones eléctricas puede considerarse que los

metales están a un mismo potencial. Sin embargo, este pequeño voltaje es también responsable de corrosiones y oxidaciones en los metales, por ejemplo, en los bornes de plomo de las baterías de un carro donde se unen con los cables de cobre.

En un metal los electrones de la última capa de sus átomos están tan poco ligados a estos que permanecen sumergidos dentro de todo el metal como electrones “casi-libres”.

No son enteramente libres porque no pueden salir del metal. Simplificando podemos considerar que los electrones dentro del metal están bajo la acción de un potencial producido por el material que es prácticamente constante.

2.4.2.2 Efecto Thomson. Descubierta por William Thomson en 1847, consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circula una corriente. El calor liberado es proporcional a la corriente, se absorbe calor cuando la corriente del punto más frío a más caliente y se libera cuando fluye del más caliente al más frío.

2.4.2.3 Ventajas de las termocuplas. Las termocuplas tienen muchas ventajas y son los sensores más frecuentes para la medida de las temperaturas.

- Tienen un alcance de medida grande no solo en su conjunto que va desde -270 grados centígrados hasta 2000 grados centígrados, sino también en cada modelo particular.
- Su estabilidad a largo plazo es aceptable y su fiabilidad elevada.
- Para temperaturas bajas tienen mayor exactitud que las RTD, y por su tamaño tienen velocidades de respuesta rápidas.
- Al no necesitar excitación no tienen problemas de auto calentamiento.

2.4.3 Tipos de termocuplas. Aunque el termopar puede construirse con dos metales diferentes cualesquiera, la necesidad de una elevada sensibilidad (coeficiente de Seebeck alto), estabilidad a lo largo del tiempo, linealidad, etc. Ha llevado a que tan sólo se utilicen determinados materiales dando lugar a diferentes tipos.

Los termopares J, K, N y T se denominan termopares de metales base porque están hechos de metales comunes. El tipo *K* es muy utilizado por encima de 538°C debido a las limitaciones del termopar de tipo J. El cromo tiende a oxidarse ante la presencia de oxígeno lo que puede llevar a importantes derivas en el margen de 816 a 1038°C.

Los termopares *R*, *S* y *B* se conocen como termopares de metales nobles porque están hechos de platino y rodio. Se utilizan cuando las temperaturas a medir son muy elevadas y exceden los márgenes que se pueden alcanzar con los metales base o cuando hay problemas de oxidación o de corrosión.

Tabla 2. Tipos de termocuplas

Tipo	Composición (+) (-)	Campo de medida recomendado (°C)	Coef. Seebeck μV/°C @25°C	Atmósferas de aplicación
J	Fe - Constantán	0 – 760	51	Reductora, inerte
K	Chromel - Alumel	-200 – 1250	40	Inerte, subcero
N	Nicrosil - Nisil	0 – 1260	26	Oxidante
T	Cu - Constantán	-200 – 350	41	Oxidante, inerte reductora, subcero
R	13%Pt 87%Rh - Pt	0 – 1450	6	Oxidante, inerte Altas temp.
S	10%Pt 90%Rh - Pt	0 – 1450	6	Oxidante, inerte Altas temp.
B	30%Pt 70%Rh - 6%Pt 94%Rh	800 – 1800	9	Oxidante, inerte Altas temp.

Fuente: (VIGNOLA, 2006)

2.4.3.1 Termocupla tipo k. El termopar tipo k, de la Figura 18, es utilizada en el sistema de monitoreo de temperatura que presenta las siguientes características:

- Es apropiado para atmósferas inertes o reductoras.
- Compuesta de hierro y constantán.
- El rango de medida recomendado va de -200 a 720 grados centígrados.
- Es adecuado para bajas temperaturas (por debajo de 0°C).

Figura 18. Termocupla industrial tipo k

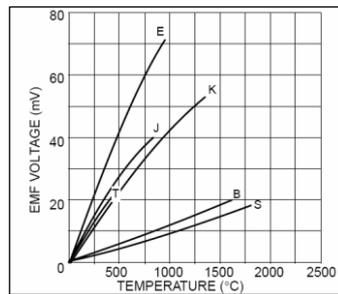


Fuente: (VIGNOLA, 2006)

2.4.4 *Curvas características de las termocuplas.* La tensión entre los terminales del termopar depende de los metales y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones.

La Figura 19 muestra las curvas de calibración de varios termopares suponiendo que la temperatura de una de las uniones está a 0°C, esta tensión es repetible pero no es lineal.

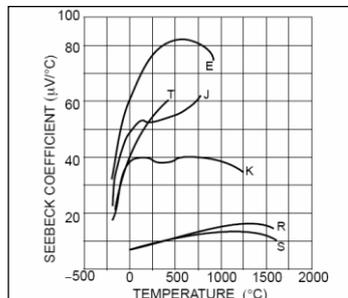
Figura 19. Curva de calibración a la unión de 0°C



Fuente: (VIGNOLA, 2006)

Para mostrar con más claridad esta no linealidad en la Figura 20 se ha representado la variación del coeficiente de Seebeck con la temperatura (VIGNOLA, 2006).

Figura 20. Variación del coeficiente Seebeck con la temperatura

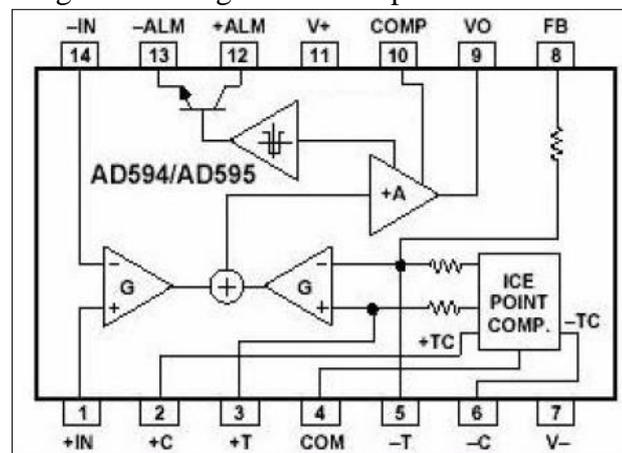


Fuente: (VIGNOLA, 2006)

2.5 Acondicionador de señal

Los circuitos integrados AD594 y AD595 se utilizan para la compensación de cero ó compensación de unión fría producida en las termocuplas tipo J y tipo K y a su vez como un amplificador para los voltajes generados por las termocuplas. El AD594/595 combina una referencia con un amplificador pre calibrado interno, para producir un alto nivel de exactitud ($10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$), dicha referencia la toma de la temperatura a la que él se encuentre, también incluye una alarma en caso de que las termocuplas se dañen o sean desconectadas de la parte en donde se esté censando la temperatura.

Figura 21. Diagrama del amplificador AD595



Fuente: (REYES, 2008)

La figura 21 muestra un diagrama del integrado AD595. La termocupla se conecta a los pines 1 y 14. Este es un amplificador que usa la temperatura local como su referencia.

El circuito de compensación desarrolla un voltaje igual a la deficiencia que se da en la temperatura local de la termocupla referenciada. Este voltaje se aplica entonces a un segundo preamplificador cuyo voltaje se suma con el voltaje del amplificador de entrada, el voltaje resultante se aplica entonces a la entrada de un amplificador de voltaje. A través del camino de compensación el amplificador principal mantiene un equilibrio en sus entradas.

En caso de que la termocupla esté abierta o desconectada, estas entradas se desequilibran la falta se detecta, y el circuito de detención de carga excesiva maneja un transistor n-p-n actualmente limitado que puede unirse con una alarma. Aunque estos circuitos integrados se calibran especialmente para una termocupla tipo j o una termocupla tipo k,

pueden usarse para otras termocuplas utilizando un proceso de recalibración (REYES, 2008).

2.6 Transferencia de calor

La transferencia de calor es un problema de gran interés para la comunidad involucrada en el estudio de los motores de combustión interna por las implicaciones que tienen las pérdidas de calor hacia las paredes sobre el rendimiento termodinámico del proceso de conversión de energía, por la relación que tiene sobre la elevación de la temperatura de la superficie y con ello la influencia sobre el comportamiento tribológico y la durabilidad de los componentes de la cámara de combustión y en particular del grupo cilindro pistón.

Además de esto, la cinética de las reacciones químicas que controlan la formación de emisiones, la formación del hollín en la cabeza del pistón y la aparición del golpeteo dependen en gran medida de la temperatura de los productos en la cámara, la cual generalmente varía ampliamente dentro del espacio y al pasar el tiempo dentro de la cámara de combustión (WILLIAN, 2008).

2.6.1 *Modos de transferencia de calor en un mci.* En un motor de combustión interna el flujo de calor es transferido de tres modos diferentes, que serán descritos a continuación:

2.6.1.1 *Conducción.* La transferencia de calor por conducción se da por el movimiento molecular entre sólidos y fluidos que están en reposo debido a los gradientes de temperatura.

En el motor de combustión interna la transferencia de calor por conducción se da a través de las paredes del cilindro, cabeza del pistón, bloque del motor, entre anillos del pistón y culata. Esta dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{q} = k * \Delta \tag{1}$$

En la ecuación N°1, \dot{q} representa el flujo de calor por unidad de área, k es la conductividad térmica del material y ΔT gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

2.6.1.2 Convección. La transferencia de calor por convección se da a entre fluidos en movimiento, también entre un fluido y un sólido en movimiento relativo. En el mci debido a que los fluidos en el interior del cilindro son turbulentos se usa el término de convección forzada, la cual se da entre los gases y las paredes del cilindro, válvulas y pistón; entre las paredes del cilindro y el refrigerante, también se da entre la superficie externa del motor y el medio ambiente. Está determinado por la siguiente ecuación.

$$q'' = h (T - T_W) \quad (2)$$

2.6.1.3 Radiación. Se produce a través de la emisión y la absorción de onda electromagnéticas, la longitud de onda en la que la energía es transformada en energía térmica es del rango visible (0.4 a 0.7 μm .), y el infrarrojo es (0.7 a 40 μm), la transferencia de calor se debe a las altas temperaturas de los gases de combustión a las paredes de la cámara de combustión, también se da al medio ambiente por todas las superficies calientes externas del motor. Esta dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{q} = \sigma * (T^4 - T_W^4) \quad (3)$$

Donde σ es el coeficiente de Stefan-Boltzmann cuyo valor es de $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$ (PIEDRAHITA, 2009).

2.7 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es una metodología estadística cuyo objetivo es averiguar si uno o varios factores influyen sobre una variable de interés y si existe una influencia cuantificar la misma.

En el campo de la ingeniería el diseño de experimentos es vital para la toma de decisiones con la finalidad de desarrollar sistemas robustos que sean afectados de forma mínima por fuentes de variabilidad externa (GUTIÉRREZ, 2004).

Según Montgomery el diseño de experimentos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe revelar cualquier causa importante de variación

- Debe tener una alta confiabilidad en cuanto a las respuestas obtenidas
- Debe mantener los costos de experimentación a un nivel razonable

2.7.1 *Principales conceptos en el diseño de experimentos.* En esta sección se hace un resumen de la terminología común utilizada en la teoría de los modelos de diseño de experimentos:

- Unidad experimental: son los objetos, individuos, intervalos de espacio o tiempo sobre los que se experimenta.
- Variable de interés: es la variable que se desea estudiar y controlar su variabilidad.
- Factor: son las variables independientes que pueden influir en la variabilidad de la variable de interés.
- Observación experimental: es cada medición de la variable respuesta.
- Niveles: cada uno de los resultados de un factor. Según sean elegidos por el experimentador o elegidos al azar de una amplia población se denominan factores de efectos fijos o factores de efectos aleatorios.
- Tratamiento: es una combinación específica de los niveles de los factores en estudio, son, por tanto, las condiciones experimentales que se desean comparar en el experimento.
- Tamaño del experimento: es el número total de observaciones recogidas en el diseño.

2.7.2 *Clasificación del diseño experimental.* Se han inventado y propuesto muchos diseños experimentales para poder estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Esta cantidad de diseños hace necesario saber cómo elegir el más adecuado para el problema que se quiere resolver, y por ende, conocer cómo es que se clasifican los diseños de acuerdo a su objetivo y a su alcance dentro del objetivo en cuestión.

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian nos llevan generalmente a cambiar de diseño son:

- a) El objetivo del experimento.
- b) El número de factores a controlar.

- c) El número de niveles que se prueban en cada factor.
- d) Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
- e) El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

A continuación se muestra de manera resumida la aplicación de los diseños.

- Diseños para comparar dos o más tratamientos
 - Diseño completamente al azar
 - Diseño de bloques completos al azar
- Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre una variable o más variables respuesta
 - Diseños factoriales 2^k
 - Diseños factoriales 3^k
 - Diseños factoriales 2^{k-p}

2.7.3 *Diseño completamente al azar DCA.* Este diseño consiste en la asignación de los tratamientos en forma completamente aleatoria a las unidades experimentales (individuos, grupos, parcelas, jaulas, animales, insectos, concentraciones, etc.). Debido a su aleatorización irrestricta, es conveniente que se utilicen unidades experimentales de lo más homogéneas posibles animales de la misma edad, del mismo peso, similar estado fisiológico; parcelas de igual tamaño, etc., de manera de disminuir la magnitud del error experimental ocasionado por la variación intrínseca de las unidades experimentales, este diseño es apropiado para experimentos de laboratorio, invernadero, animales de bioterio, etc. Se usa cuando los datos tienen pequeña variación, y además cuando el número de tratamientos también es pequeño.

2.7.4 *Aleatorización.* Para ejemplificar el proceso de aleatorización irrestricta de los tratamientos a las unidades experimentales, considérese la prueba de cuatro tratamientos, cada uno de ellos con cinco repeticiones. El proceso mencionado podría realizarse formando cuatro grupos de tarjetas, representando cada uno de ellos a un tratamiento en particular, digamos T1, repetido cinco veces, y así T2, T3 y T4, posteriormente mézclense las tarjetas en una urna y extraiga una tarjeta al azar, asignando el tratamiento

correspondiente a un animal, terreno, maceta, jaula o grupo de animales en que consista cada unidad experimental (GUTIÉRREZ, 2004).

2.8 Hipótesis

Una hipótesis es una respuesta hipotética a nuestra pregunta de investigación así podemos proponer como hipótesis que:

- La autoeficacia está relacionada con el rendimiento académico
- Un método es mejor que otro porque mejora el rendimiento de los estudiantes
- Niños y niñas son distintos en alguna característica
- Un aditivo es mejor que otro porque alarga la vida útil de un motor

La hipótesis es lo que esperamos concluir como resultado de nuestros análisis. Una hipótesis es una predicción, una afirmación que describe en términos específicos el resultado esperado de nuestra investigación.

El lugar más propio de las hipótesis es cuando se trata de confirmar alguna teoría (de un autor o escuela, o basada en el propio razonamiento), de la que, si es correcta, se desprenderán algunas conclusiones (sobre diferencias entre grupos o relaciones entre variables) que son las hipótesis que, si se confirman, nos permiten concluir que la teoría es correcta.

Dependiendo el tipo de investigación y para nuestro caso en estudio se puede plantear de la siguiente forma:

$$H_1: \text{Los tratamientos son todos iguales: } T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_k \quad (4)$$

$$H_0: \text{Alguno de los tratamientos es diferente: } T_1 \neq T_2 \neq T_2 \neq \dots \neq T_k \quad (5)$$

2.9 Análisis de varianza

Del inglés ANalysis Of VAriance, es un test estadístico ideado por Fisher, gran genio inglés que pensó hace más de 60 años como analizar datos simultáneamente cuando tenemos varios grupos y así poder ahorrar tiempo y dinero.

Este análisis por lo tanto permite comprobar si existen diferencias entre promedios de tres o más tratamientos y para ello se calcula el valor de F, y es equivalente al test de Student. El problema que desde ya tenemos que dejar establecido que cuando encontramos el valor de F sabremos si existen diferencias entre los grupos.

El análisis de la varianza permite también descomponer la variabilidad total en componentes independientes que puedan asignarse a causas distintas.

2.9.1 *Contraste Anova.* Podremos estimar la varianza de la población $\hat{\sigma}^2$ a través de los siguientes estimadores:

- a) *Estimar la varianza de la población $\hat{\sigma}^2$ a través de la varianza de cada una de las muestras.* Esta estimación se hace ponderando las varianzas muestrales. Si k es el número de muestras (en adelante denominaremos a cada “muestra” “tratamiento”, n_i es el tamaño de la muestra correspondiente a tratamiento i -ésimo y N es el número total de datos disponible en las distintas muestras, el estimador denominado “varianza residual” se define:

$$\hat{\sigma}^2 = S_R^2 = \frac{\sum_i^k (n_i - 1) S_i^2}{\sum_i^k (n_i - 1)} = \frac{\sum_i^k (n_i - 1) S_i^2}{N - k} \quad (6)$$

- b) *Estimar la varianza de la población $\hat{\sigma}^2$ suponiendo que los tratamientos no tienen ningún efecto (es decir que todos tienen la misma media).* En estas condiciones podremos estimar $\hat{\sigma}^2$ a través de la varianza de las medias muestrales:

$$\hat{\sigma}^2 = S_T^2 = \frac{\sum_i^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{k - 1} \quad (7)$$

- c) *De este modo, si se verifican la hipótesis de que los tratamientos no tienen ningún efecto.* Ambas estimaciones no podrán diferir mucho. En efecto, si la hipótesis es

cierta, el estadístico cociente de ambas varianzas muestrales se distribuye según una F. Es decir (GUTIÉRREZ, 2004).

$$\frac{S_T^2}{S_R^2} \propto F_{k-1, n-k} \quad (8)$$

Tabla 3. Análisis de Anova

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Contraste
Entre tratamientos	$S_T^2 = \frac{\sum_i^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{k - 1}$	$V_T = K - 1$	$S_T^2 = \frac{S_T}{K - 1}$	$\frac{S_T^2}{S_R^2}$
Dentro de tratamientos	$S_R^2 = \frac{\sum_i^k (n_i - 1) S_i^2}{\sum_i^k (n_i - 1)}$	$V_R = N - K$	$S_R^2 = \frac{S_R}{N - k}$	
Total		$V_D = N - 1$	$S_D^2 = \frac{S_D}{N - 1}$	

Fuente: (GUTIÉRREZ, 2004)

2.10 Balance térmico del motor

Usualmente los balances de energía en los motores se realizan bajo condiciones estacionarias estabilizadas, con lo que se garantizan condiciones estables y la repetitividad de los resultados. Sin embargo, los motores de automóvil siempre están funcionando en condiciones variables de operación, lo que resulta ser diferente de una secuencia de puntos de operación estabilizados. En tanto esto, la realización de un balance térmico del motor a partir de pruebas puntuales, aún representativas de condiciones de operación bajo ciclo de conducción, resulta ser no muy exacta y no da cuenta de las fluctuaciones causadas por los procesos transitorios. Paralelamente, los ciclos normalizados son representativos de la utilización media que se les da a los vehículos por parte de los usuarios.

Las mediciones acumuladas durante el ciclo pueden permitir profundizar más en los caminos tomados por la energía, en comparación con las valoraciones hechas mediante las mediciones realizadas en puntos de operación discretos y estabilizados. Puede agregarse además que la valoración de los flujos de energía por ciclo de conducción arrancando el motor en frío puede arrojar una información muy representativa y útil desde

el punto de vista normativo, para fijar estrategias de ahorro energético basadas en el ciclo de conducción.

En la literatura, de forma general, se reporta que en los motores alternativos la energía se descompone casi por partes iguales entre el trabajo útil, el calor evacuado con el refrigerante y el calor fugado con los gases de escape, con proporciones mayores de pérdidas a bajas cargas. Las proporciones varían mucho en función de la aplicación del motor, de su tecnología y también de la potencia del mismo. A mayores potencias se suele tener menos pérdidas relativas de calor disipado al refrigerante (MORALES, 2006).

Tabla 4. Calor aproximado evacuado en mci

Motor	Calor evacuado (KW)	Rpm (rpm/min)
Diésel	12	2500-3000
Gasolina	7	2500-3000

Fuente: (MORALES, 2006)

El calor transmitido del motor hacia el refrigerante está en función de las revoluciones del motor y de la evacuación de los gases de escape.

El calor transmitido al medio refrigerante a través de las paredes del cilindro, culata, pistón y de sus segmentos puede determinarse recurriendo a la ecuación.

$$Q_{ref} = G_{ref} C_{ref} (t_{sal} - t_{ent}) \quad (9)$$

Dónde:

G_{ref} Es la cantidad o masa de agente refrigerante que pasa por el motor

C_{ref} Calor específico del mismo

t_{sal} Temperatura del agente refrigerante a la salida del motor

t_{ent} Temperatura del agente refrigerante a la entrada del motor

La cantidad o masa de agente refrigerante que pasa por el motor en unidad de tiempo se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$G_{ref} = \frac{V_a * \gamma_a * 10^{-3}}{60} \text{ [kg/s]} \quad (10)$$

Dónde:

V_a = Flujo ó caudal del líquido de refrigeración [m^3/s]

γ_a = Densidad del agua [kg/m^3]

El flujo o caudal del líquido de refrigeración $0.011831 m^3/s$

La densidad del agua se toma como referencia $1000 kg/m^3$ ó $1 g/cm^3$

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Todas nuestras actividades asociadas con planear y realizar estudios de investigación tienen implicaciones estadísticas. Los principios que se presentan en este capítulo constituyen la base para la estructura de un estudio de investigación; a su vez, esa estructura define la función del estudio. Si la estructura es razonable, el estudio funcionará de manera adecuada y se obtendrá la información adecuada para la que fue diseñado.

Los principios estadísticos son los asociados con la recolección de aquellas observaciones que proporcionen la mayor cantidad de información para el estudio de la investigación de una manera eficiente. Incluyen el diseño de tratamientos, el control local de la variabilidad, el número de réplicas, el planteamiento de la hipótesis y la eficiencia en el experimento.

3.1 Diseño experimental

3.1.1 *Diseño del experimento.* Se han inventado y propuesto muchos diseños experimentales para poder estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren a diario. Esta cantidad de diseños hace necesario saber cómo elegir el más adecuado para la aplicación del experimento.

A continuación se muestra de manera resumida la aplicación de los diseños experimentales que se ajustan a nuestro estudio el mismo que está basado en comparar dos o más tratamientos.

- Diseño de bloques completos al azar
- Diseño en cuadrados latinos y grecolatinos
- Diseños completamente al azar o aleatorio simple

El diseño del experimento escogido es el Diseño Completamente al Azar o Aleatorio Simple (DCA). Este diseño está basado su aplicación en la asignación de los tratamientos en forma completamente aleatoria a las unidades experimentales (concentraciones). Debido a su aleatorización irrestricta, es conveniente que se utilicen unidades experimentales de lo más homogéneas posibles, de manera de disminuir la magnitud del error experimental, ocasionado por la variación intrínseca de las unidades experimentales, este diseño es apropiado para experimentos de laboratorio, invernadero, animales de bioterio, aves, etc. Es usado cuando los datos tienen pequeña variación, y además cuando el número de tratamientos también es pequeño.

Tratamientos. Se tendrá un total de 11 tratamientos que resultan de la combinación de las proporciones de refrigerante y agua utilizados en el sistema de enfriamiento del motor del vehículo, El sistema de refrigeración del vehículo trabaja con un galón de 4 litros o 4000 cm³ de refrigerante por lo tanto para realizar el experimento de medición de temperaturas se dividió en dosis iguales de 400 cm³ para de esta manera obtener la diferentes concentraciones de agua-refrigerante que se van a utilizar en el sistema de enfriamiento del motor.

Tabla 5. Preparación de las concentraciones

N° Concentraciones	Dosis		Concentraciones
	Agua (cm ³)	Glicol (cm ³)	Agua+Glicol
1	4000	0	4000 cm ³
2	3600	400	4000 cm ³
3	3200	800	4000 cm ³
4	2800	1200	4000 cm ³
5	2400	1600	4000 cm ³
6	2000	2000	4000 cm ³
7	1600	2400	4000 cm ³
8	1200	2800	4000 cm ³
9	800	3200	4000 cm ³
10	400	3600	4000 cm ³
11	0	4000	4000 cm ³
Total	22000 cm ³	22000 cm ³	44000 cm ³
Total galones utilizados	5,82 gal	5,82 gal	11,82 gal

Fuente: Autor

Aplicando el método de diseño completamente al azar o aleatorio simple se procedió a la codificación del experimento utilizado en la presente investigación.

Tabla 6. Codificación de los tratamientos

Orden	Codificación	Dosificación	Repeticiones		
			X1	X2	X3
1	T1	50-50	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}
2	T2	00-100	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}
3	T3	10-90	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}
4	T4	20-80	X _{1,4}	X _{2,4}	X _{3,4}
5	T5	30-70	X _{1,5}	X _{2,5}	X _{3,5}
6	T6	40-60	X _{1,6}	X _{2,6}	X _{3,6}
7	T7	70-30	X _{1,7}	X _{2,7}	X _{3,7}
8	T8	90-10	X _{1,8}	X _{2,8}	X _{3,8}
9	T9	100-00	X _{1,9}	X _{2,9}	X _{3,9}
10	T10	80-20	X _{1,10}	X _{2,10}	X _{3,10}
11	T11	60-40	X _{1,11}	X _{2,11}	X _{3,11}

Fuente: Autor

Para esta investigación no se consideraron las condiciones ambientales, las condiciones de manejo fueron homologadas, es decir un solo conductor y un solo estilo de conducción.

Los días que se realizaron las pruebas iguales, es decir se trabajaron a la misma hora para los 11 tratamientos que se aplicó al sistema de refrigeración del motor.

Unidades experimentales. Para su desarrollo se aplicó 11 tratamientos (concentraciones) y 3 repeticiones cada una (unidad experimental), dándonos un total de 33 unidades de salida y 33 unidades de entrada, considerando cada unidad experimental de 60 unidades o datos registrados por día.

Figura 22. Unidades experimentales

N°	Concentracion: 50 - 50 (Refrigerante - Agua)%					
	T. Entrada			T. Salida		
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	23	31	20	27	35	23
2	31	36	27	35	41	30
3	38	41	34	41	45	36
4	44	66	41	47	70	44
5	50	70	61	52	75	64
6	54	69	64	57	75	67
7	60	71	67	63	77	71

Unidades experimentales a la entrada y salida del motor

Fuente: Autor

3.1.2 Hipótesis. Con el diseño de un sistema que permita medir y generar un reporte de la temperatura tanto a la entrada como a la salida del motor, se podrá llevar a cabo el monitoreo a través del software implementado en la plataforma de LabView, almacenando la información en archivos y una interface que permita observar los datos adquiridos para un posterior análisis, realizando pruebas desde el motor hacia el computador.

3.1.3 Planteamiento de la hipótesis. En este proyecto se plantearon dos hipótesis H1 y HO que al final del estudio se rechazara o aceptara dependiendo de los resultados del análisis. Para esto deben estar bien definidas la variable independiente y la variable dependiente.

Variable independiente. La causa por la cual se desea almacenar la información es para llevar un registro de la temperatura que es importante ya que esta variable interviene en diversos fenómenos que son influidos en la relación de la mezcla, en la variación de la transmisión de calor, el rendimiento, en la expulsión de gases de escape, etc.

Variable dependiente. El resultado es que mediante el instrumento virtual realice automáticamente las mediciones, remplazando la actividad manual, permitiendo agilizar la experimentación y en tener certeza en los datos recogidos.

H1 Las diferentes concentraciones de agua-refrigerante no influyen en el comportamiento de la temperatura y por lo tanto en la evacuación del calor en el motor, se acepta debido a que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos ($T_1=T_2=.....T_{11}$).

HO Las diferentes concentraciones de agua-refrigerante influye en el comportamiento de la temperatura y la evacuación del calor en el motor, por lo tanto se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre tratamientos ($T_1\neq T_2\neq.....\neq T_{11}$).

Una vez establecido la hipótesis se procede a aplicar el esquema del experimento, utilizado en la investigación se distribuye bajo un Diseño Completamente al Azar DCA

el mismo que nos indica el orden de aplicación de cada una de las concentraciones que debemos realizar al motor para evaluar la temperatura.

Tabla 7. Orden de aplicación de los tratamientos

Orden de Trat.	Concentraciones Agua-Glicol	Repeticiones		
		X1	X2	X3
1	50-50	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}
2	00-100	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}
3	10-90	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}
4	20-80	X _{1,4}	X _{2,4}	X _{3,4}
5	30-70	X _{1,5}	X _{2,5}	X _{3,5}
6	40-60	X _{1,6}	X _{2,6}	X _{3,6}
7	70-30	X _{1,7}	X _{2,7}	X _{3,7}
8	90-10	X _{1,8}	X _{2,8}	X _{3,8}
9	100-00	X _{1,9}	X _{2,9}	X _{3,9}
10	80-20	X _{1,10}	X _{2,10}	X _{3,10}
11	60-40	X _{1,11}	X _{2,11}	X _{3,11}

Fuente: Autor

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS. Este es un programa estadístico informático muy usado en las ciencias sociales y en las empresas de investigación de mercado. Es uno de los programas estadísticos más conocidos teniendo en cuenta su capacidad para trabajar con grandes bases de datos y un sencillo interface para la mayoría de los análisis.

Desde su introducción en 1968, SPSS ha sido un popular paquete de software estadístico para los investigadores universitarios, agencias gubernamentales, y empresas consultoras.

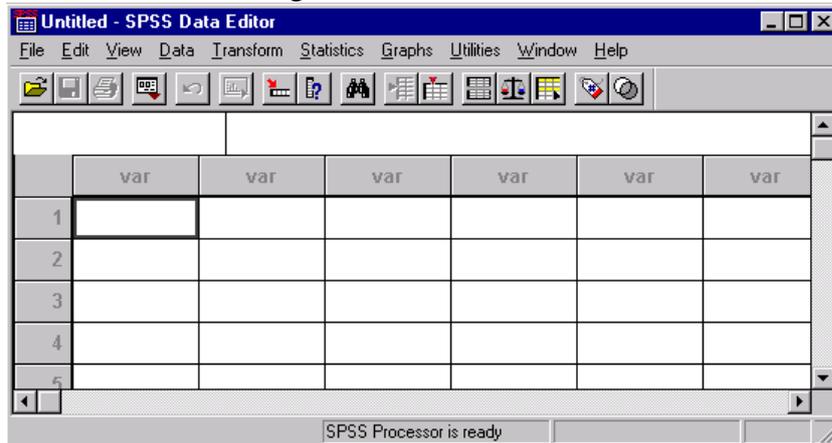
Este software potente y de fácil uso es compatible con los sistemas operativos Windows, Macintosh y Linux. Una vez cargados los datos, SPSS puede llevar a cabo una amplia gama de análisis estadísticos con una serie de menús desplegables permitiendo obtener resultados inmediatos.

Sin embargo, tiene un beneficio adicional de permitir a los usuarios guardar los procedimientos de uso frecuente como los programas que pueden ser modificados y utilizados de forma repetida.

El paquete SPSS consta de dos ventanas básicas que se abren nada más inicializar la aplicación, estas ventanas reciben el nombre de editor de datos y editor de resultados.

La ventana editor de datos contiene los datos que van a ser analizados y la ventana editor de resultados va a ir almacenando los informes estadísticos solicitados.

Figura 23. Entorno SPSS



Fuente: <http://www.dev-out.cl/sites/default/files/Manual%20SPSS.pdf>

3.2 Localización y trazado de la ruta

Figura 24. Ruta de recorrido



Fuente: Autor

El trazado de la ruta se lo realizó en la ciudad de Riobamba, esta ruta contempla vías rectas, subidas y bajadas prolongadas, inicia en las afueras de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y continúa su recorrido pasando por las lagunas de Colta hasta el kilómetro 60 de la vía a Cuenca. Para la prueba se lo registra la temperatura tanto a la ida como al regreso del recorrido de la ruta.

Este recorrido es de aproximadamente una hora 15 minutos, la distancia aproximada es 100 kilómetros, en este lapso de tiempo se registra la temperatura que alcanza el motor, cuyo horario de prueba fue de 07:00 am a 08.00 am.

3.3 Componentes del motor

3.3.1 *Características del motor.* Las características del motor para realizar las pruebas de monitoreo y registro de la temperatura en el sistema de refrigeración del motor son las siguientes.

Tabla 8. Datos técnicos del vehículo

Marca	Chevrolet
Año	2010
Modelo	Aveo Emotion
Tipo de motor	4CIL DOHC 16V
Relación Compresión	9.5:1
Diámetro (mm)	79
Carrera (mm)	81.4
Alimentación	MPFI
Potencia (Hp @ RPM)	103 @ 6.000
Torque (Kg-m (Nm) @ R.P.M.)	14.79 @ 3.600

Fuente: <http://www.chevrolet.com.ec/aveo-emotion-auto-sedan/especificaciones.html>

3.3.2 Características del sistema de refrigeración

- Bomba de líquido refrigerante:

Tipo de bomba: centrífuga

Diámetro de tubería de succión y descarga: 3/8"=10 mm

- Radiador:
Material de las aletas: Aluminio
Material del radiador: Aluminio
- Termostato:
Temperatura a la que comienza la apertura de la válvula: 82°C.
Temperatura de apertura total de la válvula: 95°C.
- Líquido refrigerante:
Agua natural
Refrigerante (glicol concentrado)
Concentraciones de agua-refrigerante

3.4 Elementos utilizados

Para realizar la medición de la temperatura dentro de los rangos establecidos se pueden utilizar diferentes tipos de elementos. Sin embargo, considerando que se quiere electrónicamente monitorear el sistema de refrigeración se necesita que cumpla con algunas características:

- Tener como salida una señal eléctrica.
- Cubrir el intervalo de temperatura acorde a la aplicación.

Para la implementación del sistema de monitoreo y adquisición de datos de temperatura a la entrada y salida del motor se utilizó los siguientes componentes

Tabla 9. Componentes utilizados

Material	Cantidad	Característica
Termocuplas	2	Tipo k
Abrazaderas	4	1.1/4"
Refrigerante (Glicol)	12 gal	Concentrado
Agua	12 gal	Natural
Aislantes térmicos	2	Tipo tubular
NI myDAQ	1	National Instruments
Acondicionadores de señal	2	AD595

Fuente: Autor

3.4.1 *Los sensores (termocupla).* Considerando que algunos de estos sensores tales como el termómetro de vidrio, termómetro bimetalico y termómetro de bulbo y capilar, no entregan una señal eléctrica no sirve para la presente aplicación y por lo tanto no se analiza los mismos.

Para cada tipo de aplicación hay que escoger el tipo de termopar que más se ajuste a las necesidades del diseño. Los factores que determinan la elección en orden de importancia son:

Margen de temperaturas a medir

Compatibilidad con la atmósfera del entorno del termopar o termocupla

Costo

Tensión por grado de temperatura

Los dispositivos elegidos para el monitoreo de la temperatura del sistema de refrigeración del motor del automóvil fueron las termocuplas tipo k, ya que presentan un rango de medición adecuado.

3.4.2 *Refrigerante.* El agua se utiliza en el sistema de enfriamiento para transferir el calor, pero el agua pura como fluido refrigerante es muy perjudicial para el sistema de refrigeración del motor por lo tanto es recomendable mezclarlo con ciertos Glicoles.

La mayoría de los refrigerantes convencionales utilizan glicol etileno. También se puede utilizar glicol propileno. Una mezcla de agua con glicol etileno o glicol propileno proporcionan similar protección contra la congelación y la ebullición, el glicol en el refrigerante ayuda a proteger contra las siguientes condiciones:

- Ebullición y congelación
- Cavitación de la bomba de agua

En cuanto al tipo de refrigerante a utilizaren el sistema de refrigeración, se ha escogido la marca Prestone ya que es la que más normas internacionales y estándares de calidad cumple, además es la marca de mayor demanda en el mercado nacional en cuanto a refrigerantes para vehículos.

El anticongelante/refrigerante Prestone® satisface o supera los requerimientos de desempeño de las siguientes normas:

- ASTM D3306
- SAE J1034
- GM 1825M
- Ford ESE M97B44-A
- Chrysler MS7170
- General Services Administration CID A-A-52624

El anticongelante/refrigerante Prestone® Extended Life 5/150 satisface o supera las siguientes normas y especificaciones de la industria automotriz:

- GM 6277M
- Ford WSS-M97B44-D

Cuando se ha puesto a prueba en ASTM D 1384, D 4340, D 2570, y D 2809, el anticongelante/refrigerante Prestone® Extended Life 5/150 satisface las propiedades químicas, físicas y características de desempeño requeridas por las siguientes normas:

- GM 1825M
- GM 1899
- Ford WSE-M97B44-A
- Ford ESE-M97B44-B
- DaimlerChrysler MS 7170 and MS 9769
- General Services Administration A-A-52624
- ASTM D 3306
- SAE J 1034
- ASTM D 4985

El anticongelante/refrigerante Prestone® LowTox® satisface o supera los requerimientos de desempeño de las siguientes normas:

- ASTM D5216

También satisface los requerimientos de protección contra la corrosión de:

- ASTM D3306
- ASTM D4985

- GM 1899
- GM 1825
- ASTM D1384
- ASTM D4340
- ASTM D2570
- ASTM D2809

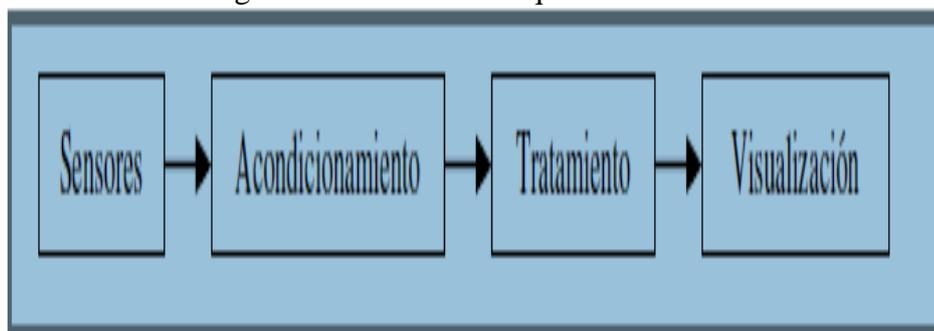
3.4.3 *Sistema de adquisición de datos.* Antes de que un sistema de medición basado en computador pueda medir una señal física, como el caudal, un sensor o transductor debe convertir la señal física en una eléctrica, sea esta de voltaje o de corriente.

Un sistema de adquisición de datos es el instrumento que sirve para obtener datos en un proceso en tiempo real y cumple con las siguientes etapas:

- Los sensores o transductores convierten un fenómeno o magnitud física en una magnitud o señal eléctrica.
- Un sistema de acondicionamiento de señal que va a aislar, filtrar o convertir y-o amplificar la señal.
- Un sistema de adquisición de datos convierte la señal analógica en digital o viceversa.
- Un sistema de tratamiento que va a transformar la información digital presentada por el bloque anterior, en información útil al usuario.

El sistema de adquisición de datos se va a componer de la siguiente forma:

Figura 25. Sistema de adquisición de datos



Fuente: (BOLTON, 2006)

Este caso se ha optado por trabajar con una tarjeta de adquisición de datos de la National Instrumental.

NI myDAQ es un dispositivo de adquisición de datos cuyo software está basado en LabView, permitiendo a los estudiantes manejar señales del mundo real.

Este dispositivo es ideal para la medición de sensores, combinado con NI LabView sobre una computadora, los estudiantes pueden analizar y procesar señales adquiridas y realizar procesos de controles simples y complejos.

LabView constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabView se resumen en las siguientes especificaciones:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabView es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o Basic.

Sin embargo, LabView se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabView emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabView no se requiere gran experiencia en programación, ya que se

emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

LabView posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabView incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos.

3.5 Diseño e Implementación

En esta sección se explican el desarrollo y los elementos que componen el sistema, el acondicionamiento de la señales de entrada que utiliza un circuito integrado de Analog Devices (AD595) específico para termopares, dos termocuplas tipo k, diseño de software de adquisición y almacenamiento de información. Además se dará a conocer en forma general los equipos que se utilizaron para la construcción del módulo de monitoreo de temperatura y su implementación en el vehículo.

3.5.1 Montaje de las termocuplas. Previo a las pruebas realizadas se hizo una limpieza del sistema de refrigeración del vehículo, con agua y detergente posteriormente se realizó un drenaje total del fluido refrigerante del sistema de refrigeración, se desmontó el radiador, la bomba de agua, el termostato para verificar su normal funcionamiento y se sustituyó el juego de mangueras ya que estas presentaban recalentamiento.

En el radiador se realizó la adaptación de un tubo en la parte de salida del fluido refrigerante para la conexión de las mangueras para la cual utilizaremos algunas herramientas que describiremos a continuación.

Utilizaremos la amoladora angular para cortar la plancha, pulir irregularidades y quitar el exceso de suelda, también la amoladora recta que es de uso muy versátil, proporciona resultados precisos.

Por lo general las amoladoras cuentan con los discos compuestos para material blando, también se utilizan para pulido y para sacar brillo de metales.

Figura 26. Amoladora



Fuente: Autor

Suelda oxicorte. Se utilizará la suelda oxicorte para soldar la plancha de metal ya que tiene un espesor relativamente fino que no es posible soldar con la suelda por arco eléctrico que posteriormente nos ayudará a acoplar las termocuplas en el sistema.

El oxicorte consta de dos etapas: en la primera, el acero se calienta a alta temperatura de 900°C aproximadamente con la llama producida por el oxígeno y un gas combustible; en la segunda, una corriente de oxígeno corta el metal y elimina los óxidos de hierro producidos.

Figura 27. Suelda oxicorte



Fuente: Autor

Taladro de columna. Con este taladro realizaremos el mecanizado de los dos agujeros en el tubo que se diseñó para montar los sensores. El taladro de columna es la versión estacionaria del taladro convencional. Realiza la función de un taladro insertado en el soporte vertical. Las diferencias de estos taladros van en función de la potencia del motor y de la longitud de la columna.

Figura 28. Taladro de columna



Fuente. Autor

Construcción de los agujeros. Para la construcción de este acople utilizamos la oxicorte para dar forma a esta pieza y para los detalles se utilizó una amoladora recta para dar forma a lugares de difícil acceso y dejar un mejor acabado en nuestro acople, para los agujeros se utilizó un taladro de columna.

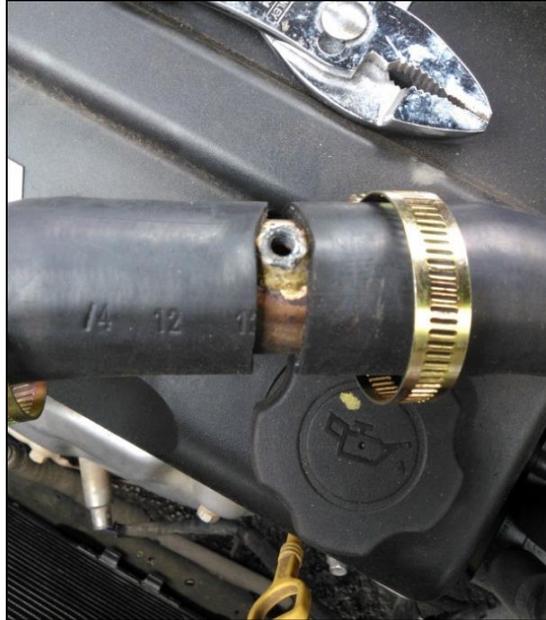
Figura 29. Acople del tubo



Fuente: Autor

Para colocar una termocupla (calibrado) en cada una de las mangueras se realizó una adaptación en la mitad de la manguera se colocó el tubo con el agujero donde se instaló la termocupla

Figura 30. Adaptación de las mangueras



Fuente: Autor

Tanto en la entrada como en la salida del radiador se instalaron las termocuplas las cuales son las encargadas de registrar las temperaturas del motor una vez que este entre en funcionamiento.

Una vez montada las mangueras con sus respectivas abrazaderas se colocaron las termocuplas a la entrada y salida del motor.

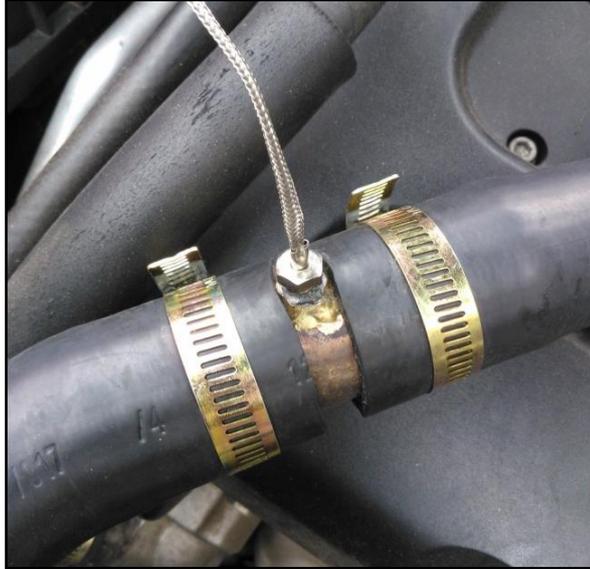
Figura 31. Montaje de las mangueras



Fuente: Autor

Se utilizó un tipo de pegamento térmico, éste trabaja en función del calor, se solidifica a altas temperaturas, su función es evitar filtraciones de refrigerante en las conexiones de la termocuplas y en las uniones del tubo.

Figura 32. Termocupla instalada a la salida del motor



Fuente: Autor

Se realizaron pruebas a las termocuplas instaladas y también se verificó si las termocuplas sellaban correctamente al aumentar la temperatura y presión de fluido refrigerante.

Se procedió a llenar el sistema de refrigeración con una concentración de 50-50 agua-refrigerante, arrancó el motor y realizó un recorrido para verificar fugas en el sistema asegurándose que se encuentre presurizado.

3.5.2 Simulación física del circuito. Es necesario recrear físicamente el sistema y que mejor si es con la ayuda de un protoboard; un protoboard es un tablero con circuitos internos preestablecidos fijos, que facilita la conexión de los diversos elementos electrónicos.

Figura 33. Simulación del circuito

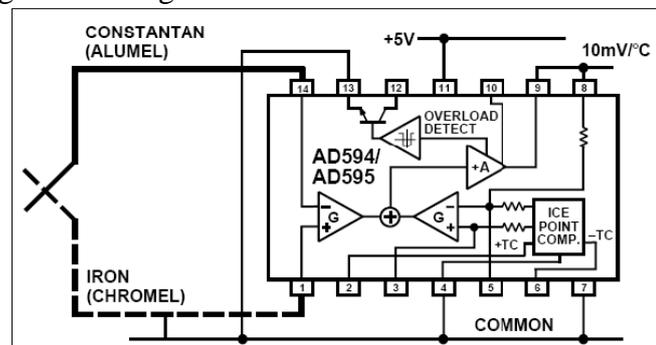


Fuente: Autor

El objetivo de esta actividad es detectar alguna anomalía de funcionamiento de la termocupla y el acondicionador operacional siendo este el paso previo y necesario para la construcción final del dispositivo.

3.5.3 Acondicionamiento de señales. Para esta parte se necesitaba conocer las conexiones del acondicionador de señal el AD595, por lo que se recurrió a su datasheet, el cual muestra todo lo requerido para poder realizar la conexión para el circuito de acondicionamiento de señal y la termocupla.

Figura 34. Diagrama del acondicionador de señal AD595

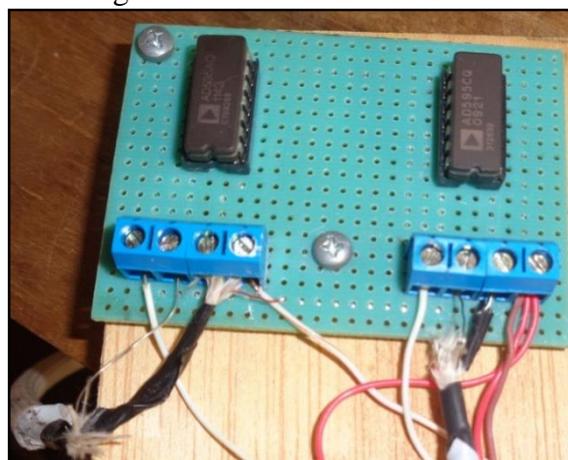


Fuente: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD549.pdf

Como primer paso para la conexión, definimos los pines a utilizar del AD595 y declaramos las variables que se van a utilizar en el programa.

Con el diagrama mostrado en la figura anterior, se hizo la conexión para el circuito de acondicionamiento de señal AD595 y del sensor de temperatura.

Figura 35. Conexión del AD595



Fuente: Autor

Se utilizo dos acondicionadores de señal el AD595 para filtrar las señales antes de que el dispositivo DAQ las convierta en información digital.

3.6 Diseño de la interfaz de usuario

Para desarrollar este proyecto se utilizó la versión profesional de LabView 2009 por su amplia gama de librerías, que permite ejecutar tareas de programación de forma fácil y dinámica, que LabView emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

LabView constituye un revolucionario sistema de programación para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos, Las ventajas que proporciona el empleo de este software se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabView tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial.

Es muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

Para el empleo de LabView no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones, Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

Este software posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabView incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB, DAQ, y comunicación serie, análisis, presentación y guardado de datos.

Los programas desarrollados mediante LabView se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real, sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales.

Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs.

Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques, las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs.

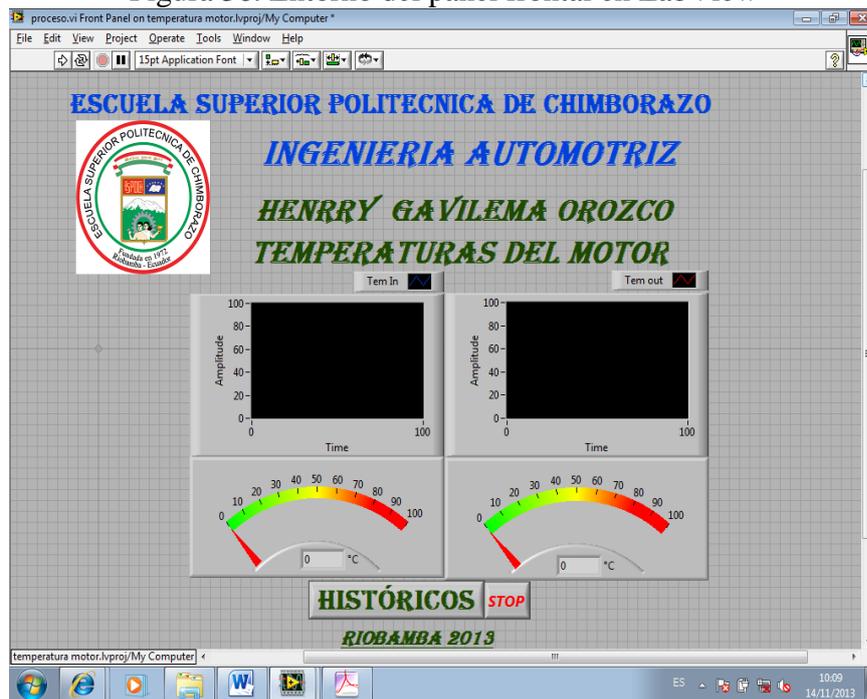
LabView posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc. Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle for, while, case,...).

3.7 Interfaces desarrolladas en LabView

Mediante LabView se desarrolló la interfaz para el monitoreo del módulo de temperatura desde la PC y la tarjeta de adquisición de datos NI myDAQ. Esta aplicación está dividido en dos partes principales, el diagrama de bloques del acondicionamiento y el panel frontal.

3.7.1 Panel frontal. Aquí es donde el usuario y el programa interactuarán través de un panel gráfico, al oprimir el botón históricos puede guardar un registro en el disco duro o en cualquier dispositivo de almacenamiento de datos, con nombre propio al proceso de monitoreo de la temperatura de la máquina durante un tiempo de prueba y análisis. Cabe recordar que en cualquier momento de ejecución del programa se podrá detener seleccionando el botón (STOP) y volver a arrancar con el icono de la parte izquierda.

Figura 36. Entorno del panel frontal en LabView

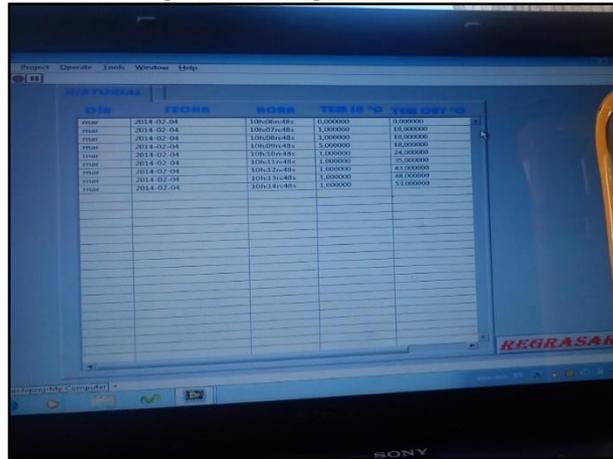


Fuente: Autor

Esta pantalla permite realizar las siguientes opciones:

- Observar la temperatura real recibida desde las termocuplas instaladas a la entrada y salida del motor.
- Observar el comportamiento gráfico de la temperatura real del fluido refrigerante.
- Generar un registro de la temperatura del motor del tratamiento que se está realizando y además el registro de todo el proceso de experimentación.
- La hora y fecha que se realizó la prueba.
- Detener el monitoreo de la temperatura del motor sin para el vehículo
- Número de mediciones realizadas por el programa.

Figura 37. Registro de datos

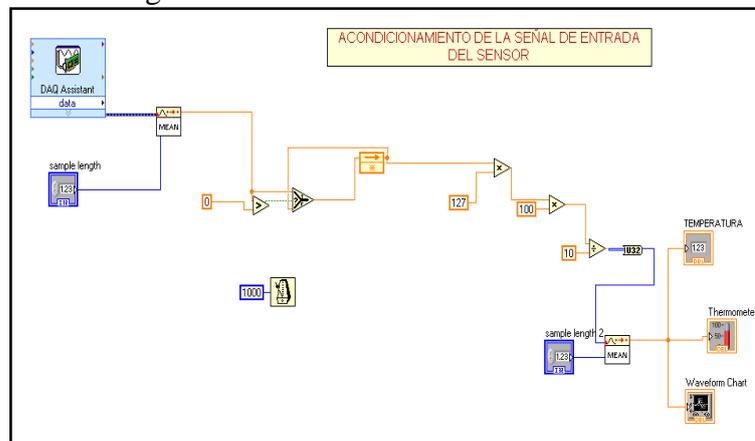


Fuente: Autor

Es decir este panel está conformado por todos los SubVís creados los cuales permiten realizar las tareas en conjunto para el control del módulo de monitoreo de temperatura, donde todas las señales que ingresan y salen de LabView se las realiza a través de la herramienta Daq Asistent, la cual permite adquirir las señales ya sean análogas o digitales para su posterior procesamiento.

3.7.2 Diagrama de bloques del acondicionamiento. Este VI permite acondicionar la señal de entrada proveniente de la termocupla a través de la Ni MyDAQ el cual se encarga de amplificar la señal a un valor adecuado para su posterior muestreo. Como la temperatura a monitorear para fines experimentales va desde 0 a 200 grados centígrados aproximadamente, los controles del VI se encargan de realizar las muestras por cada rango de temperatura en mili voltio ingresado.

Figura 38. Acondicionamiento de la señal

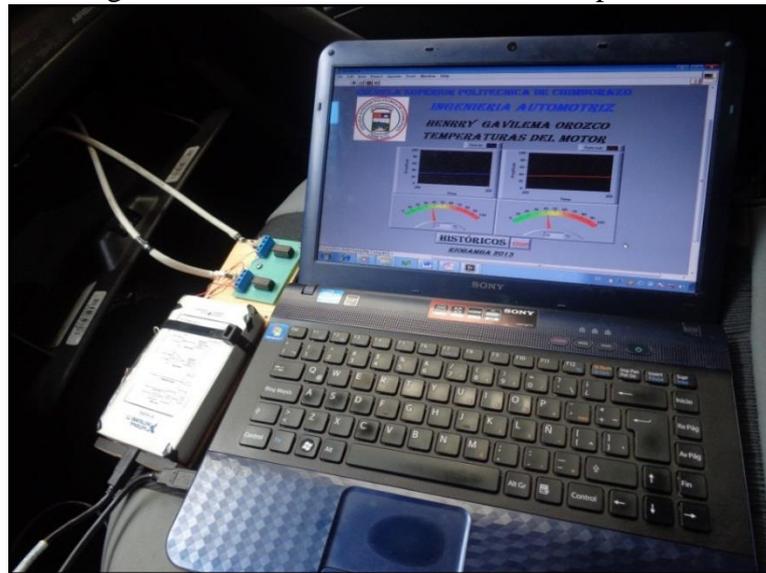


Fuente: Autor

La herramienta Select permite comparar si la señal ingresada es mayor a cero, esto permite evitar que se ingresen señales negativas causadas por interferencias o ruido en las uniones de la termocupla con la tarjeta de adquisición de datos, estas interferencias se corrigen con los acondicionadores de señal.

Concluido con la programación se tiene el dispositivo de monitoreo y adquisición de datos de la temperatura a la entrada y salida del motor.

Figura 39. Sistema de monitoreo de temperatura



Fuente: Autor

3.7.3 Pruebas de funcionamiento. Antes de cualquier aplicación es necesario realizar pruebas con el fin de observar si todos sus componentes y/o elementos se encuentren en buen estado de funcionamiento y así poder obtener correctamente los datos de los sensores.

Para que el módulo entre en funcionamiento se debe realizar los siguientes pasos:

- Conectar la NI myDAQ con la PC y procede a encender el sistema mediante el botón de arranque.
- Enseguida se visualiza la temperatura que la termocupla están marcando a través de un indicador de LabView.
- Al correr el programa en LabView Se visualiza en un indicador grafico de como el sistema de enfriamiento entra en funcionamiento y la señal que entregan los

sensores de temperatura es la correcta cuando se ha iniciado el calentamiento del motor.

Procedemos a observar en el panel frontal las gráficas al igual que el registro de temperatura para realizar la evaluación respectiva del monitoreo.

En el cuadro general de control hacer clic en históricos para generar una hoja en Excel que nos mostrara las lecturas de temperatura registradas por el sistema de monitoreo.

Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas para determinar el comportamiento del módulo y sus componentes principales y la interfaz realizada en LabView, así también se realizó pruebas para la medición de la señal que entregan los sensores de temperatura que se encuentran a la entrada y salida del motor.

3.7.4 Medición y monitoreo. En todo proceso industrial es muy elemental la generación de hojas de reportes de datos del sistema pues permiten obtener información útil que será observada en el historial de variables medidas, permitirá construir sus gráficas respectivas y realizar un análisis de la información recolectada.

Figura 40. Hojas de registro

DÍA	FECHA	HORA	TEM IN °C	TEM OUT °C
lun	2013-10-07	07h:01m:02s	0,000000	0,000000
lun	2013-10-07	07h:02m:03s	23,000000	27,000000
lun	2013-10-07	07h:03m:03s	31,000000	35,000000
lun	2013-10-07	07h:04m:03s	38,000000	41,000000
lun	2013-10-07	07h:05m:03s	44,000000	47,000000
lun	2013-10-07	07h:06m:03s	50,000000	52,000000
lun	2013-10-07	07h:07m:24s	54,000000	57,000000
lun	2013-10-07	07h:08m:24s	60,000000	63,000000
lun	2013-10-07	07h:09m:24s	65,000000	68,000000
lun	2013-10-07	07h:10m:24s	67,000000	71,000000
lun	2013-10-07	07h:11m:24s	63,000000	69,000000
lun	2013-10-07	07h:12m:24s	65,000000	70,000000
lun	2013-10-07	07h:13m:24s	65,000000	68,000000
lun	2013-10-07	07h:14m:24s	60,000000	65,000000
lun	2013-10-07	07h:15m:24s	61,000000	64,000000
lun	2013-10-07	07h:16m:24s	63,000000	68,000000
lun	2013-10-07	07h:17m:24s	64,000000	70,000000
lun	2013-10-07	07h:18m:24s	63,000000	70,000000
lun	2013-10-07	07h:19m:24s	64,000000	70,000000
lun	2013-10-07	07h:20m:24s	63,000000	69,000000
lun	2013-10-07	07h:21m:24s	64,000000	69,000000
lun	2013-10-07	07h:22m:24s	63,000000	69,000000
lun	2013-10-07	07h:23m:24s	69,000000	74,000000
lun	2013-10-07	07h:24m:24s	70,000000	77,000000
lun	2013-10-07	07h:25m:24s	72,000000	78,000000
lun	2013-10-07	07h:26m:24s	70,000000	76,000000
lun	2013-10-07	07h:27m:24s	66,000000	73,000000
lun	2013-10-07	07h:28m:24s	68,000000	74,000000
lun	2013-10-07	07h:29m:24s	73,000000	79,000000

Fuente: Autor

En esta investigación se generara una hoja de registro por cada día de prueba que se realizó para su posterior análisis y tratamiento estadístico de los datos.

En el panel frontal encontraremos un cuadro general de control en él hallaremos un Push Button con nombre de históricos que nos permite generar la hoja de reporte en Excel.

En el ANEXO (A) se detallan los resultados obtenidos de las mediciones de temperatura a la entrada y salida del motor de los distintos tratamientos aplicados al sistema de refrigeración del vehículo las mismas que se analizaran en el Capítulo IV.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La finalidad de medir la temperatura a la entrada y salida del motor es determinar la concentración más ideal a la cual en motor trabaja eficientemente utilizando para ello cálculos estadísticos con los cuales se analizará el comportamiento de la temperatura en las diferentes aplicaciones de concentración de agua-refrigerante.

4.1 Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza es una técnica que se puede utilizar para verificar si las medias de dos o más poblaciones son iguales. La prueba se basa en una muestra única, obtenida a partir de cada población. El análisis de varianza puede servir para determinar si las diferencias entre las medias muestrales revelan las verdaderas diferencias entre los valores medios de cada una de las poblaciones, o si las diferencias entre los valores medios de la muestra son más indicativas de una variabilidad de muestreo.

Los datos para el análisis de varianza se obtienen tomando una muestra de cada población y calculando la media muestral y la varianza en el caso de cada muestra, existen dos supuestos básicos que se deben satisfacer antes de que se pueda utilizar el análisis de varianza.

- Las muestras deben ser de tipo aleatorio independiente.
- Las muestras deben ser obtenidas a partir de poblaciones normales

La varianza de una muestra es el promedio de las desviaciones elevadas al cuadrado de la media del grupo.

$$\text{varianza de la muestra} = s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Cabe observar que se debe utilizar n-1, ya que se está trabajando con datos muestrales.

Con la aplicación de este método de análisis se determina si infieren o no las diferentes concentraciones en la temperatura del motor y de esta manera aceptamos o rechazamos la hipótesis planteada.

Tabla 10. Registro de temperaturas 50-50 agua refrigerante

Concentracion: 50 - 50 (Agua- Refrigerante)									
N°	T. Entrada			T. Salida			Diferencia (Ts-Te)		
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	23	31	20	27	35	23	4	4	3
2	31	36	27	35	41	30	4	5	3
3	38	41	34	41	45	36	3	4	2
4	44	66	41	47	70	44	3	4	3
5	50	70	61	52	75	64	2	5	3
6	54	69	64	57	75	67	3	6	3
7	60	71	67	63	77	71	3	6	4
8	65	72	70	68	79	74	3	7	4
9	67	75	74	71	81	78	4	6	4
10	63	76	77	69	83	81	6	7	4
11	65	79	80	70	86	84	5	7	4
12	65	81	82	68	90	87	3	9	5
13	60	83	84	65	92	90	5	9	6
14	61	80	85	64	89	91	3	9	6
15	63	81	80	68	89	86	5	8	6
16	64	79	81	70	87	86	6	8	5
17	63	82	74	70	89	81	7	7	7
18	64	89	70	70	95	76	6	6	6
19	63	80	77	69	89	80	6	9	3
20	64	80	77	69	87	82	5	7	5
21	63	81	77	69	90	83	6	9	6
22	69	81	75	74	89	83	5	8	8
23	70	88	75	77	95	81	7	7	6
24	72	80	75	78	90	81	6	10	6
25	70	75	74	76	84	79	6	9	5
26	66	77	73	73	86	79	7	9	6
27	68	77	68	74	84	74	6	7	6
28	73	79	68	79	88	74	6	9	6
29	73	77	72	81	86	77	8	9	5
30	73	76	73	81	85	79	8	9	6
31	71	77	73	80	86	77	9	9	4
32	74	79	75	81	87	79	7	8	4
33	74	87	79	80	92	83	6	5	4
34	75	84	80	83	94	87	8	10	7
35	77	84	82	84	91	88	7	7	6
36	73	87	85	81	93	91	8	6	6
37	67	86	88	76	96	93	9	10	5
38	70	77	87	77	86	94	7	9	7
39	72	69	86	79	78	93	7	9	7
40	74	62	86	81	71	94	7	9	8
41	81	57	86	88	65	92	7	8	6
42	83	57	86	91	65	95	8	8	9
43	80	60	86	86	66	94	6	6	8
44	77	61	85	83	68	93	6	7	8
45	82	63	79	88	69	88	6	6	9
46	89	59	80	98	66	86	9	7	6
47	82	59	80	91	66	87	9	7	7
48	80	62	78	87	70	84	7	8	6
49	76	64	80	84	71	86	8	7	6
50	72	71	84	81	75	89	9	4	5
51	77	76	87	83	81	92	6	5	5
52	77	73	88	86	79	95	9	6	7
53	77	69	83	84	75	91	7	6	8
54	75	75	88	83	80	95	8	5	7
55	68	80	83	77	85	91	9	5	8
56	63	76	85	70	84	95	7	8	10
57	66	72	83	71	82	90	5	10	7
58	70	67	88	76	76	94	6	9	6
59	69	70	81	76	78	92	7	8	11
60	62	72	76	69	81	83	7	9	7

Fuente: Autor

De los datos registrados en la tabla N°10 de las temperaturas, calculamos la varianza muestral o la media aritmética de los tres días de prueba para cada tratamiento. Los datos de temperatura del motor con cada tratamiento se encuentran registrados en el Anexo A (Registro de datos experimentales de temperatura a la entrada y salida del motor).

Cálculos para el primer tratamiento con una concentración de 50-50 agua- refrigerante calculamos la varianza muestral o la media aritmética de los tres días de prueba.

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} \quad (11)$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_1 = \frac{4 + 4 + 3 + 3 + 2 + \dots + 9}{60} = 6.20$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_2 = \frac{4 + 5 + 4 + 4 + 5 + \dots + 7}{60} = 7.33$$

$$\bar{x}_3 = \frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_3 = \frac{3 + 3 + 2 + 3 + 3 + \dots + 3}{60} = 5.83$$

En la tabla N° 11 tenemos los datos de temperatura del séptimo tratamiento conformado por una concentración de 30-70 de agua-refrigerante respectivamente de igual forma calculamos la varianza muestral o la media aritmética de los tres días de prueba.

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_1 = \frac{5 + 3 + 4 + 3 + 5 + \dots + 10}{60} = 7.75$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_2 = \frac{3 + 3 + 4 + 3 + 3 + \dots + 11}{60} = 7.27$$

$$\bar{x}_3 = \frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_3 = \frac{4 + 3 + 3 + 3 + 3 + \dots + 13}{60} = 7.57$$

Este mismo procedimiento lo realizamos para los 11 tratamientos, Con esos valores obtenidos se diseña la matriz de datos con la cual se procede al estudio estadístico.

Tabla 11. Registro de temperaturas 30-70 agua-refrigerante

N°	Concentracion: 30 - 70 (Agua-Refrigerante)								
	T. Entrada			T. Salida			Diferencia (Ts-Te)		
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	24	16	22	29	19	26	5	3	4
2	33	24	30	36	27	33	3	3	3
3	38	30	36	42	34	39	4	4	3
4	44	36	42	47	39	45	3	3	3
5	48	42	47	53	45	50	5	3	3
6	53	47	51	57	50	55	4	3	4
7	58	51	55	63	55	60	5	4	5
8	62	54	59	68	59	64	6	5	5
9	66	58	62	72	63	68	6	5	6
10	70	61	66	76	67	71	6	6	5
11	74	64	69	81	70	75	7	6	6
12	76	67	71	85	74	78	9	7	7
13	79	70	74	88	77	81	9	7	7
14	82	72	76	91	80	84	9	8	8
15	86	75	79	94	83	87	8	8	8
16	88	77	81	97	85	90	9	8	9
17	82	80	83	95	88	92	13	8	9
18	84	82	86	94	91	95	10	9	9
19	88	84	88	97	93	97	9	9	9
20	83	87	80	93	95	97	10	8	17
21	87	87	85	97	97	94	10	10	9
22	81	81	88	93	92	97	12	11	9
23	89	87	80	97	95	93	8	8	13
24	80	84	86	93	96	95	13	12	9
25	83	84	84	94	93	97	11	9	13
26	78	88	83	90	97	93	12	9	10
27	86	80	88	93	92	97	7	12	9
28	87	87	80	97	95	93	10	8	13
29	82	82	87	92	95	96	10	13	9
30	88	85	81	96	93	95	8	8	14
31	81	86	85	93	96	94	12	10	9
32	89	82	86	96	92	97	7	10	11
33	80	88	83	94	96	93	14	8	10
34	87	80	87	95	93	97	8	13	10
35	82	87	80	95	95	93	13	8	13
36	86	81	87	94	94	96	8	13	9
37	84	86	80	96	93	94	12	7	14
38	84	84	86	93	96	95	9	12	9
39	86	84	82	97	93	94	11	9	12
40	83	87	88	92	96	96	9	9	8
41	88	82	80	97	92	94	9	10	14
42	81	88	86	92	96	95	11	8	9
43	88	80	87	96	92	96	8	12	9
44	81	88	85	92	95	94	11	7	9
45	82	80	84	91	93	97	9	13	13
46	76	87	83	89	94	94	13	7	11
47	73	83	86	86	95	98	13	12	12
48	71	77	81	84	90	93	13	13	12
49	69	73	87	82	86	97	13	13	10
50	68	71	79	80	84	94	12	13	15
51	75	69	87	83	81	97	8	12	10
52	82	68	79	90	80	95	8	12	16
53	87	67	86	95	79	96	8	12	10
54	83	66	81	96	78	96	13	12	15
55	85	66	85	94	77	95	9	11	10
56	85	65	82	96	76	96	11	11	14
57	83	65	86	93	76	95	10	11	9
58	87	64	83	96	75	97	9	11	14
59	82	64	84	93	75	95	11	11	11
60	87	63	84	97	74	97	10	11	13

Fuente: Autor

Tabla 12. Matriz de datos en estudio

N°	Codificación	Tratamientos	Repeticiones		
			X1	X2	X3
1	T1	50-50	6,20	7,33	5,83
2	T2	00-100	8,55	10,4	11,07
3	T3	10-90	12,60	22,53	12,72
4	T4	20-80	14,75	8,07	7,97
5	T5	30-70	9,22	8,97	9,65
6	T6	40-60	9,98	9,18	7,42
7	T7	70-30	7,75	7,27	7,57
8	T8	90-10	6,87	6,32	4,93
9	T9	100-00	6,32	6,17	6,33
10	T10	80-20	8,60	7,23	7,37
11	T11	60-40	7,83	7,83	7,07

Fuente: Autor

Se realiza los siguientes cálculos:

$f=3$, repeticiones por cada concentración (días por cada concentración aplicada).

$k=11$, número de tratamientos (concentraciones)

$n=33$, repeticiones totales

x_1, x_2, x_3 , son las medias muestrales de cada día que se aplicó el tratamiento al sistema de refrigeración

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_{11}$, son las once dosificaciones de agua-refrigente

Tabla 13. Cálculos para generar la Anova

Tratamientos	Repeticiones			Sumatoria	
	X1	X2	X3	$\sum X$	$(X^2)/3$
50-50	6,20	7,33	5,83	19,37	125,02
00-100	8,55	10,4	11,07	30,02	300,33
10-90	12,60	22,53	12,72	47,85	763,21
20-80	14,75	8,07	7,97	30,78	315,87
30-70	9,22	8,97	9,65	27,83	258,23
40-60	9,98	9,18	7,42	26,58	235,56
70-30	7,75	7,27	7,57	22,58	170,00
90-10	6,87	6,32	4,93	18,12	109,40
100-00	6,32	6,17	6,33	18,82	118,02
80-20	8,60	7,23	7,37	23,20	179,41
60-40	7,83	7,83	7,07	22,73	172,27
Total				287,88	2747,33

Fuente: Autor

Elevar al cuadrado las repeticiones X_1 , X_2 , X_3 .

Tabla 13. (Continuación)

Tratamientos	Repeticiones al cuadrado			Sumatoria
	$(X1)^2$	$(X2)^2$	$(X3)^2$	$\sum X^2$
50-50	38,44	53,78	34,03	126,25
0-100	73,10	108,16	122,47	303,73
10-90	158,76	507,75	161,71	828,22
20-80	217,56	65,07	63,47	346,10
30-70	84,95	80,40	93,12	258,47
40-60	99,67	84,33	55,01	239,01
70-30	60,06	52,80	57,25	170,12
90-10	47,15	39,90	24,34	111,39
100-0	39,90	38,03	40,11	118,04
80-20	73,96	52,32	54,27	180,55
60-40	61,36	61,36	49,94	172,66
Total				2.854,54

Fuente: Autor

Tabla 13. (Continuación)

$\sum X$	287,88
$\sum X^2$	82876,81
$\sum X^2/33$	2511,41

Fuente: Autor

Suma total de los cuadrados (STC):

$$STC = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad (12)$$

Factor de corrección (CF):

$$\frac{(\sum x)^2}{n} \quad (13)$$

$$STC = 2854.54 - 2511.41$$

$$STC = 343.12$$

Suma de cuadrados dentro de los grupos:

$$WSS = \frac{\sum x^2 - (\sum x_k)^2}{n_f} \quad (14)$$

$$wss = 2854.54 - 2747.33$$

$$wss = 107.21$$

Suma de cuadrados entre los grupos:

$$BSS = \frac{(\sum x_k)^2}{n_f} - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad (15)$$

$$BSS = 2747.33 - 2511.41$$

$$BSS = 235.92$$

Construcción de la tabla de Análisis de Varianza

Tabla 14. Resultados del análisis de varianza

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados lib. (gl)	Cuadrado medio (MS)	Valor de F_{cal}	Valor de T_{tab}	Prob.
Entre (Between BSS)	235.92	10	23.59	4.84	2.34	0.001
Dentro (Within WWS)	107.21	22	4.87			
Total (STC)	343.12	32	10.72			

Fuente: Autor

4.2 Contraste de hipótesis

Se tiene que $F_{cal} = 4,84$ y $F_{teor} = 2.34$.

Para el contraste de hipótesis se debe verificar que $F_{calc} > F_{teor}$. Si esto se confirma entonces hay diferencia significativa entre los tratamientos aplicados al motor.

Después del análisis realizado, se concluye que hay diferencia significativa (al a un nivel de significancia del 0.05) entre las concentraciones. Por lo tanto se rechaza H1 ya que las diferentes concentraciones de agua-refrigerante si influyen en el comportamiento de la temperatura y en la evacuación del calor del motor.

4.3 Análisis de la transferencia de calor del motor hacia el fluido refrigerante

El análisis térmico del motor de combustión se realizará siguiendo un modelo matemático anteriormente desarrollado, se realizara un análisis utilizando los once concentraciones de agua-refrigerante, finalmente los resultados obtenidos del análisis del sistema de refrigeración determinaran su influencia en la transferencia de calor del motor de combustión.

4.3.1 *Calor transmitido al refrigerante.* El calor transmitido al medio refrigerante a través de las paredes del cilindro, culata, pistón y de sus segmentos puede determinarse recurriendo a la ecuación.

$$Q_{ref} = G_{ref} C_{ref} (t_{sal} - t_{ent})$$

Dónde:

G_{ref} Es la cantidad o masa de agente refrigerante que pasa por el motor

C_{ref} Calor específico del mismo

t_{sal} Temperatura del agente refrigerante a la salida del motor

t_{ent} Temperatura del agente refrigerante a la entrada del motor

4.3.2 *La masa de agente refrigerante que pasa por el motor.* En unidad de tiempo se le puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$G_{ref} = \frac{V_a * \gamma_a * 10^{-3}}{60} \text{ [kg/s]}$$

Dónde:

V_a = Flujo volumétrico del agua [m^3/seg]

γ_a = Densidad del agua [kg/m^3]

El flujo volumétrico de fluido de refrigeración es $0.011831 \text{ m}^3/\text{s}$

La densidad del agua se toma como referencia $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ó $1 \text{ g}/\text{cm}^3$

El calor específico del agua. Se considera $C_{\text{agua}} = 4186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

4.3.3 *Cálculo de temperaturas.* El valor de las temperaturas del refrigerante en la entrada y salida del motor se obtuvo mediante la instalación de las termocuplas.

Para calcular la cantidad de masa de refrigerante que pasa por el motor se aplica la siguiente ecuación:

$$G_{ref} = \frac{V_a * \gamma_a * 10^{-3}}{60}$$

$$G_{ref} = \frac{0.011831 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 10^{-3}}{60}$$

$$G_{ref} = 0.00019718 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Para calcular el calor transmitido al medio refrigerante desde el motor puede determinarse recurriendo a la ecuación.

$$Q_{ref} = G_{ref} C_{ref} (t_{sal} - t_{ent})$$

4.3.4 *Cálculo del calor evacuado del motor al refrigerante.* Este cálculo se realizó para los 11 tratamientos que se le efectuó en el motor.

Para el tratamiento N° 1. Concentración (50-50) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 6.20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ref} = 5.117 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.33^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.050 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 5.83^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 4.812 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 2. Concentración 100% refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} * 8.55^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.057 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 10.4^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 8.584 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 11.07^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 9.134 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 3. Concentración (10-90) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 12.60^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 10.399 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 22.53^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 18.596 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 12.73^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 10.507 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 4. Concentración (20-80) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.75^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.396 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 8.07^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.660 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.97^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.578 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 5. Concentración (30-70) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 9.22^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.510 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 8.97^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.403 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 9.65^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.565 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 6. Concentración (40-60) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 9.98^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 8.237 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 9.18^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.577 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} * 7.42^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.124 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 7. Concentración (70-30) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.75^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.396 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.27^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.997 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.57^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.245 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 8. Concentración (90-10) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 6.87^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.667 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 6.32^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.213 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 4.93^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 4.071 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 9. Concentración 100% agua

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 6.32^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.213 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 6.17^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.089 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 6.33^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.227 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 10. Concentración (80-20) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 8.60^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.098 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} * 7.23^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 5.970 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.37^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.080 \frac{kJ}{s}$$

Para el tratamiento N° 11. Concentración (60-40) % agua-refrigerante

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.83^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.965 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.83^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 7.465 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{ref} = 0.00019718 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 7.07^{\circ}C$$

$$Q_{ref} = 6.5832 \frac{kJ}{s}$$

Analizando la transferencia de calor para cada para cada uno de las concentraciones se puede concluir que el N°5 (30-70 agua-refrigerante) es el que se aproxima al valor que se estipula el fabricante como se puede ver en la Tabla 5

El tratamiento conformado por (20-80 agua-refrigerante) también está dentro del rango que recomiendan para un buen funcionamiento del motor Sin embargo, no es

recomendable usar más de 80% de anticongelante. Esto afectaría la capacidad de transferencia térmica, protección de corrosión y protección contra el congelamiento.

El tratamiento N° 9 que está formado solamente por agua cumple con lo que recomienda el fabricante pero al menos 50% de refrigerante es necesaria para darle la protección contra la corrosión adecuada, así como protección contra congelamiento y ebullición.

Es importante nunca usar exclusivamente agua como refrigerante del motor, ya que se pueden generar partículas que pueden obstruir el flujo de sistema y exponerlo a presiones y excesos de temperaturas, además es corrosiva a las temperaturas de operación del motor.

CAPÍTULO V

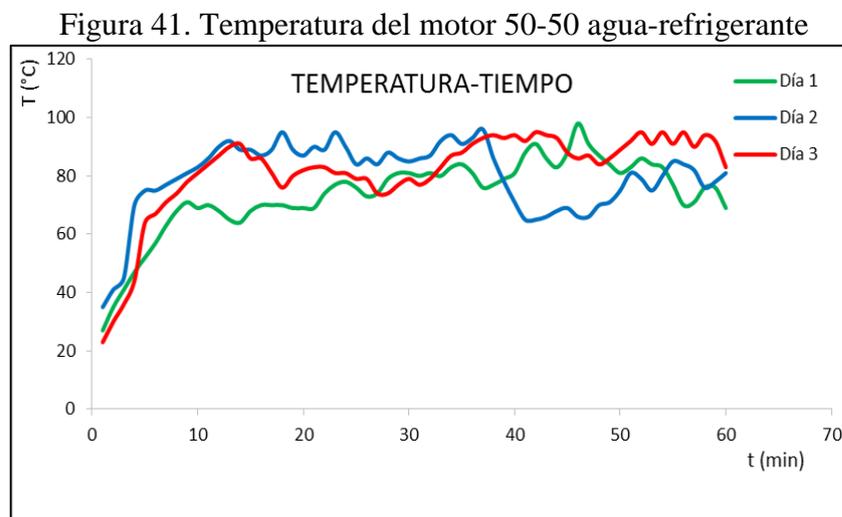
5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se trabajó con el registro de las temperaturas tomadas a la salida del motor ya que estas son las que proporcionan la información necesaria sobre el comportamiento del motor con los diferentes tratamientos aplicados.

5.1 Comportamiento de la temperatura en el motor

A continuación se realiza un análisis del comportamiento de la temperatura del flujo refrigerante utilizado en el motor en función del tiempo para cada uno de las concentraciones aplicadas al sistema de refrigeración y de esta manera confirmar hipótesis que se comprobó en el Capítulo III.

5.1.1 Concentración: 50-50 % (agua-refrigerante)



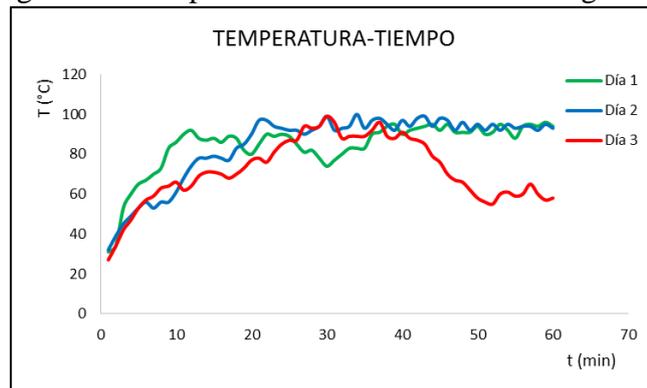
Fuente: Autor

En la Figura N°41 muestra que utilizando 50-50 agua-refrigerante como fluido operante en el sistema de refrigeración el comportamiento de la temperatura es irregular por lo tanto el motor no mantiene su temperatura de trabajo, esto trae consecuencias como la formación de depósitos.

Los depósitos son incrustaciones duras de color blanco salino que se adhieren firmemente a las paredes de metal. Se forman cuando en condiciones de variación de temperatura, las sales minerales menos solubles se precipitan en las partes más frías del sistema usualmente en el radiador y la bomba.

5.1.2 Concentración: 100 % refrigerante

Figura 42. Temperatura del motor 100 % refrigerante

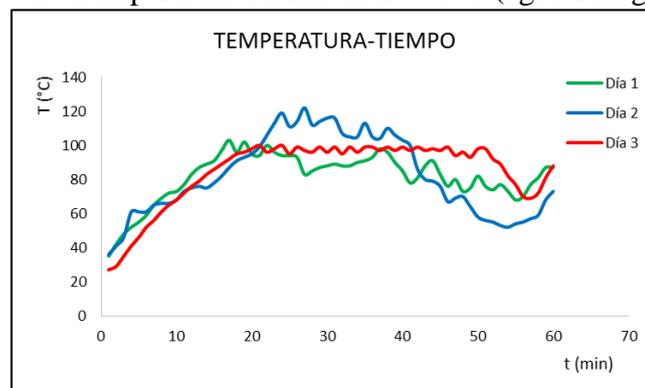


Fuente: Autor

La figura 42 muestra que la aplicación de refrigerante sin mezclar con agua incide en el comportamiento de la temperatura del motor. El principal factor que incide es la dureza del refrigerante, que es una medida de la cantidad de minerales que ella contiene, usualmente calcio, cloro y magnesio, en forma de sales que tienden a precipitarse. Además, los fosfatos, muy usados y efectivos como aditivos anticorrosivos del hierro, en presencia del aluminio forman sales poco solubles en aguas duras.

5.1.3 Concentración: 10-90 % (agua-refrigerante)

Figura 43. Temperatura del motor 10-90 % (agua-refrigerante)

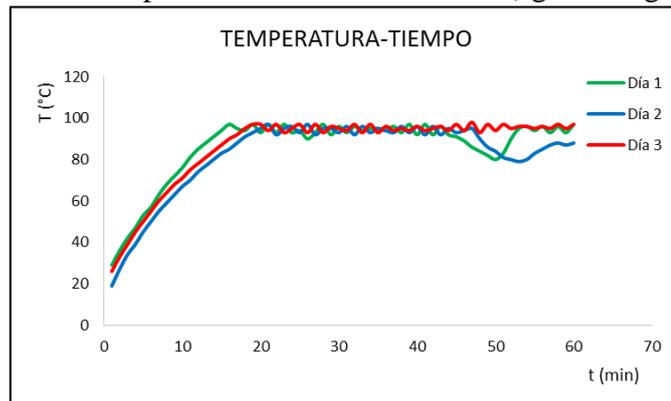


Fuente: Autor

En el tratamiento conformado 10-90 agua-refrigerante se observa que la temperatura es irregular durante los tres días de prueba comprobándose que la concentración no está dentro del rango que recomiendan los fabricantes de automóviles. Es recomendable usar menos del 80% de anticongelante.

5.1.4 Concentración: 30-70 % (agua-refrigerante)

Figura 44. Temperatura del motor 30-70 % (agua-refrigerante)

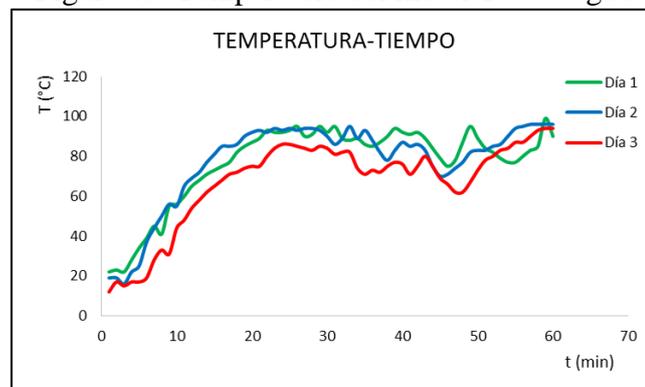


Fuente: Autor

En la Figura N°44 muestra que utilizando agua-refrigerante 30-70 respectivamente como fluido operante en el sistema de refrigeración el comportamiento de la temperatura en el ensayo experimental durante los tres días que se le aplicó el tratamiento tiene una tendencia ascendente hasta el minuto 15 de ahí permanece constante entre 85°C a 100°C que es la temperatura de trabajo de un motor, la estabilidad en la temperatura es sinónimo de carburación y lubricación estable.

5.1.5 Concentración: 100 % agua

Figura 45. Temperatura del motor 100 % agua



Fuente: Autor

En la Figura N°45 muestra que utilizando 100% agua como fluido operante en el sistema de refrigeración el comportamiento tiene una tendencia irregular durante toda la prueba de esta manera se confirma que la utilización de agua sola es muy perjudicial para el motor.

El uso de agua sola es la peor aplicación posible, el agua hierve 17°C más frío y tenemos serios problemas de cavitación de las camisas del cilindro. El agua actúa como electrolito entre el sitio anódico y el área catódica causando corrosión. Esta corrosión ocurre más en áreas donde hay diferencias de presión y la tendencia de formar cavitación. El resultado es una restricción en el flujo, una reducida transferencia de calor un tapado del radiador con residuos metálicos y el calentamiento del motor.

5.2 Análisis del comportamiento de la temperatura

Esta variación en la temperatura puede causar daños en el sistema de refrigeración como pérdida de las propiedades mecánicas de los materiales, fisuras por la inestabilidad de la temperatura.

Los motores de combustión interna están diseñados para operar eficientemente por un largo tiempo mientras se mantenga la temperatura interna entre 82°C y 100°C. Existe un punto óptimo de temperatura en cada marca, pero todos están dentro de este rango.

Si operamos con la temperatura por encima de este rango:

- Corremos el riesgo de reducir la viscosidad del aceite, disminuyendo la protección al desgaste.
- Provocamos incremento de fricción entre las piezas móviles.
- Incrementamos el calentamiento de las piezas.
- Causamos tecleo por encender el combustible en el cilindro antes de tiempo.

Si operamos con una temperatura por debajo de este rango:

- Aumentamos el consumo de combustible porque el sistema ajusta la mezcla para la temperatura del motor.

- Acumulamos agua en el aceite como residuo de la combustión, causando corrosión, herrumbre, formación de lodos, taponamiento del filtro de aceite y por ende la circulación de aceite “sucio” por el motor.
- Aumentamos el consumo de aceite y desgaste de piezas porque ellas están diseñadas para expandir hasta su tamaño y tolerancia normal cuando están en el rango correcto de temperatura.
- Reducimos la potencia del motor por la pérdida de compresión (punto 3) y la falta de temperatura para una combustión eficiente.
- Causamos herrumbre en el sistema de escape por la falta de evaporación del agua residual de la combustión.
- Causamos depósitos de nitración, carbón y barniz en las válvulas, bujías y pistones.

Respecto al colorante, aclarar que no indica las características del producto ni la compatibilidad con otros refrigerantes. Solo cumple una función diferenciadora y facilita la detección de fugas.

Varios productos con las mismas características técnicas pueden tener colores distintos o al revés, dos productos incompatibles o con características distintas pueden tener el mismo color.

5.3 Presupuesto estimado del proyecto

Los costos son un factor muy importante dentro de un proyecto ya que con ello se puede verificar la estimación que se implantó en el inicio del proyecto.

Los costos se dividen en directos, indirectos y totales.

5.3.1 Costos directos. Los costos directos principalmente se destinaron al diseño e implementación del sistema de medición de temperatura a la entrada y salida del motor que son los siguientes.

Costo de materiales. Dentro de estos costos intervienen los costos de los materiales de la parte mecánica, eléctrica y electrónica; estos costos se detallan a continuación:

Tabla 15. Costos directos

Cantidad	Denominación	Característica	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Juego de mangueras	Redondas	30	30
1	Tubo	Cobre	10	10
2	Termocuplas	Tipo k	15	30
8	Galón refrigerante	Glicol concentrado	10	80
10	Galón agua	Natural	0,10	1
1	myDAQ	National Instruments	315	230
2	Amplificadores	AD595	10	20
8	Abrazaderas		4	32
2	Cables	Aislantes térmicos	9	18
Total				451

Fuente: Autor

5.3.2 Costos indirectos. Estos costos son los que no interviene directamente en la construcción del sistema de monitoreo de temperatura a la entrada y salida del motor la parte del sistema y su ensamblaje, es decir, son aquellos costos cuya identificación con un objeto de costo específico es muy difícil, o no vale la pena realizarla; estos costos se detallan a continuación.

Tabla 16. Costos indirectos

Descripción	Costo (USD)
Documentación e investigación	400
Movilización y transporte	600
Adecuaciones	50
Imprevistos	50
Total	1100

Fuente: Autor

5.3.3 Costos totales:

Tabla 17. Costos totales

Denominación	Costo (USD)
Costos Directos	451
Costos Indirectos	1200
Costo total	1551

Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Este sistema utiliza como sensores de temperatura termocuplas las mismas que satisfacen plenamente las necesidades para medir el comportamiento de la variable temperatura en el sistema de refrigeración del motor.

Las propiedades del anticongelante varían en función de su concentración, a mayor cantidad de agua mayor capacidad refrigerante, pero menor protección anticorrosiva. A mayor cantidad de etilenglicol, menos capacidad refrigerante, pero mayor poder anticorrosivo y anticongelante, además de menores pérdidas por evaporación.

Del análisis estadístico se concluye que la mejor concentración es el tratamiento N°5, el mismo que está constituido por 30-70 agua-refrigerante. Dicho tratamiento tuvo un comportamiento de la temperatura entre 85°C y 95°C están dentro del rango normal de trabajo del sistema de refrigeración.

Se verificó que $F_{\text{calc}} > F_{\text{teor}}$, por lo tanto se concluye que estadísticamente existe diferencia significativa en el comportamiento de la temperatura del motor entre las diferentes concentraciones aplicados.

De acuerdo al análisis térmico realizado utilizando agua-refrigerante al 30-70 respectivamente como fluido refrigerante, se obtuvo que el calor evacuado en el sistema de refrigeración está dentro del rango especificado (7,50kW) por el fabricante.

6.2 Recomendaciones

Revisar en forma periódica que las mangueras y abrazaderas se encuentren en buenas condiciones, correctamente ensambladas y ajustadas

Tener cuidado en las conexiones eléctricas entre la NI myDAQ, las termocuplas y acondicionadores de señal ya que una conexión errónea podría ocasionar que se ingresen niveles de voltaje no deseados o superiores a los que se soporta en los puertos de entrada de la tarjeta adquisición de datos y esa sobrecarga de voltaje conlleva a daños en sus elementos internos.

Es recomendable usar siempre líquidos refrigerantes de calidad, de una buena marca y con homologación de garantía. Ya que todos los líquidos refrigerantes tienen base de agua, por lo que es muy fácil su manipulación fraudulenta aumentando la cantidad de esta.

Nunca trate de abrir la tapa del radiador o del depósito de agua estando el motor caliente o en marcha. Se producirá un descenso brusco de la presión interna y podrá causar graves quemaduras a las personas cercanas

Es necesario sustituir el líquido refrigerante después de cualquier reparación del circuito, ya sea en el motor, manguitos o radiadores, porque el producto puede entrar en contacto con agentes que lo contaminen y reduzcan su pH, lo que genera la pérdida de las propiedades

Utilizar los accesorios y complementos fabricados para cada tipo de termocupla, como la señal de voltaje que genera cada termocupla es muy baja, esta es susceptible a grandes cambios con pequeñas fuentes de ruido.

BIBLIOGRAFÍA

Aficionados a la Mecánica. 2004. Sistema de Refrigeración por aire forzada. [En línea] 12 de 05 de 2004 [Citado el 09 de 07 de 2013] <http://www.motores-de-combustion-interna/refrigeracion-aire-forzada.jpg>

Aficionados a la Mecánica. 2004. Refrigeración mixta. [En línea] 12 de 05 de 2004 [Citado el 15 de 07 de 2013] <http://www.motores-de-combustion-interna/refrigeracion-mixta.jpg>

Aficionados a la Mecánica. 2004. Sistemas de refrigeración del automóvil. [En línea] 12 de 05 de 2004 [Citado el 17 de 07 de 2013] <http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/imagenes/refrigeracion/figura02.jpg>

ARIAS, Manuel y Paz, Guittian. 2001. *Manual de Automóviles*. España : CIE DOSSAT, 2001.

BOLTON, W. 2006. *Sistemas de control electrónico en la ingeniería*. III edición. Guadalajara, Alfaomega, 2006. págs. 516-519

BEREZIARTUA, Iñaki, y otros. 2010. ELEMENTOS DE ADQUISICION DE DATOS [En línea] 15 de 07 de 2010 [Citado el 17 de 07 de 2013] <http://wiki.gxtechnical.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+genexus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control>

CHOY, Jose. 2006. *Teoría de motores de combustión interna*. México : Mc Graw Hill, 2006.

DUQUE, Edison. 2009. Manual SPSS [En línea] 15 de 08 de 2009 [Citado el 18 de 09 de 2013] <http://www.dev-out.cl/sites/default/files/Manual%20SPSS.pdf>

EDUARDO. Jose 2007. myDAQ. [En línea] 04 de 19 de 2007 [Citado el 11 de 18 de 2013] [//rfic.eecs.berkeley.edu/ee42/labs/myDAQ%20Getting%20Started.pdf](http://rfic.eecs.berkeley.edu/ee42/labs/myDAQ%20Getting%20Started.pdf)

GUTIÉRREZ, P. Humberto. 2004. *Análisis y diseño de experimentos*. México : Mc Graw Hill Interamericana, 2004.

JESUS. 2010. CERTIFICACIONES APROBADAS EN LOS REFRIGERANTES. [En línea] Blogger, 27 de 10 de 2010 [Citado el 22 de 12 de 2013] <http://elblogdeconsumauto.blogspot.com/2012/05/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre.html>

MORALES, Raul. 2006. *Diseño y construcción de radiadores* . Latagunga : s.n., 2006. pág. 109.

OGATA, K. 1998. *Ingeniería de Control Moderna*. Segunda. México D.F : Mc Graw, 1998. págs. 55-224.

PIEDRAHITA, Carlos Alberto. 2009. *Contribución al conocimiento del comportamiento térmico y la gestión térmica de los MCI*. Departamento de motores y máquinas térmicas, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia : s.n., 2009. pág. 28, Tesis doctoral.

PROAKIS, J. 1999. *Tratamiento digital de señales*. tercera edición . Estados Unidos : Prentice Hall, 1999. págs. 112-125.

REYES, C. A. 2008. *Microcontroladores PIC programación en basic*. Quito : Rispergraf, 2008.

VINGOLA, J. 2006. *Sensores de temperatura*. México. S/n págs. 9-11

VILLALOBOS, Carlos. 2012. Autos aveo emotion [En línea] 15 de 08 de 2012 [Citado el 18 de 20 de 2013] <http://www.chevrolet.com.ec/aveo-emotion-auto-sedan/especificaciones.html>

WILLIAN, H. COURSE . 2008. *Refrigeración del automóvil* . Mexico : Mc Graw Hill Interamericana, 2008.