



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autor: Manuel Agustín Meza Salvatierra

Tutor: Ing. Adolfo Peña Pinargote, Msc.

**Análisis de Fallas Mecánicas en un Motor de Combustión
Interna Zotye 560 mediante el Uso de la Cámara de Imagen
Termográfica IR0280H**

Certificación de Autoría

Yo, Manuel Agustín Meza Salvatierra, con C.I.: 0930175880, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

Manuel Agustín Meza Salvatierra

C.I: 0930175880

Aprobación del Tutor

Yo, Adolfo Peña Pinargote certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

Ing. Adolfo Peña Pinargote, Msc

Director del Proyecto

Dedicatoria

Es un honor dedicar la presente:

A Dios todo poderoso..., que estuvo desde mi creación y está siempre presente conmigo porque hemos sido perseverantes en las buenas y malas a lo largo de mí formación académica.

A mí madre Carmen Salvatierra y padre Manuel Meza Sánchez, porque ellos me trajeron al mundo y siempre estuvieron dándome su apoyo y consejos en todo momento con un infinito amor, logrando ser una parte fundamental a lo largo de mis estudios con perseverancia y resiliencia, haciéndome una persona de bien, y a mis hermanos que estuvieron apoyándome incondicionalmente.

Especialmente A mi esposa Yuly Véliz, que llego a mi vida a la mitad de mi carrera, haciendo un pilar fundamental para culminar con éxito mí carrera, brindándome todo su amor con su infinita paciencia, junto conmigo aguantando las malas noches y como no podría faltar con mi bebé de cuatro patas NINA, que con sus tiernos ladridos me despertaba cuando me veía que estaba quedando dormido junto a la computadora.

Finalmente estoy YO logrando mis objetivos con:
FE – POSITIVISMO – ALEGRÍA & DISCIPLINA.

Manuel Agustín Meza Salvatierra

Agradecimientos

Expreso mis más sinceros agradecimientos a cada una de las personas que hicieron posible este sueño realidad, que es la realización de mí tesis y la culminación de la carrera
Ingeniera Automotriz.

Por lo consiguiente, quiero agradecer a mis tutores de tesis al, Ing. Adolfo Peña Pinargote, MsC., & al Ing. Edgar Vera Puebla, MsC., Por sus conocimientos, guía y paciencia, de su gran experiencia que fue fundamental en el transcurso de esta elaboración de tesis.

Así mismo, agradezco con júbilo como tal a la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador por abrirme sus puertas para seguir adelante con mis estudios, con lo que incluyó a mis queridos docentes que tuvieron compartiendo sus conocimientos, enriqueciendo mi formación académica y personal. Con mis compañeros quienes compartí por buen tiempo formando una gran amistad en armonía intercambiando ideas con comentarios constructivos, y contribuyendo ideas para mejorar tanto personal como profesional.

También, agradecer a mi familia y amistades fuera del ámbito universitario, por su inmenso apoyo incondicional dándome animo con palabras de aliento y de confianza dándome ese impulso invaluable en momentos difíciles de mi carrera.

Por último, quiero agradecer a todos y cada uno de ustedes, que, de una forma u otra, me brindaron su apoyo e inspiración a lo largo de este viaje académico. A todos ustedes, mis más profundos agradecimientos que sin su apoyo y contribución, esta tesis no habría sido posible.

Manuel Agustín Meza Salvatierra

Índice General

| | |
|--|------|
| Dedicatoria | v |
| Agradecimientos..... | vi |
| Índice General | vii |
| Índice de Figuras | xii |
| Índice de Ecuaciones | xiv |
| Índice de Tablas..... | xv |
| Resumen | xvi |
| Abstract..... | xvii |
| Capítulo I..... | 1 |
| Problema de la Investigación..... | 1 |
| 1.1. Tema de Investigación..... | 1 |
| 1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema | 1 |
| 1.2.1. Planteamiento del Problema | 1 |
| 1.2.2. Formulación del Problema | 2 |
| 1.3. Sistematización del Problema..... | 2 |
| 1.4. Objetivos de la Investigación | 3 |
| 1.4.1. Objetivo General | 3 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 3 |
| 1.5. Justificación e Importancia de la Investigación..... | 3 |
| 1.5.1. Justificación Teórica..... | 3 |
| 1.5.2. Justificación Metodológica..... | 4 |
| 1.5.3. Justificación Práctica | 5 |

| | |
|---|----|
| 1.5.4. Delimitación Temporal..... | 5 |
| 1.5.5. Delimitación Geográfica | 5 |
| 1.5.6. Delimitación del Contenido..... | 6 |
| 1.6. Alcance | 6 |
| Capítulo II..... | 8 |
| 2. Marco de Referencia | 8 |
| 2.1. El Motor de Combustión Interna..... | 8 |
| 2.1.1. Efecto de la Termodinámica en los Motores de Combustión Interna..... | 9 |
| 2.1.2. Componentes del Motor de Combustión Interna | 10 |
| 2.1.3. Sistema de Refrigeración del Motor de Combustión Interna..... | 13 |
| 2.1.4. Cámara Termográfica IR0280H..... | 14 |
| 2.2. Mantenimiento Predictivo..... | 17 |
| 2.2.1. Metodología de las Inspecciones | 18 |
| 2.3. Termografía Infrarroja (TT)..... | 20 |
| 2.3.1. Principios de la Termografía..... | 21 |
| 2.3.2. Transferencia de Calor | 21 |
| 2.3.3. Leyes Aplicables a la Radiación Infrarroja..... | 23 |
| 2.3.4. Ley de Radiación de Kirchhoff..... | 23 |
| 2.3.5. Ley de Wien | 24 |
| 2.3.6. Espectro Electromagnético..... | 25 |
| 2.4. Términos y Definiciones Según Norma ISO 18434-1:2008(E)..... | 26 |
| 2.4.1. Temperatura Aparente..... | 26 |
| 2.4.2. Medios Atenuantes..... | 27 |

| | |
|---|----|
| 2.4.3. Cuerpo Negro | 27 |
| 2.4.4. Emisividad..... | 27 |
| 2.4.5. Cámara de Termografía Infrarroja (IRT) | 27 |
| 2.4.6. Procesamiento de Imágenes Térmicas | 28 |
| 2.4.7. Termografía Infrarroja | 28 |
| 2.4.8. Repetibilidad | 28 |
| 2.4.9. Procesamiento de la Señal..... | 28 |
| 2.4.10. Objetivo..... | 28 |
| 2.4.11. Termograma | 29 |
| 2.4.12. Distancia de Trabajo | 29 |
| Capítulo III | 30 |
| 3. Método de Termografía Aplicada al Motor de Combustión Interna | 30 |
| 3.1. Introducción al Ensayo Termográfico sobre un Motor de Combustión Interna | 30 |
| 3.2. Funcionamiento de la Cámara Termográfica IR0280H | 31 |
| 3.2.1. Componentes de la Cámara Termográfica..... | 32 |
| 3.2.2. Características de la Cámara Termográfica | 33 |
| 3.2.3. Campos de Aplicación de la Cámara Termográfica Perfect Prime IR0280H..... | 33 |
| 3.3. Preparación del Equipo | 34 |
| 3.4. Aspectos Considerados en la Toma de Firmas Térmicas..... | 34 |
| 3.5. Identificación de la Zona de Análisis..... | 35 |
| 3.6. Parámetros Fundamentales de Operación de Cámara de Imagen Térmica IR0280H..... | 37 |
| 3.6.1. Consideraciones de Seguridad | 37 |
| 3.7. Flujo de Operación de la Cámara de Imagen Térmica IR0280H..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 3.7.1. Encendido..... | 38 |
| 3.7.2. Apagado | 39 |
| 3.7.3. Pantalla Apagada (Modo Reposo) | 39 |
| 3.7.4. Pantalla de Menú..... | 39 |
| 3.7.5. Pantalla de Medición..... | 41 |
| 3.7.6. Archivos Csv (Valores Separados por Comas)..... | 42 |
| 3.7.7. Opción de Emisividad..... | 43 |
| 3.7.8. Ajuste Superposición de Imágenes | 44 |
| 3.8. Desarrollo del Experimento | 45 |
| 3.9. Identificación de la Zona de Estudio..... | 45 |
| 3.10. Descripciones a Tener en Cuenta para la Toma de Datos..... | 46 |
| 3.11. Obtención de Datos Referenciales | 48 |
| 3.12. Simulación de Falla con Eliminación de Sistema de Encendido y Alimentación de Combustible | 50 |
| 3.12.1. Simulación de Falla - Sistema de Encendido..... | 50 |
| 3.12.2. Simulación de Falla – Sistema de Encendido y Alimentación de Combustible | 52 |
| Capítulo IV | 55 |
| 4. Análisis de Resultados | 55 |
| 4.1. Análisis de Datos Obtenidos..... | 55 |
| 4.1.1. Análisis de los Valores en Correcto Funcionamiento..... | 55 |
| 4.1.2. Análisis de Valores Obtenidos con Simulación de Falla de Encendido | 56 |
| 4.1.3. Análisis de Valores Obtenidos con Simulación de Falla en Encendido y Alimentación de Combustible | 57 |

| | |
|--|----|
| 4.1.4. Análisis Consolidado según los Valores Obtenidos..... | 58 |
| Conclusiones..... | 59 |
| Recomendaciones..... | 61 |
| Bibliografía..... | 62 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 <i>Esquema del Proceso del Funcionamiento del Motor de Combustión Interna</i> | 8 |
| Figura 2 <i>Bloque de Motor</i> | 10 |
| Figura 3 <i>Pistón del Motor</i> | 11 |
| Figura 4 <i>Cigüeñal del Motor</i> | 12 |
| Figura 5 <i>Culata de Motor</i> | 12 |
| Figura 6 <i>Sistema de Refrigeración del Motor</i> | 13 |
| Figura 7 <i>Cámara Termográfica IR0280H</i> | 15 |
| Figura 8 <i>Partes de la Cámara Termográfica IR0280H</i> | 16 |
| Figura 9 <i>Especificaciones de la Cámara Termográfica IR0280H</i> | 17 |
| Figura 10 <i>Toma de Imagen Termográfica Infrarroja</i> | 20 |
| Figura 11 <i>Procesos de Transferencia de Calor</i> | 22 |
| Figura 12 <i>Cantidad de Radiación Solar y Terrestre</i> | 24 |
| Figura 13 <i>Parámetros de Colores de Ley de Wien</i> | 25 |
| Figura 14 <i>Cámara Termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H</i> | 32 |
| Figura 15 <i>Vehículo Marca Zotye Modelo 560</i> | 35 |
| Figura 16 <i>Motor del Vehículo Marca Zotye Modelo 560</i> | 37 |
| Figura 17 <i>Encendidos de la Cámara Térmica IR0280H</i> | 38 |
| Figura 18 <i>Apagado o Restauración de la Cámara Térmica IR0280H</i> | 39 |
| Figura 19 <i>Pantalla de Menú de la Cámara Térmica IR0280H</i> | 40 |
| Figura 20 <i>Pantalla de Medición de la Cámara Térmica IR0280H</i> | 41 |
| Figura 21 <i>Pantalla de Superposición de Imágenes</i> | 44 |
| Figura 22 <i>Zona Limitada para la Toma de Datos en un Motor Zotye Modelo 560</i> | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 <i>Extracción de Datos de Referencia en Modo Visual</i> | 48 |
| Figura 24 <i>Extracción de Datos de Referencia en Modo Térmica</i> | 49 |
| Figura 25 <i>Extracción de Datos de Referencia en Modo Superpuesta</i> | 49 |
| Figura 26 <i>Generación de Simulación de Falla en Sistema de Encendido</i> | 51 |
| Figura 27 <i>Toma de Datos con Simulación de Falla en Sistema de Encendido por Cilindros</i> | 52 |
| Figura 28 <i>Generación de Simulación de Falla en Sistema de Encendido y Alimentación de Combustible</i> | 53 |
| Figura 29 <i>Toma de Datos con Simulación de Falla en Sistema de Encendido por Cilindros</i> | 53 |

Índice de Ecuaciones

| | |
|---|----|
| Ecuación 1 Modelo Matemático de la Ley de Stefan Boltzmann..... | 21 |
| Ecuación 2 Igualdad de la Ley de Kirchhoff | 23 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Tabla de Emisividad | 43 |
| Tabla 2 Valores en Condiciones Normales de Funcionamiento..... | 50 |
| Tabla 3 Valores Promedio de Simulación de Falla de Encendido..... | 52 |
| Tabla 4 Valores de Simulación de Falla de Encendido y Alimentación de Combustible | 54 |
| Tabla 5 Valores de Simulación de Falla de Encendido y Alimentación de Combustible | 58 |

Resumen

El uso de nuevos instrumentos de monitoreo de fallas en sistemas de la industria de automoción es de mucha importancia con el fin de aplicar el mantenimiento preventivo vehicular, por este motivo en el presente trabajo investigativo se utiliza uno de estos instrumentos como lo es la cámara de imagen termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H, la misma que brinda todas las características y ventajas para la realización de este tipo de monitoreo, a través de una metodología sencilla como lo es la selección y preparación del área de donde se realiza la toma de muestra y toma de imagen la cual puede ser por imagen visual, térmica o superpuesta pero teniendo en cuenta que para para la aplicación de este tipo de monitoreo térmico se requiere de manera obligatoria tener los rangos cuantitativos de operación establecidos por fábrica o extraídos con el funcionamiento óptimo del sistema, para este estudio se tomó como referencia experimental al motor de la marca Zotye modelo 560 y sobre el cual se extrae los valores de operación normal en su funcionamiento como base de datos y luego se procede la generación de simulación de fallas del motor en lo concerniente al comportamiento de la cámara de combustión siendo estas fallas la de suspensión del sistema de encendido y la otra es una combinación entre la suspensión del sistema de encendido con el de alimentación de combustible, llegando a la conclusión de ver la variación del comportamiento térmico a través de este equipo de monitoreo.

Palabras Clave: Cámara termográfica, motor, imagen termográfica, termodinámica.

Abstract

The use of new failure monitoring instruments in systems of the automotive industry is very important in order to apply vehicle preventive maintenance, for this reason in the present investigative work one of these instruments is used, such as the camera of Thermographic image Perfect Prime Model IR0280H, the same one that offers all the characteristics and advantages for the realization of this type of monitoring, through a simple methodology such as the selection and preparation of the area where the sampling and collection is carried out. image which can be by visual, thermal or superimposed image but taking into account that for the application of this type of thermal monitoring it is mandatory to have the quantitative operating ranges established by the factory or extracted with the optimal functioning of the system , for this study, the Zotye model 560 engine was taken as an experimental reference and on which the normal operation values are extracted in its operation as a database and then the generation of simulation of engine failures is proceeded with regard to the behavior of the combustion chamber, these failures being the suspension of the ignition system and the other is a combination between the suspension of the ignition system with the fuel supply, reaching the conclusion of seeing the variation of thermal behavior through of this monitoring equipment.

Keywords: Thermographic camera, engine, thermographic image, thermodynamics.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Análisis de fallas mecánicas en un motor de combustión interna Zotye 560 mediante el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

Los problemas de funcionamiento en los motores de combustión interna alternativos por causa de temperaturas no apropiadas causan daños de forma frecuente en los mismos y generar degradación física de los materiales de los diferentes elementos fijos y móviles del motor.

En la actualidad el análisis de los posibles fallos por medio del análisis de temperatura está ganando acogida sobre todo en los diagnósticos rápidos y como base para establecer los planes de mantenimiento ya sean predictivos, preventivos y correctivos.

La termografía infrarroja es la ciencia de adquisición y análisis de la información térmica obtenida mediante dispositivos de captura de imágenes térmicas a distancia, llamadas técnicamente termogramas. La medición correcta de la temperatura es importante, ya que dicha variable es fundamental virtualmente para cualquier situación y en todos los procesos, lo que la convierte en un factor crítico que hay que tener bien vigilado

Debido a estos y otros motivos se propone el presente estudio para brindar una alternativa de solución por medio de la cámara termográfica para establecer los posibles puntos donde la temperatura excede el valor de trabajo y se pudiera generar un problema.

1.2.1. Planteamiento del Problema

Entre los principales inconvenientes está el problema de la pérdida de sellado hermético en la unión entre el cabezote (culata) y el bloque del motor, generando la pérdida

de compresión, además de causar la mezcla entre el refrigerante y el aceite del motor, degradación de las bujías e inyectores, entre otros.

Cuando los componentes del motor de combustión interna alternativo están sometidos a temperaturas extremas por tiempo prolongado sufren deformaciones ya sean temporales o permanentes que conllevan a un fallo pudiendo ser irreversibles, los excesos de temperaturas se los puede apreciar por medio de la termografía en donde se puede apreciar los diversos rangos de temperaturas que se están produciendo en el motor al momento de su funcionamiento.

Con la aplicación de la termografía podríamos solventar diversas inquietudes en cuanto a los daños por exceso de temperatura y por ende se puede aplicar los diversos planes de mantenimiento en los motores de combustión interna, dichos planes de mantenimientos servirán para prevenir daños y por ende un ahorro en cuanto a daños por exceso de temperatura.

Conociendo los parámetros de funcionamiento del motor establecidos por el fabricante se podrá determinar los conocidos puntos calientes donde se podría producir fallos, en este momento podemos utilizar la cámara de imagen termográfica IR0280H para determinar los lugares donde existe excesos de temperaturas.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Se puede generar una propuesta de análisis termográfico en un motor de combustión interna utilizando la Cámara de Imagen Termográfica IR0280H?

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los beneficios que se obtienen al realizar un análisis termográfico en un motor de combustión interna Zotye 560 1500 centímetros cúbicos mediante el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H?

- ¿Cuáles son los factores que influyen en el análisis termográfico en un motor de combustión interna?
- ¿Qué ventajas brinda el uso del equipo de la cámara de imagen termográfica IR0280H?
- ¿Qué ventajas brinda el realizar un análisis termográfico para prevenir y daños y realizar las reparaciones por exceso de temperatura?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Analizar fallas mecánicas en un motor de combustión interna Zotye 560 1500 centímetros cúbicos mediante el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre la termografía aplicada a la automoción.
- Establecer los datos de temperatura obtenidos en el motor mediante el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H.
- Realizar una guía práctica del uso y aplicación de la cámara de imagen termográfica IR0280H.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

El trabajo de investigación a realizar en lo referente al análisis termográfico de un motor de combustión interna determina objetivos por parte de fuentes investigativas la misma que presenta respuestas a la perspectiva metodológica, teórica y práctica como se expresa a continuación:

1.5.1. Justificación Teórica

Los problemas mecánicos por temas de exceso de temperatura en los motores de combustión interna alternativos generan graves daños y consecuencias muy adversas para el

funcionamiento de estos, por tal motivo al realizar un análisis de temperatura apropiado podemos identificar los puntos donde se están generando elevadas temperaturas, de esta forma poder mejorar su eficiencia así como su desempeño con un sustento teórico bien fundamentado basado en la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas, fichas técnicas y artículos científicos en los que han realizados estudios similares o relacionados al tema en mención, por ejemplo:

(Carrion & Castillo, 2022), con su publicación “Análisis termográfico de un motor de encendido provocado, inducido a fallas mediante la aplicación de diseño de experimentos (DoE)”.

(Fluke, 2022), presentó su investigación relacionada al tema denominada “Uso de la termografía para monitorear motores y cajas de cambio”.

(Becerra & Molina, 2014), basados en su estudio “Caracterización de fallos en la ignición de un motor de combustión interna alternativo diésel mediante el uso de la termografía infrarroja”.

1.5.2. Justificación Metodológica

En la presente investigación permite poder justificar la metodología que se lleva a cabo en el presente estudio concerniente a la realización de un análisis de fallas mecánicas en un motor de combustión interna alternativo, se fundamenta en la obtención de información técnica del elemento en estudio para así poder determinar las características, propiedades y especificaciones técnicas establecidas por el fabricante.

Además, se fundamentará por estudios anteriores relacionados y que puedan aplicarse al presente estudio que determinan cada uno de los comportamientos del elemento en estudio lo que permite generar el correcto alcance al momento de realizar el análisis con los resultados generados con los softwares utilizados o los informes generados por los mismos.

En efecto, el presente trabajo investigativo de fallas mecánicas en los motores de combustión interna se basa en la aplicación de una metodología definida como experimental, teórica y descriptiva, lo que permite obtener el alcance de los objetivos planteados y de esta manera consolidan la investigación científica en su totalidad.

1.5.3. Justificación Práctica

De acuerdo con los objetivos planteados para el presente proyecto investigativo hará referencia al análisis de fallas mecánicas en los motores de combustión interna en su etapa práctica se fundamenta en su desarrollo de acuerdo con etapas establecidas de manera cronológica, pero tomando en consideración que la fase práctica se lleva a cabo con el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H y posterior generar una guía práctica para el uso del instrumento.

1.5.4. Delimitación Temporal

De acuerdo con lo previsto como planificación en el desarrollo de las fallas mecánicas en un motor de combustión interna Zotye 560 1500 centímetros cúbicos mediante el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H, tanto de la fase de aprobación, desarrollo teórico y práctico el presente estudio se establece que se llevará a cabo desde el mes de febrero del 2023 y de manera tentativa se pretende que su finalización o defensa de proyecto se llevará a cabo en el mes de agosto de 2023.

1.5.5. Delimitación Geográfica

El presente trabajo investigativo se lo llevará a cabo en el Establecimiento de Auto Servicio Técnico MEZA ubicado en el país de Ecuador dentro de la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, en la Cdla. La Garzota Mz. 103 S. 8, Av. Eloy Velásquez Y Av. Hermano Miguel.

1.5.6. Delimitación del Contenido

El proyecto de investigación denominado Análisis de Fallas Mecánicas en un Motor de Combustión Interna Zotye 560 1500 Centímetros Cúbicos Mediante el Uso de la Cámara de Imagen Termográfica IR0280H, se lo desarrolla por medio de un proceso meticuloso de investigación con base en fuentes bibliográficas teóricas y técnicas, así como revistas, artículos científicos, fichas técnicas, entrevistas, proyectos de titulación y blogs, lo que permite brindar fundamentar correctamente el alcance del proyecto y estructurarlo de la mejor forma para lograr alcanzar los objetivos planteados.

Cabe recalcar que el presente estudio se lo establece con una sección de cuatro capítulos como cuadro de cuerpo de texto.

1.6. Alcance

A través del presente proyecto investigativo con el tema: Análisis de fallas mecánicas en un motor de combustión interna Zotye 560 mediante el uso de la cámara de imagen termográfica IR0280H, tiene como alcance el poder establecer un tipo de metodología que permita realizar un análisis termográfico sobre motores de combustión interna y así llegar a detectar fallas incipientes que se presenten en las que su variable fundamental lo es la temperatura para así poder alimentar el plan de mantenimiento predictivo y tomar correctivos antes que el sistema presente un mantenimiento correctivo.

En la parte conceptual del presente estudio se inicia con la investigación de termodinámica aplicada a motores de combustión interna, sistemas que conforman el motor, sobre todo el sistema de alimentación de aire, combustible y encendido, también se indaga sobre el mantenimiento predictivo del motor en estudio.

Finalmente se genera un enfoque en la comprobación de los parámetros termográficos por parte del uso de la cámara de imagen termográfica del equipo IR0280H, enfocado al monitoreo del motor de combustión interna del vehículo de marca Zotye 560, para poder de

esta manera extraer las impresiones de la pantalla para su respectivo análisis y toma de criterio técnico sobre las fallas detectadas.

Capítulo II

Marco de Referencia

Con el fin de obtener un correcto entendimiento debemos aclarar cada concepto que se emplearan en el desarrollo de este trabajo investigativo, los mismos que tomaran la relevancia del caso en cada una de las secciones a explicarse en el trabajo a presentar.

2.1. El Motor de Combustión Interna

De acuerdo con (González, 2011) el motor de combustión interna es una máquina térmica capaz de transformar la energía térmica almacenada en un fluido combustible en energía mecánica, proporcionando un trabajo, esquema que se aprecia en la figura 1. Este trabajo se aplicará a la cadena cinemática del vehículo consiguiendo su movimiento.

Figura 1

Esquema del Proceso del Funcionamiento del Motor de Combustión Interna



Fuente: (González, 2011)

Es importante también destacar otras definiciones que se relacionan de forma directa con el estudio a realizar, en donde se deja plasmado la parte conceptual del motor de combustión interna alternativo:

- Motor Térmico: Máquina térmica que produce energía mecánica por el aprovechamiento de la energía térmica almacenada en un fluido por medio de una combustión.

- Motor de Combustión Interna (MCI): Motor térmico en el que la combustión se produce en su interior. Existen motores de combustión externa, donde el aprovechamiento de la energía térmica del combustible se produce en un equipo independiente, como una caldera, una cámara de combustión, algunas turbinas de gas o el motor Stirling son ejemplos de motores de combustión externa.
- Motor de Combustión Interna Alternativo (MCIA): Motor de combustión interna en el que el ciclo de trabajo y la transmisión de fuerzas se produce mediante el desplazamiento lineal y repetitivo de un émbolo o pistón. La transformación de la fuerza lineal generada por la presión de los gases tras la combustión en un par motor giratorio se realiza a través de un mecanismo biela-manivela. Por otro lado, existen motores de combustión interna rotativos, como el motor Wankel.
- Motor de Encendido Provocado (MEP) o de ciclo Otto: Comprime una mezcla de aire y combustible, produciéndose la combustión por una causa externa, es decir, por el salto de chispa de la bujía.
- Motor de Encendido por Compresión (MEC) o de ciclo Diesel: Comprime aire hasta que este adquiere una gran presión y temperatura, momento en el cual se inyecta el combustible y se produce la combustión por autoinflamación de este.

2.1.1. Efecto de la Termodinámica en los Motores de Combustión Interna

Según (Quilez, 2018) para relacionar y determinar los conceptos termodinámicos, hay un gran número de trabajos realizados con minuciosos análisis con enfoque y nivel académico de alto impacto. Por ejemplo, la utilización de conceptos de energía y calor podemos encontrar una relación muy estrecha en cuanto al funcionamiento de los motores de combustión interna alternativos.

Al momento de alcanzar elevadas temperaturas de funcionamiento en el motor de combustión interna, se pueden generar cambios en la estructura física de sus elementos,

además de la dilatación de los elementos del sistema de refrigeración, en estos momentos es primordial tener sus elementos en buen estado, como el termostato para que realice su función de forma adecuada y eficiente.

Si la temperatura sobrepasa las condiciones normales de funcionamiento del sistema se produce un efecto negativo denominado desvanecimiento. Este fenómeno se encuentra directamente relacionado con la pérdida de la eficiencia del motor de combustión interna.

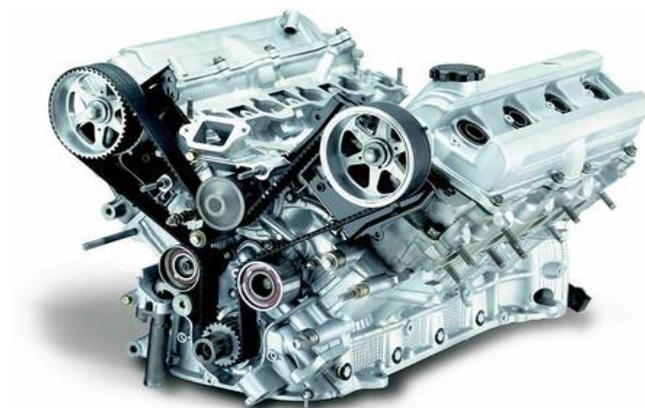
2.1.2. Componentes del Motor de Combustión Interna

Se realizará la descripción de los principales componentes fijos y móviles que se suelen afectarse de forma directa por causa de un sobre calentamiento de un motor de combustión interna:

El Bloque de cilindros: (Motorpasión, 2019), El bloque del motor es la pieza principal que da forma a un propulsor, es su caja torácica, como se observa en la figura 2. Dentro del bloque se encierran los cilindros y suele estar confeccionado en una sola pieza, pero además de los cilindros también incorpora múltiples canalizaciones para la lubricación o el sistema de refrigeración. En el interior del bloque, en los cilindros, son los alojamientos por los que suben y bajan los pistones, por lo que la precisión a la hora de su fabricación debe ser nanométrica.

Figura 2

Bloque de Motor



Fuente: (Motorpasión, 2019)

Pistones: Los pistones son los encargados de mover los gases. El vacío que generan en la cámara de combustión llama a la mezcla a su interior para luego comprimirla y aprovechar la fuerza de la explosión, el pistón se lo ilustra en la figura 3. Su movimiento vertical es el que empuja al cigüeñal a través de las bielas y es lo que posteriormente se convierte en la energía que mueve el vehículo. Están tallados en una sola pieza de metal hecha a medida para cada cilindro, pero para conseguir un cierre perfecto se añaden en su perímetro los segmentos.

Figura 3

Pistón del Motor



Fuente: (Motorpasión, 2019)

El cigüeñal: Al hablar del mecanismo de potencia de un motor de combustión interna, las bielas se conectan a los pistones a través de bulones y dichas bielas se unen a un solo árbol central llamado cigüeñal. Esta pieza de metal de forma irregular es la encargada de sincronizar el movimiento de los pistones, tal como se ilustra en la figura 4. Alternándose de esta manera y con la ayuda de un volante de inercia colocado en uno de los extremos, el motor consigue girar al unísono y producir energía de manera regular.

Entre las funciones de importancia que posee un cigüeñal está la de generar la sincronización de varios sistemas como lo son: Sistema de encendido, sistema de distribución, entre otros.

Figura 4*Cigüeñal del Motor*

Fuente: (Motorpasión, 2019)

La culata: También conocido como cabezote, es la parte más alta del motor y en ella se encuentra el organismo encargado de poner todo en orden, su ilustración se observa en la figura 5. También conocida como la cabeza de los cilindros, las culatas son la tapa que cierra la cámara de combustión y donde, además, se alojan las válvulas y sus sistemas de accionamiento (árboles de levas). Dichos árboles suelen estar unidos al cigüeñal a través de una correa y giran a la mitad de las revoluciones que el cigüeñal (dos vueltas de cigüeñal por cada vuelta del árbol de levas) para abrir y cerrar las válvulas, los encargados de que la mezcla de combustible entre y salgan los gases de escape.

Figura 5*Culata de Motor*

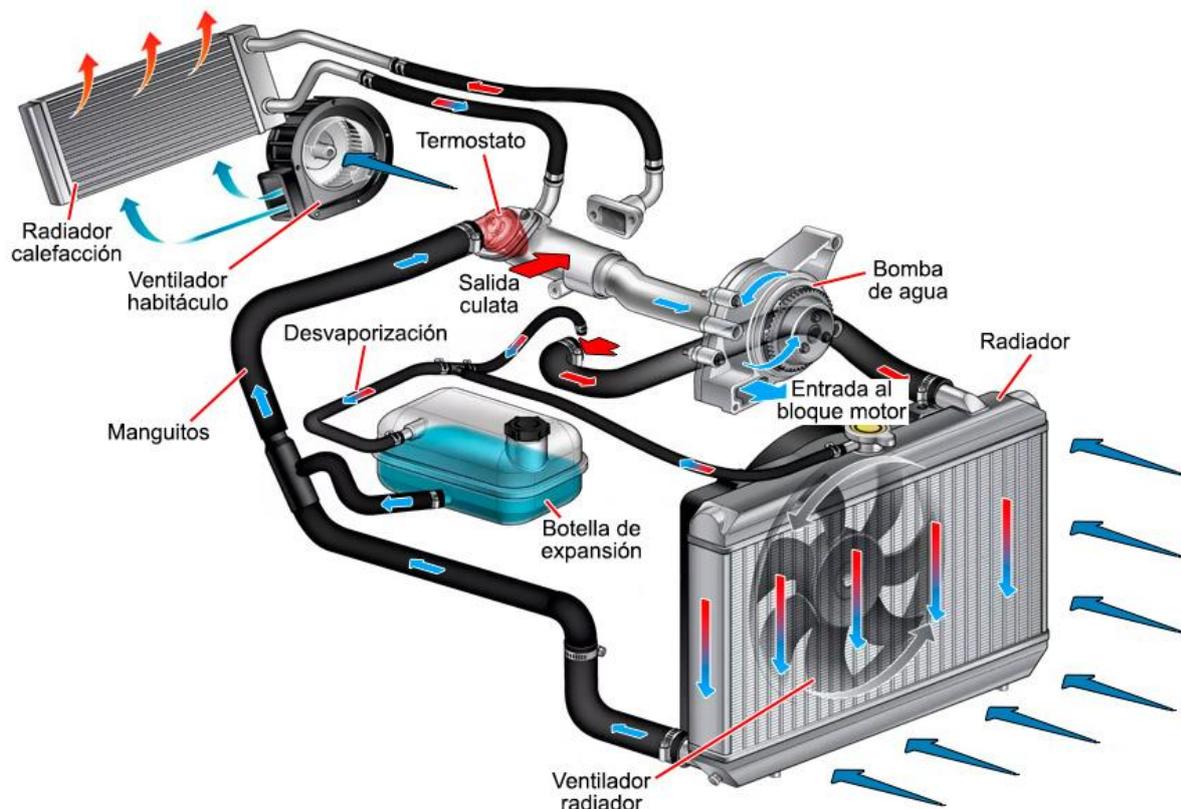
Fuente: (Motorpasión, 2019)

2.1.3. Sistema de Refrigeración del Motor de Combustión Interna

La temperatura es un parámetro que afecta de manera importante el funcionamiento de los motores de combustión interna modernos, en algunas partes se alcanzan temperaturas mayores a los 1000 0C (cámara de combustión), y en algunos casos los gases de escape pueden alcanzar los 550 0C, en un motor más de la tercera parte de la energía se disipa en forma de calor, el sistema de refrigeración se lo ilustra en la figura 6. El sistema de enfriamiento es el que se encargado que los diferentes componentes del motor mantengan temperaturas seguras y así evitar que sufran desgastes prematuros o daños importantes y lograr con ello su máximo rendimiento.

Figura 6

Sistema de Refrigeración del Motor



Fuente: (Talleres, 2022)

Algunas partes del motor que se deben enfriar constantemente son: Cámara de combustión, parte alta del cilindro, cabeza del pistón, válvulas de escape y admisión, cilindros entre otros, Los sistemas de refrigeración del motor componentes son los siguientes:

- Radiador: Enfría el aire al circular para bajar la temperatura del refrigerante.
- Ventilador: Su función es la de procurar un flujo de aire al radiador.
- Termostato: Se encarga de regular el flujo de refrigerante.
- Depósito: Guarda y conserva el refrigerante en buen estado.
- Bomba: La parte encargada de hacer circular el líquido refrigerante por el circuito.
- Manguitos: Conducen el refrigerante del motor al radiador.
- Líquido refrigerante: Circula por el circuito de refrigeración para disipar el calor.

2.1.4. Cámara Termográfica IR0280H

Es un termómetro de temperatura corporal con imágenes térmicas, que tiene dos tipos de modos de medición: medición de la temperatura del cuerpo humano y medición de la temperatura de la superficie del objeto. Modo de medición de la temperatura de la superficie del objeto, puede detectar efectivamente los cambios de temperatura y realizar una medición precisa de la temperatura en la superficie de un objetivo, cámara se lo visualiza claramente en la figura 7.

La cámara térmica de cuerpo portátil está diseñada en base a la ergonomía. Es más adecuado para dispositivos de mano durante un largo período de tiempo. Y también se puede fijar en el trípode para la función de monitor continuo. Es adecuado para operar en una variedad de entornos de trabajo, como electricidad, mecánica, tuberías y equipos de centros de datos.

Figura 7

Cámara Termográfica IR0280H



Fuente: (Perfectprime, 2023)

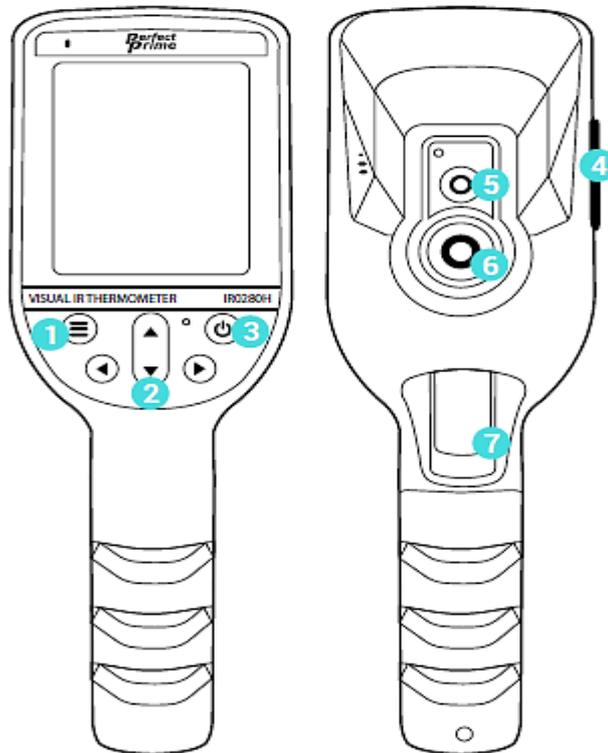
Las siguientes son las principales características de IR0280H:

- Alta precisión: El coeficiente de radiación ajustable aumenta la precisión de medición de las superficies reflectantes.
- Ahorro de tiempo: El termómetro infrarrojo tradicional necesita medir cada componente uno por uno, esto no es necesario para el IR0280H.
- Fácil de usar: Encienda el dispositivo y comience a medir la temperatura de inmediato.
- Imagen & video: El IR0280H tiene la capacidad de tomar imágenes y videos, lo que facilita a los usuarios analizar la situación.

- Ajustable: Se proporcionan 9 tipos de paletas de colores y una amplia gama de valores de emisividad.

Figura 8

Partes de la Cámara Termográfica IR0280H



- | | | | |
|---|-------------------------------|---|----------------------|
| 1 | Menu Button | 5 | Visible Light Camera |
| 2 | Up, Down, Left and Right Keys | 6 | Thermal Camera |
| 3 | Power Button | 7 | Measure Button |
| 4 | USB Port & SD Card Slot | | |

Fuente: (Perfectprime, 2023)

El producto se puede utilizar en muchos campos, por ejemplo:

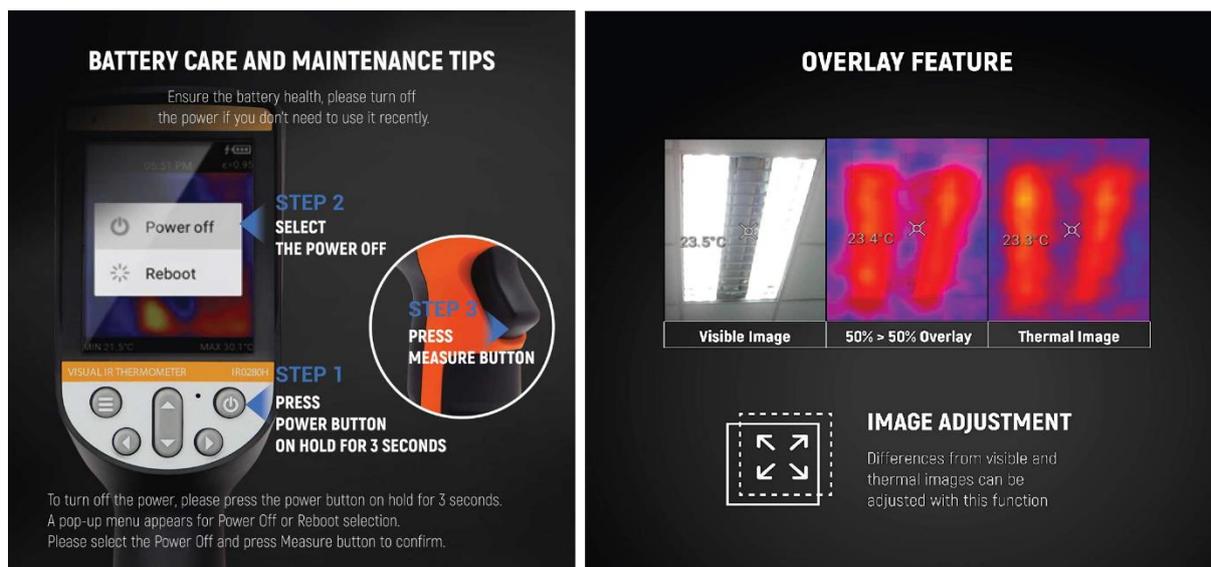
1. Detectar derrames y fugas de productos químicos que tienen diferentes ramas térmicas en los alrededores.

2. lucha contra incendios: La visión puede verse oscurecida por el humo y los escombros en caso de incendio, la imagen térmica puede ver a través de esto y localizar a las víctimas o detectar puntos.

3. Localice la fuente de fugas anormales de calor de una casa o una máquina, descubra el área problemática y arréglelo.
4. Permita que las unidades de control de drogas ubiquen plantas de cannabis detectando una cantidad anormal de calor en los edificios.
5. Detección de humedad: Las áreas con temperaturas más bajas en su entorno uniforme pueden ser una fuente de humedad o daños.

Figura 9

Especificaciones de la Cámara Termográfica IR0280H



Fuente: (Perfectprime, 2023)

2.2. Mantenimiento Predictivo

Uno de los tipos de mantenimientos que se aplican en el campo de la ingeniería automotriz lo es el mantenimiento predictivo el cual se conceptualiza en lo siguiente: Es una técnica la cual utiliza técnicas de análisis de datos y herramientas que permiten detectar anomalías en el funcionamiento de un sistema o posibles desperfectos o defectos en los equipos y procesos, de modo que permite tomar las acciones repentinas las cuales permiten solucionarse antes de que sobrevenga el fallo.

2.2.1. Metodología de las Inspecciones

Es el proceso a seguir como primera instancia para la determinación de la factibilidad y poder generar un mantenimiento de manera predictiva sobre un equipo o maquinaria para posteriormente determinar una o varias variables físicas dentro del análisis, lo que indica el estado del comportamiento de su funcionamiento que puede ser normal o anormal del equipo o máquina, con la finalidad de poderlo revisar de una manera minuciosa, generalmente se utilizan una serie de técnicas en el monitoreo de cada uno de los equipos de acuerdo a sistema que este lleve los mismos que se basan normalmente en condiciones.

El mantenimiento predictivo en definitiva se basa fundamentalmente en el monitoreo y este permite determinar la condición mecánica y el desempeño de la máquina o equipo, de tal manera que pueda ser utilizado normalmente con un mantenimiento seguro y de esta manera también disminuir costos de mantenimiento sobre todo correctivos, mejorando de esta manera su economía.

Al momento de tratar con el término de monitoreo, a este se lo considera como la medición de una determinada variable física que representa la condición de una máquina o equipo para luego ser comparada con valores preestablecidos o que estos valores determinen el correcto comportamiento o estado del sistema o tal caso también se puede determinar su deterioro.

En la actualidad y con el avance tecnológico se aplica un tipo de control basado en la automatización como técnica de control, lo cual cumple la función de extraer cada uno de los datos determinados, para luego dirigirlos a una fase de procesamiento de la información a través de comparaciones con valores preestablecidos, finalizando con el almacenamiento de cada uno de estos datos y de esta manera poder definir con mayor exactitud el estado de la máquina o equipo.

Cuando se aplica este tipo de metodología de control en el mantenimiento predictivo a través de un monitoreo de un equipo o máquina se debe tener muy en cuenta los siguientes conceptos:

- Vigilancia de máquinas
- Protección de máquinas
- Diagnóstico de fallas
- Pronóstico de vida útil

En lo concerniente a *vigilancia de máquinas*, el objetivo principal es el de indicar en qué momento se genera un inconveniente o problema, el cual se debe determinar su estado a través de su condición que puede ser: buena o mala. En caso de que se presente su definición como mala, se debe tomar una acción de determinar qué tan malo es su estado de operación.

En el caso de *protección de máquinas*, se tiene como finalidad el de evitar fallas e inconvenientes que pueden generarse de manera catastrófica. Se determina que un equipo o máquina protegida, es cuando cada uno de los valores o rangos que define la condición, alcanzan los valores que se los ha determinado como de peligro, que es donde la máquina o equipo por su seguridad se detiene de manera automática, cancelando de esta manera cualquiera de sus acciones que cumple.

Ahora bien, en el caso de tratar el término de *diagnóstico de falla*, este se fundamenta en la determinación de establecer si la máquina o equipo sirve para de esta manera establecer cual es el problema de manera específica.

Finalmente, el concepto de *pronóstico de vida útil* se establece que por medio de un historial de acciones de trabajo de una máquina o equipo se genera una estadística con cada uno de los datos recolectados y así poder establecer de manera concreta cuánto tiempo más funcionaría el equipo o máquina sin que este llegue a un estado que se lo considere como de alto riesgo en el caso de una falla catastrófica.

2.3. Termografía Infrarroja (TT)

La conceptualización de termografía infrarroja no es más que un método por el cual se llega a obtener imágenes en las que por efecto de distribución del calor que se encuentra sobre la superficie se evidencia su comportamiento térmico, esto se puede apreciar en la figura 10.

Figura 10

Toma de Imagen Termográfica Infrarroja



Fuente: (SKF, 2020)

Según (Cañada & Royo, 2016) establece que: “La termografía utiliza transmisión de calor por radiación como variable de temperatura y no necesita contacto físico con el elemento a ensayar ni tiempo de estabilización de temperaturas, consiguiendo tomar medidas de temperatura en lugares no accesibles con termómetros convencionales”.

En la actualidad se logra la obtención de imágenes térmicas en tiempo real, las mismas que representan por medio de una escala colorimétrica la distribución de temperaturas de cada una de las superficies de los objetos que se involucran en un ensayo o estudio.

Existen factores que afectan directamente a la toma de medidas con una cámara termográfica y estos son:

- Temperatura atmosférica
- Humedad relativa
- Distancia
- Temperatura ambiente
- Emisividad

2.3.1. Principios de la Termografía

Básicamente la termografía no es más que la transmisión del calor por radiación. La potencia que irradia un cuerpo u objeto negro puede estar siendo calculada a través de la ley de Planck. También se ocupa otra ley como lo es la de Stefan Boltzmann en la que según (Paucar & Sigüenza, 2016) lo “define la integral sobre todo el espectro de longitudes de onda, donde desde la energía radiada por cualquier cuerpo en el rango de infrarrojo se puede obtener la temperatura superficial del cuerpo”.

Ecuación 1

Modelo Matemático de la Ley de Stefan Boltzmann

$$Q_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4$$

Donde:

$Q_{emitida}$ = Energía emitida

ε = Emisividad de la superficie

σ = Constante de Stefan Boltzmann $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}^4$

A_s = Área de la superficie

T_s = Temperatura de la superficie

2.3.2. Transferencia de Calor

Para la conceptualización del este principio (Incropera & DeWitt, 1999) lo define como “Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura.

Siempre que exista una diferencia de temperatura en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor”.

Se considera a la transferencia de calor como un proceso el cual a través de el intercambio de energía entre varios cuerpos o también diferentes secciones del mismo elemento o cuerpo que se encuentren con distinta temperatura.

Este calor puede ser transferido de la siguiente manera o por procesos de:

- *Conducción*, cuyo proceso se basa en la conducción del calor o energía a través de un cuerpo sólido o un fluido estacionario.
- *Convección*, proceso por el cual genera por la convección de energía desde una superficie fija hacia un fluido en movimiento.
- *Radiación*, este proceso se da por un intercambio de energía o calor por medio de la radiación entre el espacio existente entre dos o más superficies.

Hay que tener en cuenta que dentro de un análisis por transferencia de calor que se dé por cualquiera de los tres tipos de procesos de transmisión de calor o a su vez la acción simultánea de los mismo o su respectiva combinación permitirá comprender que siempre solo uno de estos será el predominante del proceso.

Figura 11

Procesos de Transferencia de Calor



Fuente: (Coluccio, 2023)

En la figura 11, se puede apreciar un ejemplo básico en los que se representan estos tres procesos de transferencia de calor y donde se aplican de manera clara los conceptos de cada uno.

2.3.3. Leyes Aplicables a la Radiación Infrarroja

Sobre todo, para el análisis térmico aplicado a la transferencia de calor y necesarios para el presente estudio es fundamental conocer y entender las siguientes leyes que se aplican a la radiación infrarroja.

2.3.4. Ley de Radiación de Kirchhoff

Según (Sobrino, 2001) establece que “En general una fuente de radiación está rodeada por otras, de modo que además de comportarse como un emisor de radiación también se comporta como un receptor”. Cabe aclarar que en lo concerniente a la temperatura varía de acuerdo con la magnitud del calor o energía emitida y absorbida.

Se determinará que el proceso de radiación se encuentra en equilibrio cuando sus magnitudes son igualadas, independientemente de la longitud de onda que fuese considerada en el estudio.

Otro punto para tomar en cuenta es que los cuerpos que cuenten con una temperatura superior al cero absoluto o sea superior a -273 °K son los que emiten calor radiante.

En definitiva, un cuerpo siempre emitirá de manera exacta la misma cantidad de calor a la que está determinado que reciba de forma natural, bajo esta teoría se puede establecer la siguiente igualdad:

Ecuación 2

Igualdad de la Ley de Kirchhoff

$$\varepsilon = \sigma$$

Donde:

$\varepsilon =$ Emisividad

$\sigma =$ Absorción

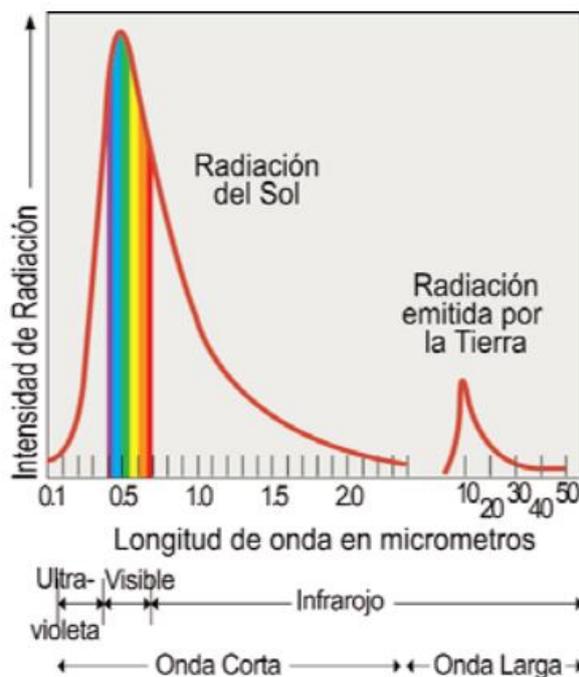
2.3.5. Ley de Wien

También conocida como la Ley del desplazamiento de Wien, esta ley determina que la curva de radiación del cuerpo negro para distintos valores de temperatura alcanza su punto máximo en distintas longitudes de onda las cuales son inversamente proporcional a la temperatura.

Como por ejemplo explicativo se puede referir al sol el mismo que emite energía de forma de radiación de onda corta, fundamentalmente en la banda del ultravioleta, la cual es visible y cercano al infrarrojo, estas longitudes de onda están en un rango de 0.2 y 0.3 micrómetros, como se puede apreciar en la figura 12 y a la mayor cantidad de energía radiante emitida por el sol es concentrada en el rango de longitudes tanto de onda corta como del espectro visible.

Figura 12

Cantidad de Radiación Solar y Terrestre



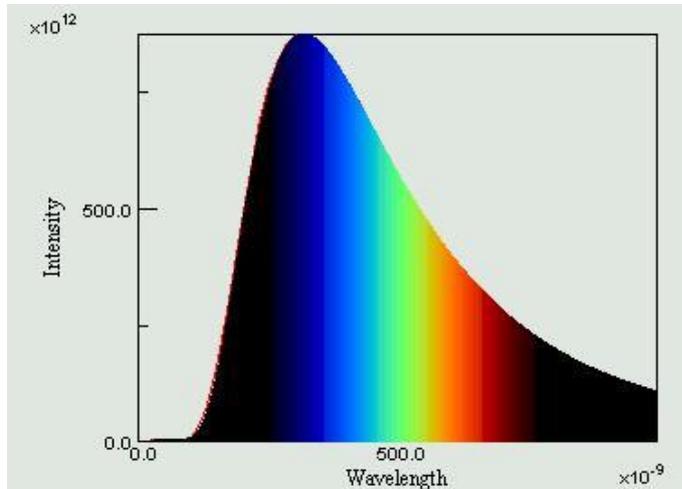
Fuente: (Fernández, Guzmán, Vázquez, Michel, & Rojas, 2006)

En definitiva, en la figura 13 se puede apreciar, la Ley de Wien que indica cómo se produce la variación de color de la radiación cuando se presente una variación de temperatura

en la fuente emisora y permite comprender cómo van variando los colores aparentes sobre los cuerpos negros.

Figura 13

Parámetros de Colores de Ley de Wien



Fuente: (Paucar & Sigüenza, 2016)

En la figura 13 se puede apreciar como es el comportamiento de la Ley de Wien en la que se contempla los siguientes aspectos:

- Los elementos con mayor temperatura exponen la mayoría de su radiación en distancias de onda cortas, por lo que se mostrarán con una tonalidad más azul.
- Los elementos con menor temperatura exponen la mayoría de su radiación en distancias de onda largas, por lo que se mostrarán con una tonalidad más roja.

2.3.6. Espectro Electromagnético

Según (Rodríguez & Virgós, 1999) lo define al “espectro de una radiación compuesta al conjunto de frecuencias que contiene y puede ser discreto o continuo”.

De la misma manera se conoce a la distribución energética a la unión de todas las ondas electromagnéticas, que se refieren a un elemento al cual se lo denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que es emitida o que absorbe una determinada sustancia.

Se debe tener en cuenta que los distintos tipos de radiaciones electromagnéticas presentan diferencias entre sí, debido a la variación de longitud de onda o de su frecuencia emitida.

Uno de los conceptos que se utilizan en este aspecto es la *emisividad* (ϵ), la cual es la capacidad que posee un objeto para poder emitir energía infrarroja, teniendo en cuenta que mientras mayor es el calor que posee el objeto, la energía infrarroja emitida es mayor.

La emisividad genera solo dos valores de tendencia y estos son descrito de la siguiente manera:

Si el valor tiende a ser cero para un reflector perfecto o espejo brillante y si tiende a uno corresponde a un emisor perfecto o radiador de Planck.

En definitiva, la emisividad no es más que la relación de la luminosidad de la superficie de un elemento con respecto a un cuerpo negro con la condición de que se encuentren a la misma temperatura y durante el mismo intervalo espectral.

2.4. Términos y Definiciones Según Norma ISO 18434-1:2008(E)

Para la interpretación y generación del análisis de los parámetros o resultados que se obtienen con la cámara termométrica se requiere del conocimiento de cada uno de los términos básicos, así como definiciones de estos los cuales son extraídos de la Norma ISO 18434-1:2008(E), los mismos que se detallan a continuación:

2.4.1. *Temperatura Aparente*

Este término se refiere a la lectura no compensada de una cámara diseñada para la aplicación en termografía infrarroja que posee la totalidad de radiación incidente sobre el detector, pero de forma independiente de su origen.

También se lo define como un índice de calor y se lo determina en grados Celsius o Fahrenheit, de acuerdo con el país que se lo aplique, en definitiva, es una medida de como en

la realidad se siente cuando se llega a una combinación entre la humedad relativo y la temperatura real del aire.

2.4.2. Medios Atenuantes

Se los define de esta manera a todos los medios que cumplen la función de atenuar la radiación infrarroja que es emitida desde una fuente y entre los cuales se tiene los siguientes:

- Ventanas
- Filtros
- Atmósfera
- Ópticas externas
- Materiales, entre otros

2.4.3. Cuerpo Negro

Este es un cuerpo físico ideal el cual absorbe toda la energía radiante incidente, sin que tenga importancia la frecuencia o el ángulo de incidencia. El nombre que se a determinado como lo es cuerpo negro se lo da por el motivo que absorbe todos los colores de la luz que inciden sobre su superficie.

De esta manera es un emisor perfecto ideal el mismo que es un absorbente absoluto de la radiación térmica a todas las longitudes de onda.

2.4.4. Emisividad

La emisividad antiguamente fue denominada emitancia, es la proporción de radiación térmica que es emitida por una superficie o elemento debido a su nivel de temperatura, teniendo en cuenta que deben estar a la misma temperatura y con el mismo lapso de intervalo espectral.

2.4.5. Cámara de Termografía Infrarroja (IRT)

Es el instrumento que tiene como objetivo el de recoger la energía radiante infrarroja de una determinada superficie o de análisis la cual es procesada para obtener una imagen de

aspecto monocromo es decir en blanco y negro o color en donde cada uno de los tonos ya sea de grises o de colores se encuentran relacionados con la superficie en la que su objetivo es el de determinar la distribución de la temperatura aparente.

2.4.6. *Procesamiento de Imágenes Térmicas*

Consiste en transformar una imagen a formato digital y aplicar una mejora considerable con la finalidad de ser visible en un ordenador y poder realizar un análisis visual de la toma.

2.4.7. *Termografía Infrarroja*

Esta es una técnica la cual permite determinar los valores de temperatura de una superficie a distancia y sin la necesidad de tener un contacto físico con el objetivo de poder ser estudiado. La termografía permite lograr la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético de una superficie a través de la utilización de cámaras térmicas o de termovisión.

2.4.8. *Repetibilidad*

Es la capacidad que posee un determinado instrumento para poder repetir exactamente una lectura en un elemento fijo en un determinado periodo sea este corto o largo.

2.4.9. *Procesamiento de la Señal*

Esta es la capacidad de manipulación de señal que para este caso es la temperatura o los datos de imagen con el fin de mejorar o controlar de manera óptima un determinado proceso.

2.4.10. *Objetivo*

Es la superficie de una objeto o elemento sobre el cual se va a realizar la toma de muestra o medición.

2.4.11. Termograma

Este término se refiere a la reproducción en imagen de los datos obtenidos por un termógrafo generando de esta manera un mapa térmico donde sus tonos que pueden ser grises o de colores representan la distribución de infrarrojos, de acuerdo a un sistema de ensayos el cual reporta información muy importante de lo que ocurre con la superficie del material de un objeto por medio de las curvas que se van obteniendo.

2.4.12. Distancia de Trabajo

Es el espacio o distancia que se presenta entre la superficie del objeto que se va a realizar la medición y el instrumento de medición.

Capítulo III

Método de Termografía Aplicada al Motor de Combustión Interna

3.1. Introducción al Ensayo Termográfico sobre un Motor de Combustión Interna

Durante la vida útil de un motor de combustión interna se presentan normalmente fallos los cuales son minimizados o solucionados a través de los distintos tipos de mantenimientos como lo son:

- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Sintomático
- Mantenimiento Correctivo

Todos estos mantenimientos se encuentran justificados siempre y cuando sean aplicados correctamente y alarguen la vida operativa de un motor y disminuyendo al máximo el costo por correctivos ya que esto se traduciría en pérdidas significativas para la empresa o propietario.

Dentro del mantenimiento predictivo como se lo explicó en el Capítulo II, se está aplicando el método de control por medio de la termografía, lo que permite de una manera fácil y óptima la detección de fallas o condiciones de falla por medio de la detección e interpretación de temperaturas por parte de pantallas denominadas firmas térmicas, las cuales logran emitir información correcta al instrumentista para que sean analizadas y se pueda determinar la falla.

Hay que entender que básicamente un motor de combustión interna cuenta con un conjunto de sistemas que trabajan con principios termodinámicos en su funcionamiento normal.

Las *firmas térmicas*, cumplen la función de presentar la imagen térmica la cual indica las condiciones de los elementos en funcionamiento a través de las superficies de contorno o externo lo cual genera un promedio de la temperatura superficial e interna.

De esta manera se aprecia los fallos insipientes que se pueden estar generando durante el funcionamiento de los sistemas o mecanismos del motor de combustión interna, para posteriormente generar el respectivo análisis de falla.

Cabe aclarar que algunos de los fallos de los sistemas no serán detectados de forma directa debido a la contaminación de elementos de su entorno.

3.2. Funcionamiento de la Cámara Termográfica IR0280H

La cámara térmica de la marca *Perfect Prime* del modelo IR0280H, la cual se utiliza en el presente estudio investigativo es un dispositivo del tipo termómetro con aplicación en temperatura con imágenes térmicas, el mismo cuenta con dos tipos de modo de medición: temperatura de la superficie de objeto y medición de temperatura del cuerpo humano.

Este equipo puede detectar de manera efectiva cada uno de los cambios de temperatura que se generan y realizar la toma de temperatura de manera precisa de la temperatura que genere la superficie del objeto.

Una de las ventajas con que cuenta este equipo es que la medición de la temperatura puede realizarse desde distancias cortas o largas con un rango efectivo y posee un modo de seguimiento para poder encontrar la mayor temperatura y permite realizar tomas fotográficas para la activación de funciones de alarmas.

En la figura 14 muestra claramente el diseño de la cámara termográfica IR0280H en la que, dentro de lo correspondiente a la ergonomía del equipo, este cuenta con un diseño de su cuerpo portátil siendo más adecuado para dispositivos de mano durante un prolongado periodo de tiempo, así mismo puede ser fijado a un sistema del tipo trípode para la función de monitor continuo.

Este equipo de medición térmica también permite que su operación se realice en una variedad de entornos de trabajo como los siguientes: equipos de centros de datos, mecánica, tuberías y electricidad.

Figura 14

Cámara Termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H



3.2.1. Componentes de la Cámara Termográfica

Las cámaras térmicas básicamente cuentan con cuatro elementos como son los siguientes:

- *Sistema óptico*, el cual cumple la función de generar una imagen a través de la radiación en un rango de distancia de onda térmica.
- *Sistema de detección*, el mismo que es el responsable de convertir de una manera proporcional la radiación en una señal eléctrica.
- *Sistema de procesador electrónico*, el cual realiza una conversión de la señal eléctrica en una señal de video.

- *Sistema de visualización o pantalla*, el cual permite generar una imagen visual de lo que se genera en el video.

3.2.2. Características de la Cámara Termográfica

La cámara termográfica que se utiliza para el presente trabajo investigativo posee algunas características de importancia como lo son las siguientes:

- *Alta precisión*: Al contar con un coeficiente de radiación ajustable permite ajustar el aumento de precisión en cuanto a la medición de las superficies reflectantes del objeto a ser analizado.
- *Ahorro de tiempo*: Su termómetro infrarrojo tradicional requiere medir cada elemento uno por uno, por lo que en este tipo de cámara termográfico Perfect Prime IR0280H esto no es necesario
- *Fácil uso*: Su operabilidad es tan fácil que solo se requiere de encender el dispositivo y comenzar a realizar las tomas de medidas de temperatura de manera inmediata.
- *Imagen y video*: Esta cámara posee la capacidad de tomar imágenes, así como videos, facilitando de esta manera a los operarios su uso en múltiples situaciones como espacios.
- *Ajustable*: Permite utilizar nueve tipos de paletas de colores y una amplia gama de valores de emisividad.

3.2.3. Campos de Aplicación de la Cámara Termográfica Perfect Prime IR0280H

Este equipo de medición térmica puede ser utilizado en múltiples campos, como, por ejemplo:

- Detección de derrames y fugas de productos químicos
- Inspección de edificaciones
- Visión nocturna por medio de la medición de energías electromagnéticas

- Medición de temperatura corporal
- Detección de áreas con humedad
- Localización de fuentes de fugas anormales de calor
- Lucha contra incendios y localización de personas
- Actividades del área industrial

3.3. Preparación del Equipo

Antes de proceder a cualquier tipo de medición termográfica es muy importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cámara termográfica debe ser calibrada por medio del uso de una fuente de radiación o un simulador de cuerpo negro.
- Aplicar funciones de corrección en las cuales intervienen algunos efectos ambientales tales como: intervalos de temperatura más amplios posibles, emisividad y atenuación atmosférica.
- El área observada a través del visor no necesariamente coincide con el área espectral analizada por el sensor térmico.
- El alcance de un aumento de precisión dependerá de la aproximación o introducir lo más próximo posible al elemento a medir.

3.4. Aspectos Considerados en la Toma de Firmas Térmicas

En el caso de la captura de las firmas térmicas se debe considerar los siguientes parámetros los mismos que ayudan a la calibración de la cámara termográfica y estos son los siguientes:

- Especificaciones y capacidades del equipo termográfico
 - Rango
 - Resolución del equipo
- Condiciones meteorológicas

- Humedad relativa
- Temperatura ambiental
- Presión atmosférica
- Materiales con lo que está construido el elemento a ser analizado
 - Emisividad

3.5. Identificación de la Zona de Análisis

Para la determinación de las áreas en las que se realizarán el análisis se establecen cada uno de los sistemas con que trabaja el motor del vehículo a ser estudiando para la presente investigación que es el vehículo Zotye 560, como se lo puede apreciar en la figura 15.

Figura 15

Vehículo Marca Zotye Modelo 560



El análisis que se lleva a cabo es directamente en el comportamiento del sistema de transformación de energía del motor del vehículo Zotye 560 el mismo que posee las siguientes características de su motor:

- Cilindrada: 1500 cm³

- Año de puesta en producción: 2017
- Combustible: Gasolina
- Potencia: 144 CV a 5600 rpm
- Potencia por litro: 96.1 CV por litro
- Par máximo: 207 Nm @ 2500 – 4500 rpm
- Disposición del motor: Frontal, transversal
- Cilindrada real: 1499 cm³
- Número de cilindros: 4
- Configuración del motor: En línea
- Diámetro de cilindro: 75 mm
- Recorrido de cilindro (carrera): 84.8 mm
- Relación de compresión: 9.3:1
- Número de válvulas por cilindro: 4
- Sistema de inyección de combustible: Inyección indirecta multipunto
- Aspiración del motor: Turbocompresor, intercooler

Para el presente ejemplo investigativo se tomará en cuenta la determinación de temperatura generada por el trabajo de combustión y toma de medidas de temperatura en el área del cabezote de manera externa ya que en esta sección se puede monitorear directamente con la ayuda de termografía infrarroja, otra de las ventajas de la sección de esta área lo es que no existe demasiada contaminación de energía de radiación.

En la figura 16 se puede apreciar el motor del vehículo Zotye 560, el mismo que dentro del funcionamiento cuenta con valores de temperatura determinados por su correcta operación de los sistemas que lo conforman, sobre todo en el área de estudio como lo es el cabezote en su parte externa el cual está elaborado de aleaciones de aluminio el cual es un metal óptimo para este tipo de elementos el cual trabaja con temperaturas elevadas y a su vez

no cuenta contaminación de otros componentes los que no influyen en variaciones térmicas anexas, adicional cuenta con una respuesta térmica elevada, la cual irradia las fluctuaciones de temperatura.

Figura 16

Motor del Vehículo Marca Zotye Modelo 560



3.6. Parámetros Fundamentales de Operación de Cámara de Imagen Térmica IR0280H

Antes de proceder a la aplicación de la metodología se debe tener en cuenta todas las consideraciones a tomar antes de utilizar la cámara de imagen térmica, así como el saber cada una de las características y funciones las mismas que se exponen a continuación:

3.6.1. Consideraciones de Seguridad

Las consideraciones de seguridad antes y durante el uso del equipo se resumen de la siguiente manera:

- No se permite el uso del equipo en zonas o entornos explosivos, corrosivos o inflamables.
- Al momento de utilizar el equipo, este no debe estar conectado el cable USB.
- Evitar golpes o caídas del equipo ya que este posee elementos ópticos electrónicos y sensibles de precisión, los cuales pueden ser afectados o dañados por completo el dispositivo.

- La limpieza de la carcasa del equipo no se debe realizar con solventes o abrasivos, se recomienda su limpieza con un paño húmedo o con un jabón muy suave. Para el caso de la limpieza de la pantalla se debe utilizar un limpiador óptico especial.
- No desarmar de forma parcial o total el equipo ya que se puede dañar por completo.

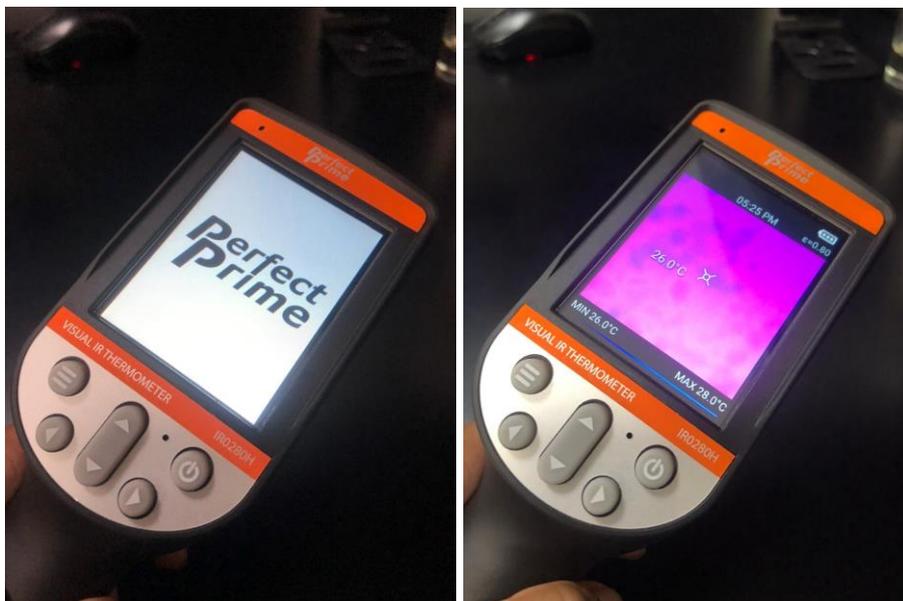
3.7. Flujo de Operación de la Cámara de Imagen Térmica IR0280H

Dentro de las condiciones y configuraciones para el uso del equipo se debe conocer y tener en cuenta los siguientes aspectos:

3.7.1. Encendido

Figura 17

Encendidos de la Cámara Térmica IR0280H



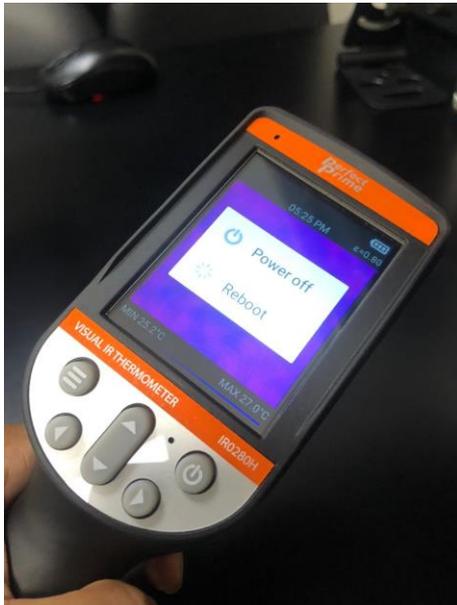
Para iniciar con el funcionamiento de la cámara se debe mantener presionado el botón de encendido por un lapso de 2 segundos, en la que inicialmente se presentará la pantalla de apertura como se puede apreciar en la figura 17, luego de unos segundos se genera la inicialización del software y se presenta la pantalla de medición.

3.7.2. Apagado

En el caso de finalizar con el uso del equipo, se procede a presionar por dos segundos el botón de encendido en el que aparecerá dos opciones en un menú en el que el superior es de apagar y el inferior es de restauración, como se puede apreciar en la figura 18.

Figura 18

Apagado o Restauración de la Cámara Térmica IR0280H



Para la selección de estas opciones se utiliza el botón de arriba / abajo y para finalizar se presiona el botón medir para confirmar.

3.7.3. Pantalla Apagada (Modo Reposo)

Para gestionar la pantalla de apagado o en reposo se procede a presionar el botón de encendido una sola vez para apagar la pantalla y en caso de que se requiere restablecer nuevamente la pantalla se presiona el botón de encendido por una vez y la pantalla se enciende nuevamente.

3.7.4. Pantalla de Menú

Una vez encendido el equipo se procede a presionar el botón de menú el cual permite el ingreso al modo denominado menú, como se puede apreciar en la figura 19, en donde se puede apreciar cada uno de los íconos que presenta.

Para el desplazamiento de los íconos se lo realiza con las teclas de Arriba / Abajo / Izquierda / Derecha, y para abrir la selección se lo realiza con el botón Medir.

En caso de querer volver al modo menú se presiona el botón Medir para su confirmación.

Figura 19

Pantalla de Menú de la Cámara Térmica IR0280H



A continuación, se presenta el resumen de cada uno de los íconos del menú:

- a) Brillo de pantalla
- b) Configuración de fecha y hora
- c) Temporizador de apagado automático de la pantalla
- d) Alarma de fiebre o nivel máximo
- e) Captura de imagen térmica cuando se supera la temperatura de alarma durante un periodo de tiempo
- f) Configuración de unidades de temperatura que puede ser en grados Celsius o grados Fahrenheit
- g) Ajuste de emisividad en el rango de 0.01 a 1.0

- h) Ver imagen o video térmico capturado
- i) Formato de imagen (configuración del formato de salida de la imagen ya sea en mapa de bits o JPEG)
- j) Restablecimiento de configuración con parámetros de fábrica
- k) Selección de paletas de colores de imagen térmica
- l) Eliminar imagen o video permanentemente
- m) Filtro de temperatura corporal

3.7.5. Pantalla de Medición

Como se puede apreciar en la figura 20, la pantalla de la cámara de imagen térmica IR0280H, presenta algunas opciones y parámetros al momento que esta se encuentra encendida en la que normalmente nos muestra los siguientes puntos de información:

Tiempo y emisividad

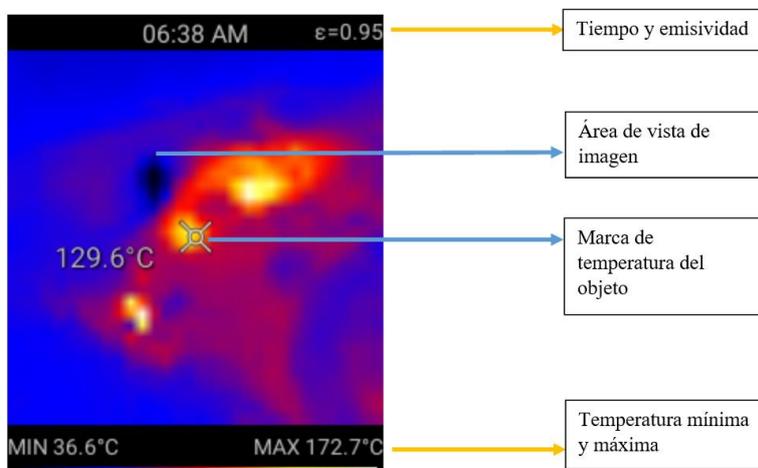
Área de vista de imagen

Marca de temperatura del objeto

Temperatura mínima y máxima

Figura 20

Pantalla de Medición de la Cámara Térmica IR0280H



En esta fase se ingresa presionando el botón Menú y con la ayuda de los botones de dirección se puede cambiar a distintas formas de imagen como lo son:

- Imagen térmica
- Imagen visual
- Imagen superposición

Presionando el botón izquierdo y según el requerimiento se puede seleccionar los modos de filtro de la imagen como son los siguientes:

- Filtro temporal
- Filtro Gaussiano ancho
- Sin filtro

Presionando el botón Medir permite capturar la imagen y manteniendo presionado este botón en cambio permite capturar video térmico.

Para el almacenamiento de las capturas de imagen o videos esto se van guardando en la memoria interna del equipo o caso contrario también permite el almacenamiento en una tarjeta externa del tipo SD.

En el caso de realizar una grabación de un video de la prueba aparecerá un ícono de grabación y este video se guarda en formato mp4. Cuando se libera el botón Medir, la grabación de proceder a detener y automáticamente se graba en la memoria.

Otra consideración para tomar en cuenta es la marca de temperatura del objeto la cual es táctil, lo que permite que al tocar la pantalla se puede mover la marca de temperatura pudiendo cambiar su ubicación.

3.7.6. Archivos Csv (*Valores Separados por Comas*)

Por cada toma de imagen, el software del programa del equipo guarda archivos Csv de cada una de las imágenes para que estos puedan ser analizados y generar informes.

Este archivo muestra el punto de temperatura de cada 32 x 32 pixeles. Estos archivos pueden ser visualizados en la opción de Almacenamiento interno / Tarjeta SD / DCIM / Csv.

3.7.7. Opción de Emisividad

Con esta opción se procede a ajustar la emisividad con los botones de Arriba /Abajo, para confirmar se presiona el botón Medir y presionando el botón Menú se vuelve a la pantalla anterior que es la de medición.

Se presentan cuatro tipos de modo de medición de objetos como lo son:

Objeto grueso (fácil de emitir energía) = 0.95

Objeto semi mate = 0.80

Objeto semi brillante = 0.60

Objeto brillante = 0.30

A continuación, en la tabla 1 se presenta valores de radiación térmica de algunas sustancias

Tabla 1

Tabla de Emisividad

| Sustancia | Radiación Térmica | Sustancia | Radiación Térmica |
|------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Betún | 0.9 – 0.98 | Ropa negra | 0.98 |
| Hormigón | 0.9 | Piel húmeda | 0.88 |
| Cemento | 0.96 | Espuma | 0.75 – 0.8 |
| Arena | 0.9 | Polvo de carbón | 0.96 |
| Tierra | 0.92 – 0.96 | Pintura | 0.8 – 0.95 |
| Agua | 0.92 – 0.96 | Pintura mate | 0.97 |
| Hielo | 0.92 – 0.98 | Caucho negro | 0.9 |
| Nieve | 0.83 | Plástico | 0.85 – 0.95 |
| Vaso | 0.90 – 0.95 | Madera | 0.9 |
| Cerámica | 0.9 – 0.94 | Papel | 0.7 – 0.94 |
| Mármol | 0.94 | Hemitrioxido de cromo | 0.81 |
| Yeso | 0.8 – 0.9 | Óxido de cobre | 0.78 |
| Mortero | 0.89 – 0.91 | Óxido férrico | 0.78 – 0.8 |
| Ladrillo | 0.93 – 0.96 | Textil | 0.9 |

3.7.8. Ajuste Superposición de Imágenes

Esta es una importante opción que brinda este tipo de equipo en el que combina la imagen de la superficie del elemento en estudio con la imagen del comportamiento térmico del área en estudio.

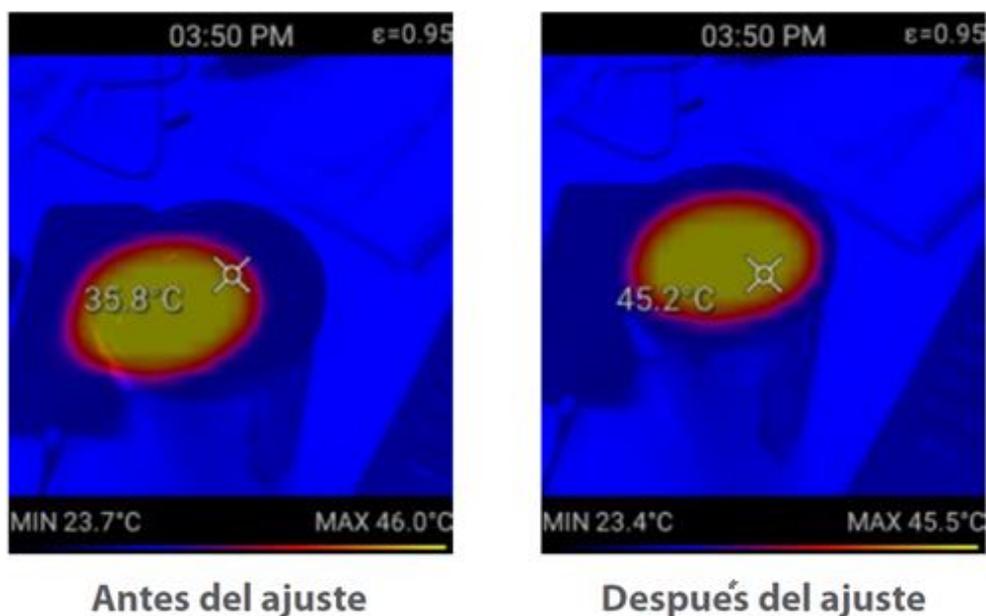
La activación de este modo se da de la siguiente manera:

- En la pantalla de detección, se procede a presionar el botón Arriba hasta que alcance el modo del 50% térmico y el 50% visual.
- Se mantiene pulsado el botón de Menú durante unos 8 segundos
- Se procede a presionar el botón de Menú por dos veces y luego se lo mantiene presionado durante un lapso de 3 a 4 segundos y luego se procede a soltarlo.
- Una vez que se pueda observar el CaliXY en la parte superior de la pantalla, está listo para comenzar a generar el ajuste de superposición con la ayuda de las teclas de direccionamiento.

Como por ejemplo de la opción de superposición esta se puede apreciar claramente en la figura 21.

Figura 21

Pantalla de Superposición de Imágenes



3.8. Desarrollo del Experimento

En los motores de combustión interna al ser un sistema térmico cada uno de sus elementos trabajan o reciben distintas temperaturas por lo que están involucrados en la presencia de averías incipientes, por lo que se debe considerar que muchos de estos no son detectables sino hasta el llegar a un mantenimiento correctivo, por esta razón la aplicación de la metodología de termografía plantea la toma de datos para poder generar un análisis termográfico en cada uno de los sistemas críticos con la consideración que se debe tener una base de datos de los rangos normales de temperaturas de trabajo cuando el sistema o elemento trabaja de manera normal.

La consideración que se toma en cuenta en el presente estudio y como ejemplo de la aplicación de esta metodología lo es en el sistema de transformación de energía la cual se realiza en cada una de las cámaras de combustión que posee el motor de combustión interna específicamente en el cabezote.

La justificación de la realización de esta toma de datos en esta área de estudio es por el motivo que normalmente no pueden ser detectadas las anomalías que se pueden presentar en el caso de ser incipientes. Tomando en cuenta el funcionamiento normal del motor Zotye Modelo 560, el desarrollo experimental se lo considera de forma cuantitativo por la toma de medias de temperaturas en distintas condiciones de funcionamiento generadas de forma controlada.

3.9. Identificación de la Zona de Estudio

Para poder realizar el experimento de toma de datos y análisis dentro del comportamiento termográfico de la zona de transformación de energía se delimita el área lateral del cabezote con respecto a cada una de las cámaras de combustión que en este caso es de cada uno de los cuatro cilindros que presente el motor Zotye modelo 560.

Dentro de la zona delimitada posee una característica de ser un área de alta sensibilidad y también ayuda a la toma de lecturas por ser una zona con amplia accesibilidad lo que permite un mejor trabajo en lo correspondiente a la toma de medidas de temperatura para cada uno de las cámaras de combustión.

En la figura 22 se puede observar de manera clara la zona delimitada para la toma de medidas y también la accesibilidad con la que se cuenta.

Figura 22

Zona Limitada para la Toma de Datos en un Motor Zotye Modelo 560



3.10. Descripciones a Tener en Cuenta para la Toma de Datos

Para el desarrollo del presente experimento en el cual se investiga el comportamiento de una zona en la que presenta una variación de temperatura producida por la transformación de energía que provoca las cámaras de combustión del motor Zotye modelo 560, se debe considerar los siguientes factores los cuales se los debe considerar cuando su funcionamiento es óptimo y que ocurre con la temperatura al momento de presentarse una falla:

En el cabezote se conforma gran parte de la cámara de combustión en la que se genera la transformación de energía, por lo que la elevación de temperatura es alta por lo que se considera como zona de análisis, el material con el que se encuentra fabricada es de aleaciones de aluminio con tratamientos térmicos en zonas de alta temperatura y presión, también se toma en cuenta que esta zona no se encuentra contaminada con interferencia térmica de otros componentes del motor, que podrían estar influyendo en la toma de datos, así mismo posee una respuesta térmica alta, lo que ayuda a detectar la variación de temperatura sin inconvenientes.

Tanto los cilindros en conjunto con los pistones del motor forman parte de las cámaras de combustión, los cilindros pueden ser mecanizados dentro del bloque de cilindros o colocados de forma adicional y se los conoce como camisas. Además de la transformación de energía que se provoca por la combustión, también se presenta la fricción entre pistón y cilindro lo que provoca también una elevación de temperatura, por este motivo el diseño del bloque de cilindros y del cabezote incorporan conductos de refrigeración y lubricación. Estos elementos poseer características de resistencia de desgaste, conductividad térmica, un bajo coeficiente de rozamiento y resistencia superficial.

Otro de los aspectos importantes a tomar en cuenta tanto para la toma de datos como para el análisis lo es el régimen de giro del motor, esta consideración se debe tener en cuenta que este parámetro no constituye una avería al fenómeno de transformación de energía, pero lo que si se debe considerar es que al generarse variación en el régimen de giro se puede provocar vibraciones las cuales podrían llegar a afectar a la toma de datos.

Por último, se debe tener en cuenta al factor de alimentación de aire combustible y del sistema de encendido, ya que estos controlan directamente el comportamiento de la transformación de energía dentro de la cámara de combustión y son los que se toman en consideración para la parte experimental de este estudio.

3.11. Obtención de Datos Referenciales

Una vez delimitada la zona de estudio para la obtención de los datos referenciales del presente experimento se procede a la toma de medidas con las condiciones de funcionamiento óptimas del motor de combustión interna lo que permitirá extraer los valores normalizados o rangos óptimos de funcionamiento lo mismos que se almacenarán para la ponderación respectiva del ensayo.

Las condiciones que se procede a aplicar en lo concerniente al motor son las siguientes:

- Estabilización de temperatura de motor de funcionamiento normal.
- Motor estabilizado a ralentí con 790 revoluciones por minuto.
- Funcionamiento óptimo del motor de combustión interna.

Una vez controlado cada uno de estos parámetros se procede a encender la cámara térmica IR0280H y se calibra según los parámetros explicados en secciones anteriores de este documento.

Una vez que se tiene controlado el ambiente experimental se procede a la toma de medidas que para este caso se lo realiza con 10 tomas por cilindro como se muestra en la figura 23, con la imagen en modo visual y solo con la toma de temperatura normal.

Figura 23

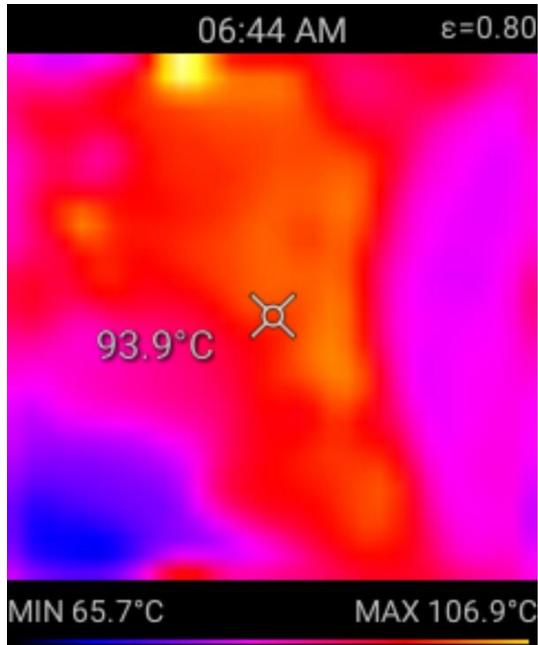
Extracción de Datos de Referencia en Modo Visual



En la figura 24, se aprecia otra toma de datos en el mismo punto del cilindro número uno, pero en modo de imagen térmica.

Figura 24

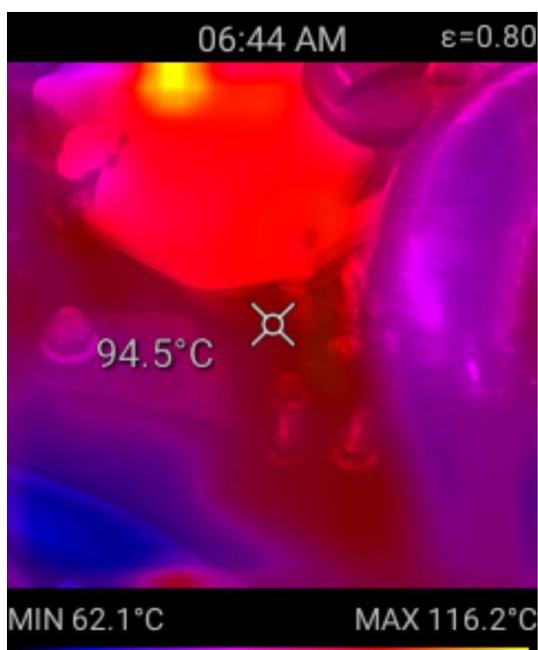
Extracción de Datos de Referencia en Modo Térmica



En la figura 25 se puede apreciar el mismo punto de toma de datos, pero con el modo de imagen superpuesta, en la que es una combinación entre las dos anteriores.

Figura 25

Extracción de Datos de Referencia en Modo Superpuesta



En la tabla 2 se puede observar de manera clara el resumen de los valores ya promediados de la toma de cada uno de los cilindros del motor, teniendo en cuenta que todos los valores son tomados en grados Centígrados.

Tabla 2

Valores Promedio en Condiciones Normales de Funcionamiento

| N° Cilindro | Valor de Temperatura Promedio en °C |
|--------------------|--|
| 1 | 92.1 |
| 2 | 94.5 |
| 3 | 93.9 |
| 4 | 93.7 |

3.12. Simulación de Falla con Eliminación de Sistema de Encendido y Alimentación de Combustible

Luego de haber extraído los valores de referencia con un correcto funcionamiento del motor Zotye Modelo 560, se procede a generar la simulación de fallas para de esta manera realizar una extracción de datos con los que se realizará el respectivo análisis del comportamiento en lo concerniente a la temperatura superficial del elemento en investigación como lo son las zonas determinadas según la disposición del cilindro.

Se procede a realizar dos tipos de simulaciones como son las siguientes:

3.12.1. Simulación de Falla - Sistema de Encendido

La realización de esta simulación referente con el sistema de encendido consiste en generar dicha falla de forma directa a la cámara de combustión del motor como lo es el corte de la chispa de la bujía por el motivo que esta influye del desempeño normal del cilindro, afectando así a su funcionamiento normal.

El procedimiento para la generación la simulación de esta falla es sencillo y se da de la siguiente manera:

- Encender el motor y esperar a que entre en temperatura de funcionamiento.
- Desconectar el conector de la bobina del cilindro número uno y esperar cinco minutos para que se establezca la temperatura del área de toma de medida que en este caso es en la parte exterior del cabezote como se puede apreciar en la figura 26.
- Una vez transcurrido este tiempo se procede a la toma de la medida la misma que se procede a registrarla.
- Colocar nuevamente el conector de la bobina.
- Repetir este procedimiento con cada uno de los cilindros restantes.

Figura 26

Generación de Simulación de Falla en Sistema de Encendido

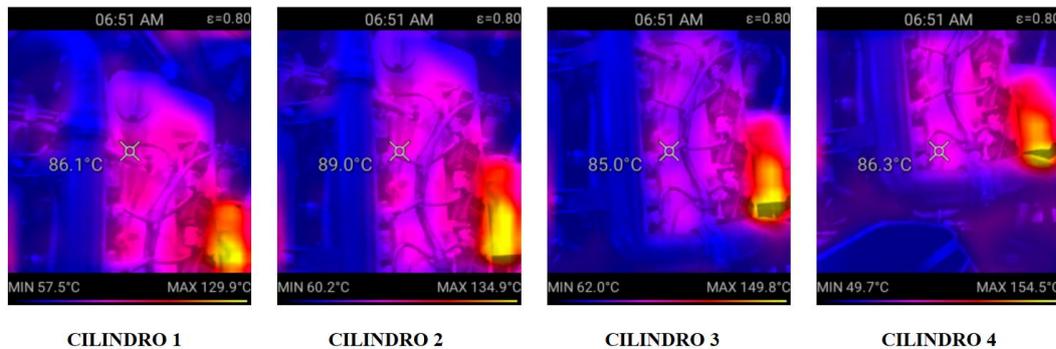


Con el procedimiento indicado y realizándolo con cada uno de los cilindros del motor es estudio se debe tener muy en cuenta que la sección o área de toma de muestra de la temperatura con la ayuda de la cámara termográfica debe ser la misma en cada una de las simulaciones, así como en la toma de referencia de funcionamiento normal.

En la figura 27 se observa cada una de las tomas de medida con desconexión del conector del sistema de encendido la cual se procede a repetir con cada uno de los cilindros y con toma de 10 repeticiones al igual que en la toma de datos con el funcionamiento normal del motor.

Figura 27

Toma de Datos con Simulación de Falla en Sistema de Encendido por Cilindros



Una vez realizada la toma de datos se procede a la tabulación de los valores obtenidos y extracción de su respectivo promedio por cada uno de los cilindros, estos valores se pueden apreciar en la tabla 3.

Tabla 3

Valores Promedio de Simulación de Falla de Encendido

| N° Cilindro | Obtención de Valor de Temperatura Promedio en °C |
|-------------|--|
| 1 | 89.2 |
| 2 | 89.7 |
| 3 | 89.9 |
| 4 | 89.4 |

3.12.2. Simulación de Falla – Sistema de Encendido y Alimentación de Combustible

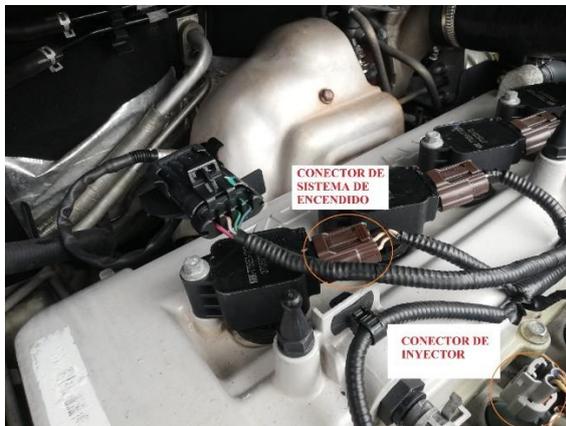
Para la generación de la simulación de otra falla y pretendiendo extraer datos del comportamiento térmico de funcionamiento del motor de combustión interna se establece en

realizar la misma simulación anterior pero de forma adicional se procede a la suspensión del sistema de alimentación de combustible por cada uno de los cilindros para de esta manera obtener los valores del comportamiento de la temperatura de la cámara de combustión interna en la que se simula que no estaría funcionando correctamente la inyección del combustible, así como eliminación de la chispa de encendido por parte de la bujía.

El procedimiento se repite al anterior, pero con la adición de desconectar los dos conectores como lo son el de encendido y del inyector como se puede apreciar claramente en la figura 28.

Figura 28

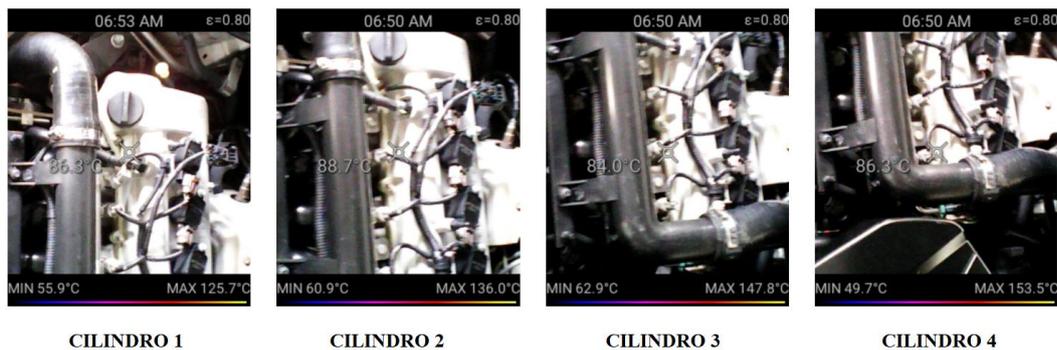
Generación de Simulación de Falla en Sistema de Encendido y Alimentación de Combustible



Una vez realizada la desconexión se procede a la toma de datos como se puede apreciar en la figura 29, en la toma se procede a la captura de la información en el modo de visión real.

Figura 29

Toma de Datos con Simulación de Falla en Sistema de Encendido por Cilindros



Una vez obtenido los datos con esta simulación de falla con la suspensión del sistema de encendido y de alimentación de combustible realizada de manera exacta en los puntos o zonas determinadas, se procede a la tabulación y extracción de promedio de los valores los mismos que se aprecian en la tabla 4.

Tabla 4

Valores de Simulación de Falla de Encendido y Alimentación de Combustible

| N° Cilindro | Obtención de Valor de Temperatura Promedio en °C |
|--------------------|---|
| 1 | 86.1 |
| 2 | 85.0 |
| 3 | 86.3 |
| 4 | 84.9 |

Una vez concluida la toma de datos se procede a la colocación de los conectores en su respectivo lugar. En caso de que se presente en el tablero de información la luz testigo de “Check Engine”, con la ayuda de un escáner se procede a la eliminación del código de falla generado por la generación de la simulación forzada.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis de Datos Obtenidos

Con la obtención de los valores obtenidos de temperatura con la cámara térmica en las zonas de experimentación bajo los parámetros de funcionamiento normal y con simulación de fallas en el presente capítulo se procede a la realización del análisis del comportamiento de los valores obtenidos por esta investigación con el motor de la marca Zotye de modelo 560 y sobre todo las ventajas que brinda este tipo de equipo en poder monitorear el comportamiento de los elementos internos en áreas automotrices para así poder identificar comportamientos normales y anormales, llegando a generar un mantenimiento predictivo con los sistemas en operación.

4.1.1. Análisis de los Valores en Correcto Funcionamiento

Antes de realizar el análisis se debe tener la consideración que para este tipo de metodología siempre se debe contar con la información de los valores o rangos de operación en correcto funcionamiento del elemento, mecanismo o sistema por el motivo que este será el punto de referencia para la detección de fallas o variaciones de operación que se presenten en ciertas circunstancias de operación.

Cabe aclarar que esta operación de extracción de datos se debe realizar en cada una de las áreas de importancia en las que se requiera monitorear con este tipo de instrumentación y generar una base de datos la misma que será de comparación en caso de que estos valores presenten variaciones.

Ahora bien, en cuanto a los valores extraído para este tipo de moto se puede realizar el análisis que de manera externa en las áreas de las superficies predeterminadas se presenta un rango de temperatura promedio que va desde los 92 °C como temperatura mínima y un valor de 94.5 °C como valor máximo teniendo en cuenta que dentro de este valor es el óptimo para

un funcionamiento correcto en la operación del motor, teniendo en cuenta que si sobrepasa el valor máximo es porque se genera un sobrecalentamiento y si se presentara un valor menor al mínimo de temperatura es porque existe algún tipo de falla lo que permite que no se alcance el valor de temperatura de operación normal.

Bajo este rango de temperatura obtenido se puede empezar a realizar un análisis en caso de que se presente variaciones en el comportamiento de temperatura.

4.1.2. Análisis de Valores Obtenidos con Simulación de Falla de Encendido

La generación de la simulación de falla en el motor Zotye modelo 560 en la que consiste en suspender el sistema de encendido arrojó datos importantes como lo es la reducción en cuanto a la temperatura que la superficie externa del cabezote alineada a la cámara de combustión de cada uno de los cilindros con los que cuenta el cabezote del motor Zotye 560.

Este rango de valores obtenido se dio con un valor promedio mínimo de temperatura de 89.2 °C y un valor máximo de temperatura de 89.9 °C con lo que en comparación a los valores referenciales del funcionamiento correcto del motor se presenta una disminución considerable en el caso que se presente una falla en lo concerniente al sistema de encendido del motor.

Esto quiere decir que si al momento de monitorear un motor de estas características y la toma del valor de temperatura se encuentra en este rango que es sin duda alguna menor al de los valores de referencia en un 3% promedio se puede determinar que uno de los problemas que se estuviera presentando podría ser una falla en el sistema de encendido dentro de la cámara de combustión del motor.

En definitiva, si se presenta esta disminución de temperatura una de las posibles fallas es que el sistema de encendido del cilindro que se toma la medida este presentando falla en su funcionamiento.

4.1.3. Análisis de Valores Obtenidos con Simulación de Falla en Encendido y Alimentación de Combustible

Con la realización de esta simulación de falla que consiste en la desconexión del sistema de encendido y del sistema de alimentación de combustible en el motor Zotye modelo 560, también se presenta una obtención importante de los datos por cada prueba en cilindros de manera independiente en la que se pudo observar que el rango mínimo de temperatura obtenido fue de 85 °C y de la misma manera se obtuvo el rango de mayor temperatura el cual fue de 86.3 °C, con estos valores el análisis que se da es que en comparación a la simulación de falla anterior el rango de temperatura aun disminuye con esta nueva simulación de falla sobre la cámara de combustión.

Teniendo en cuenta la comparación con los rangos de temperatura del motor Zotye modelo 560 en operación normal de funcionamiento con esta simulación de falla se puede observar un porcentaje promedio del 7 %.

Con este valor de porcentaje se puede realizar el análisis que contempla que en el caso que en un cilindro de motor el valor de temperatura en la superficie de toma de datos preestablecida se encuentre en este rango lo más probable es que la falla que presente la cámara de combustión sea por falla del sistema de encendido y también del sistema de alimentación de combustible, porque también se podría generar una interrogante y es por qué al generarse una falla no se presenta la misma disminución de temperatura que con doble falla, para lo cual se podría establecer una conclusión que mientras esté fallando el sistema de encendido la compresión del motor permite que el combustible eleve también la temperatura del mismo y por ende no baje el valor de temperatura como ocurre cuando se presenta una doble falla sobre la cámara de combustión.

Lo que si se debe considerar con este resultado es que son fallas simuladas y por las que se realizan este tipo de análisis y por ende con la ayuda de la cámara térmica permite

monitorear el comportamiento de los parámetros según la comparación con los valores de referencia en funcionamiento normal de operación.

4.1.4. Análisis Consolidado según los Valores Obtenidos

De manera consolidada de todos los datos obtenidos este estudio permite analizar que a través de las opciones que brinda este tipo de equipos de monitoreo térmico se puede detectar averías en lo concerniente a motores por medio de la variación de temperatura como se puede apreciar en la tabla 5, de valores consolidados del presente estudio experimental con aplicación de fallas simuladas.

Tabla 5

Consolidado de Valores Térmicos con Uso de Cámara de Imagen Termográfica

| N° Cilindro | Temperatura Referencial en °C | Temperatura con Falla de encendido en °C | Temperatura con Falla de encendido y Alimentación de Combustible en °C |
|--------------------|--------------------------------------|---|---|
| 1 | 86.1 | 89.2 | 86.1 |
| 2 | 85.0 | 89.7 | 85.0 |
| 3 | 86.3 | 89.9 | 86.3 |
| 4 | 84.9 | 89.4 | 84.9 |

Conclusiones

Una vez finalizado el presente trabajo investigativo se llegó a la determinación de las siguientes conclusiones:

Por medio de la aplicación de la cámara termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H, se analizó fallas mecánicas simuladas sobre el motor de la marca Zotye modelo 560 en las que a través de imágenes térmicas se permitió monitorear el comportamiento de cada una de dichas fallas.

Por medio de investigación bibliográfica y técnica se recopiló información de la metodología de instrumentación con aplicación de monitoreo de funcionamiento y detección de fallas a través del equipo de cámara termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H, el cual es de importante aplicación en la industria de la automoción por el motivo que brinda las características y ventajas para llegar a gestionar un mantenimiento predictivo con lo que se puede evitar que los sistemas en análisis lleguen a la presencia de un mantenimiento correctivo.

De manera significativa y con la metodología aplicada se estableció cada uno de los datos que se requieren en el monitoreo de temperaturas siendo estos rangos los siguientes: funcionamiento óptimo del motor Zotye modelo 560 presenta un monitoreo de temperatura superficial exterior del cabezote alineado según la ubicación interna de la cámara de combustión de 92 °C a 94.5 °C de temperatura, con la simulación de falla correspondiente a suspensión del sistema de encendido el rango fue de 89.2 °C a 89.9 °C y con la simulación de la falla correspondiente a la suspensión del sistema de alimentación de encendido y combustible el rango de temperatura obtenido fue de 85 °C a 86,3 °C, lo que según el análisis realizado se establece que por medio de este tipo de instrumentación termográfico es de suma importancia para el monitoreo y detección de fallas aplicado aplicada en el área automotriz como parte de un mantenimiento preventivo.

Finalmente, a través de esta investigación se realizó una guía correspondiente a la calibración y aplicación de la cámara termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H, así como la preparación de la zona de inspección de acuerdo con la inspección a realizar.

Recomendaciones

Luego de haber llevado a cabo este trabajo investigativo con el uso de la cámara termográfica Perfect Prime Modelo IR0280H se presentan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones o aplicación de este tipo de equipos.

- Se debe contar con un banco de datos completo según los experimentos que se deseen realizar en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Preparar correctamente el área sobre la cual se van a realizar las tomas por parte de la cámara termográfica con el cuidado que no exista contaminación termográfica de otros sistemas que pueden contaminar la escena del sistema a ser analizado.
- Por último, se recomienda el cuidado que se debe tener con la cámara para que pueda desempeñarse correctamente esto quiere decir el evitar golpes, exceso de humedad, baja carga y aplicación incorrecta de la metodología aplicada, ocasionando errores e toma de datos.

Bibliografía

- Cañada, M., & Royo, R. (2016). *Termografía Infrarroja. Nivel II*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Coluccio, E. (16 de Julio de 2023). *Concepto*. <https://concepto.de/transferencia-de-calor/>
- Fernández, M., Guzmán, I., Vázquez, T., Michel, A., & Rojas, G. (2006). *Module 1: Meteorology and Climatology - Project: Training educators for the development of educational activities on climate change*. Cochabamba: Energética.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Pearson Prentice Hall.
- Motorpasión. (2019). *Motorpasión*. Motorpasión: <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>
- Paucar, Á., & Sigüenza, A. (2016). *Termografía aplicada al diagnóstico de un motor Hyundai diésel 2.0 CRDI de combustión interna alternativo como técnica de mantenimiento predictivo de fallos, provocados por el sistema de alimentación de combustible*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Perfectprime. (2023). *Perfectprime*. Perfectprime: <https://perfectprime.com/>
- Rodríguez, J., & Virgós, J. (1999). *Fundamentos de óptica ondulatoria*. Oviedo: Servicio de publicaciones, Universidad de Oviedo.
- SKF. (2020). *SKF*. Obtenido de SKF: <https://skf-la.com/conoce-los-fundamentos-de-la-termografia-infrarroja-y-mas-con-el-curso-de-skf/>
- Sobrino, J. (2001). *Teledetección*. Valencia: Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia.

Talleres, B. (2022). *Buscando Talleres*. Buscando Talleres:

<https://buscadordetalleres.com/blog/diferentes-tipos-de-sistemas-de-refrigeracion/>

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student*. Quito: UISEK.

