



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN UN MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA (MECH) DE 1600  $cm^3$  EN UN  
VEHÍCULO DE USO PARTICULAR PARA DETERMINAR SU  
RENDIMIENTO TÉRMICO”**

---

**AUTOR:** Kevin Alexander Miranda Pilatuña

**TUTOR:** Ing. Santiago Paul Cabrera Anda

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre – 2020**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema "ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA (MECH) DE 1600 *cm*<sup>3</sup> EN UN VEHÍCULO DE USO PARTICULAR PARA DETERMINAR SU RENDIMIENTO TÉRMICO" elaborado por el Sr. Kevin Alexander Miranda Pilatuña, portador de la cédula de ciudadanía 1805030556 egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2020



---

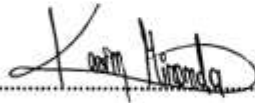
Ing. Mg. Santiago Paul Cabrera Anda

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Kevin Alexander Miranda Pilatuña, con C.I. 1805030556 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema "ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA (MECH) DE 1600 *cm*<sup>3</sup> EN UN VEHÍCULO DE USO PARTICULAR PARA DETERMINAR SU RENDIMIENTO TÉRMICO", así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2020



---

KEVIN ALEXANDER MIRANDA PILATUÑA

C.I. 1805030556

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para la lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de este Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2020



---

KEVIN ALEXANDER MIRANDA PILATUÑA

C.I. 1805030556

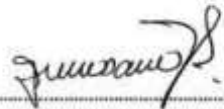
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe de Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Kevin Alexander Miranda Pilatuña, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: ‘ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA (MECH) DE 1600  $cm^3$  EN UN VEHÍCULO DE USO PARTICULAR PARA DETERMINAR SU RENDIMIENTO TÉRMICO’.


Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



---

Ing. José Luis Yunapanta Velastegui  
**Miembro del Tribunal**



---

Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna  
**Miembro del Tribunal**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto es el resultado del esfuerzo y perseverancia durante varios años los cuales dedico a mi padre y a mi madre que en cada momento de mi vida estudiantil fueron los mejores educadores que Dios pudo brindarme, los cuales me inculcaron valores y principios para esforzarme y alcanzar los objetivos que me proponga en la vida.

A mis hermanas que con su apoyo y amor incondicional me motivaron a ser un ejemplo de dedicación y perseverancia.

Y sobre todo doy gracias a mi Dios por entregarme una gran familia que me quiere y lucha cada instante por mí, a ti que me diste fortaleza en momentos de debilidad y con tu presencia sembraste en mi vida la gana de ser un mejor hombre para poder servirte y trabajar para tu gloria.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco enteramente a Dios por siempre llenarme de mucha suerte y bendiciones, el cual me brindo la gracia de un padre tan dedicado y trabajador que pese a sus adversidades supo entregarme el amor y experiencia de la vida. A mi madre que fue siempre la chispa de este motor que nunca dejo que se apague con su constante motivación y sacrificios para que nunca me falte nada.

Doy las gracias a los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica que nunca dejaron que me quedara con la duda y sembraron en mí sus conocimientos, en especial a mi tutor el Ing. Mg. Santiago Cabrera que con su gran conocimiento impartió en mí su intelecto y guio siempre este proyecto.

A un gran mentor, al Ing. Giovanni Pineda que estuvo ahí presente impartiendo su saber en cada momento de mi trayectoria universitaria.

Y a mis amigos que acompañaron cada momento de mi carrera y me ayudaron no solo con su compañía si no también con su tiempo y apoyo.

No por ultimo y menos importante a mi enamorada que estuvo presente la mayor parte de mi carrera universitaria apoyándome siempre sin importar las adversidades.

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1. Tema de trabajo experimental.....	1
1.1. Antecedente.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
CAPÍTULO II .....	4
2. Fundamentación teórica .....	4
2.1. Transferencia de calor .....	4
2.2. Eficiencia térmica.....	4
2.3. Rendimientos de un motor .....	5
2.4. Pérdidas de calor .....	7
2.5. Tipos de Convección.....	7
2.5.3. Número de Nusselt:.....	8
2.6. Número de Prandtl: .....	9
2.7. Número de Reynolds:.....	9
2.8. Combustión .....	10
2.9. Termografía.....	10
2.9.1. Equipos de medición.....	10
2.9.2. Principio de la termografía.....	11
2.9.3. Cámara termográfica.....	11
2.9.4. Aplicación de termografía.....	12
2.9.5. Ventajas de termografía .....	12
2.10. La gasolina en el Ecuador .....	12
2.11. Contaminantes emitidos por fuentes vehiculares .....	14



2.11.1. Emisiones contaminantes en condiciones ideales de motores a gasolina	14
2.11.2. Gases inofensivos	15
2.11.3. Clasificación de los contaminantes	16
2.12. Temperatura en colector de gases de escape	16
2.13. Tipos de motores	17
2.14. Ciclos de funcionamiento de un motor MECH	17
2.14.1. Ciclo Otto	17
2.15. Diferencia entre ciclo Otto teórico y ciclo Otto real	18
2.15.1. Ciclo teórico	18
2.15.2. Ciclo real	20
2.16. Cálculo de flujo másico teórico de aire consumido por el motor	23
2.17. Rendimiento volumétrico con el sistema de admisión original	24
2.18. Rendimiento térmico	24
2.18.1. Eficiencia teórica en función de relación de compresión	25
2.24. Calor perdido por sistema de refrigeración	31
2.25. Materiales del motor	31
2.25.1. Bloque de cilindros	31
CAPÍTULO III	33
Metodología	33
3. Nivel o tipo de investigación	33
3.1. Descriptiva	33
3.2. Población y muestra	33
3.2.1. Población	33
3.2.2. Muestra	33
3.3. Operación de variables	34
3.3.1. Variable dependiente	34
3.3.2. Variable independiente	34
3.4. Recolección de información	35
3.4.1. Recolección de datos de temperatura aplicando termografía	36
3.4.2. Ubicación	37
3.4.3. Termografía	39
3.5. Recolección de datos de consumo de combustible	40
3.6. Modelación	41
3.7. Instrumentos utilizados	41

3.8. Plan de procesamiento y análisis.....	46
CAPÍTULO IV .....	48
4. Resultados y discusión .....	48
4.1. Análisis termográfico.....	48
4.2. Zonas de termografía.....	49
4.2.1. Zona frontal del bloque del motor.....	49
4.2.2. Zona posterior del bloque del motor .....	49
4.2.3. Zona del cárter de aceite .....	50
4.3. Simulación por software .....	50
4.3.1. Bloque del motor.....	50
4.3.2. Cárter de aceite.....	51
4.4. Análisis de distribución de temperaturas del bloque de motor y cárter de aceite .....	52
4.6. Estimación de contaminantes según estudios para un motor Hyundai Accent 2004.....	59
4.7. Cálculo de rendimiento teórico y potencia del ciclo Otto.....	60
4.7.1. Cálculo de Relación de calores específicos .....	61
4.7.2. Cálculo de calores y presiones en procesos de ciclo Otto.....	61
4.7.3. Proceso 2 a 3 con $V=Cte$ .....	63
4.7.4. Calor en proceso de combustión (2 a 3).....	64
4.7.5. Calor en proceso de escape (4 a 1).....	64
4.7.6. Rendimiento teórico con $C_p$ y $C_v$ constante.....	64
4.8. Balance energético en el motor .....	65
4.8.1. Cálculo de Potencia neta .....	65
4.8.2. Cálculo por Convección en bloque de motor.....	65
4.9. Cálculo por Convección en cárter de aceite.....	67
4.9.1. Poder calorífico del combustible.....	68
4.9.2. Consumo específico efectivo de combustible ( $gem$ ) .....	68
4.9.3. Consumo horario del motor ( $Q_h$ ).....	69
4.9.4. Consumo por unidad de recorrido.....	69
4.9.5. Calor liberado por el combustible .....	70
4.10. Cálculo de calor disipado por los gases .....	71
4.11. Calor perdido en el sistema de refrigeración.....	72
4.12. Balance energético .....	72
4.13. Cálculo de exergía.....	73

4.13.1. Exergía en Aire .....	73
4.13.2. Proceso de Escape (4 a 1).....	74
4.13.3. Eficiencia real utilizando aire-combustible.....	74
CAPÍTULO V .....	75
5.1 Conclusiones .....	75
5.2 Recomendaciones.....	76
Bibliografía .....	77
ANEXOS.....	80
Anexo 1: Calor específico del aire .....	80
Anexo 2 :Propiedades de gasolina super y extra con y sin aditivos .....	81
Anexo 3 :Propiedades físicas de aire .....	82
Anexo 4 :Características físicas de hierro fundido .....	83
Anexo 5: Calor específico de gas ideal de varios gases comunes.....	84
Anexo 6 : Tabla de propiedades físicas del aire .....	85
Anexo 7: Velocidad del automóvil en prueba estática.....	86
Anexo 8 : Simulación de temperatura en el bloque de motor (corte de sección).....	87
Anexo 9: Toma de datos con Cámara Termográfica Flir TG-165 .....	88
Anexo 10: Toma de datos en salida de tubo de escape .....	93
Anexo 11: Termo gramas.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 :Motor de Hyundai Accent 2004 .....	5
Figura 2: Tipo de convección .....	8
Figura 3 : Sistema de adquisición de imágenes por termografía infrarroja .....	11
Figura 4:Combustión real .....	15
Figura 5 :Tiempo de un ciclo Otto, a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape .....	18
Figura 6: Ciclo Otto teórico .....	20
Figura 7 :Admisión .....	20
Figura 8: Compresión.....	21
Figura 9: Combustión .....	21
Figura 10: Expansión .....	22
Figura 11: Escape.....	22
Figura 12: Ciclo Otto real .....	23
Figura 13:Ciclo otto .....	24
Figura 14:Embolo sin peso.....	30
Figura 15: Proporción Distancia-Spot y los rayos del puntero laser giratorio .....	37
Figura 16: Zona 1 de prueba .....	37
Figura 17: Zona 2 de prueba .....	38
Figura 18: Zona 3 de prueba .....	38
Figura 19: Zonas de aplicación de la termografía.....	39
Figura 20: Modelacion de bloque de motor y cárter de aceite.....	41
Figura 21: Cámara Flir TG-165 .....	41
Figura 22: Especificaciones de termómetro IR .....	42
Figura 23: Termómetro Testo 735 .....	43
Figura 24:Termocupla Tipo K .....	43
Figura 25: Anemómetro HP-866B .....	44
Figura 26:Testo 511 .....	45
Figura 27: Analizador de gases MAHA MTG5.....	45
Figura 28: Partes del motor.....	48
Figura 29: Termo grama parte frontal del bloque .....	49
Figura 30: Termo grama del bloque posterior.....	49
Figura 31: Termo grama del cárter de aceite parte inferior .....	50
Figura 32: Emisiones de CO vs Emisiones de HC en vehículos marca Hyundai. ...	59

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Variación de Temperatura frente al Tiempo en la primera prueba en la cara frontal del bloque. ....	53
Gráfica 2: Variación de Temperatura frente al Tiempo de la segunda prueba en el bloque parte frontal. ....	54
Gráfica 3: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo en la zona posterior del bloque.....	55
Gráfica 4: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo en la zona posterior del bloque.....	56
Gráfica 5: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo en el Cáster. ..	57
Gráfica 6: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo de la segunda prueba en el Cáster. ....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nivel de octanaje .....	13
Tabla 2 : Densidad de combustibles .....	13
Tabla 3: Poder calorífico de combustibles .....	13
Tabla 4:Clasificación de contaminantes.....	16
Tabla 5: Datos de temperatura en colector de gases de escape .....	17
Tabla 6: Datos técnicos de motor de combustión interna analizado .....	33
Tabla 7:Operacionalización de variable dependiente .....	34
Tabla 8:Operacionalización de variable dependiente .....	35
Tabla 9: Datos de consumo de combustible.....	40
Tabla 10: Factores de emisividad .....	42
Tabla 11: Rango de velocidades del viento.....	44
Tabla 12: Rango de temperaturas.....	44
Tabla 13: Datos técnicos de Analizador de gases MAHA MTG5. ....	46
Tabla 14: Datos técnicos .....	46
Tabla 15: Análisis térmico de bloque de motor .....	51
Tabla 16: Análisis térmico de Cáster de aceite .....	52
Tabla 17: Prueba 1 del bloque frontal.....	52
Tabla 18: Datos obtenidos de Temperatura frente al Tiempo de la segunda prueba en el bloque parte frontal.....	53
Tabla 19: Datos obtenidos de Temperatura frente al Tiempo de la primera prueba en el bloque zona posterior .....	54
Tabla 20: Datos obtenidos de la segunda prueba en la parte trasera del bloque del motor. ....	55
Tabla 21: Datos obtenidos de la primera prueba en el Cáster.....	56
Tabla 22: Datos obtenidos de temperatura en el Cáster .....	57
Tabla 23: Datos obtenidos de gases en el tubo de escape .....	58
Tabla 24: Emisiones de gases de vehículo Hyundai Accent 2004.....	59
Tabla 25: Propiedades termo físicas y datos dimensionales .....	60
Tabla 26: Datos de entalpia y entropía a diferentes temperaturas .....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Calor específico del aire .....	80
Anexo 2 :Propiedades de gasolina super y extra con y sin aditivos .....	81
Anexo 3 :Propiedades físicas de aire .....	82
Anexo 4 :Características físicas de hierro fundido .....	83
Anexo 5: Calor específico de gas ideal de varios gases comunes.....	84
Anexo 6 :Tabla de propiedades físicas del aire .....	85
Anexo 7: Velocidad del automóvil en prueba estática.....	86
Anexo 8 : Simulación de temperatura en el bloque de motor (corte de sección).....	87
Anexo 9: Toma de datos con Cámara Termográfica Flir TG-165 .....	88
Anexo 10: Toma de datos en salida de tubo de escape .....	93
Anexo 11: Termo gramas.....	96

## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo experimental se evaluó el rendimiento del ciclo Otto de un motor de combustión interna (MECH) de 1600 centímetros cúbicos de un vehículo de uso particular mediante la distribución de temperaturas superficiales aplicando termografía. Los datos fueron obtenidos utilizando equipos tecnológicos: cámara térmica, termocupla, termómetro digital, anemómetro y medidor de presión absoluta. Se obtuvieron termogramas además de temperaturas, velocidad, presión de gases de escape. El análisis de rendimiento teórico se realizó mediante método indirecto dando como resultado un 65 por ciento. Se calcularon pérdidas causadas por transferencia de calor (convección en el bloque del motor y cárter de aceite) y pérdidas de calor en gases de escape (11.72 kilowatt) y en el sistema refrigerante (8.037 kilowatt) así se determinó un rendimiento de 33.15 por ciento. Mediante análisis exergético se obtuvo un rendimiento de 43.25 por ciento. La evaluación de producción de contaminantes mostró que se encuentra en los valores de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) no superan los límites de la norma NTE INEN 2204:2017 la cual detalla los límites máximos permitidos de acuerdo al año del vehículo.



## ABSTRACT

In the present experimental work the Otto cycle performance of a 1600 cubic centimeter internal combustion engine (MECH) of a private vehicle was evaluated by distributing surface temperatures using thermography. The data was used using technological equipment: thermal camera, thermocouple, digital thermometer, anemometer and absolute pressure meter. In addition, the thermograms were obtained to temperatures, velocity, pressure of exhaust gases. The theoretical performance analysis was performed using an indirect method generating a 65 percent. Due to, there were leaks caused by heat transfer (convection in the engine block and oil pan) and heat leaks in exhaust gases (11.72 kilowatt) and the cooling system (8,037 kilowatt). Thus, It was determined a performance of 33.15 percent. Meanwhile, exergetic analysis the performance was 43.25 percent. Consequently, the evaluation of pollutant production shows that it is in the values of carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) do not exceed the limits of the NTE INEN 2204: 2017 standard, which details the maximum limits allowed according to the year of the vehicle.

## CAPÍTULO I

### 1. Tema de trabajo experimental

“ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA (MECH) DE 1600  $cm^3$  EN UN VEHÍCULO DE USO PARTICULAR PARA DETERMINAR SU RENDIMIENTO TÉRMICO”

#### 1.1. Antecedente

E. Llanes-Cedeño evaluó el comportamiento de combustión interna de ciclo Otto mediante el balance de energía y exergía para la valorización de su rendimiento, considerando como caso de estudio un motor de 1.6 L. El cálculo energético se desarrolló en una ruta previamente caracterizada a una velocidad constante de 50 km/h y 90 km/h. Tras una investigación de tipo experimental, con base en observación y medición, además de métodos de inducción, deducción y síntesis, se determinó, dentro de las principales conclusiones, que el análisis del balance energético y exegético permite conocer el rendimiento real de un motor de combustión interna. Mediante este análisis, se determinó que el motor estudiado presenta un rendimiento energético promedio de 27.57 % para una velocidad de 50 km/h, mientras que el flujo de exergía total del sistema es 22 %, no existiendo diferencia significativa con los resultados de eficiencia a 90 km/h. [1]

Además, en la Universidad Técnica de Ambato se realizó una tesis previa a la obtención de título de Ingeniero Mecánico por parte de R. Barrera en la cual se implementó sensores para la adquisición de parámetros de funcionamiento en un banco de pruebas de motores de combustión interna con lo cual se monitorizaba en tiempo real las variables leídas y calculadas en función de los parámetros del motor. [2]

Otro de los estudios que también se ha realizado fue en la ciudad de Ambato previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico por parte de S. Núñez con el tema “Estudio de emisiones de gases en vehículos a gasolina en la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi” en la cual el proyecto técnico tuvo como objetivo realizar el estudio de emisiones de gases contaminantes el cual es emanado por los vehículos a gasolina dentro de las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato Campus

Huachi y estos resultados ser comparados con la normativa nacional vigente y posteriormente determinar si los vehículos cumplen o no con los límites máximos permitidos. Esta norma NTE INEN 2204-2017 hace énfasis en las emisiones de porcentaje de monóxido de carbono (CO) y partículas por millón de hidrocarburos no quemados (HC), esto debido al producto de combustión de los vehículos de combustión interna (MECH). [3]

P. Cabrera realizó el análisis térmico en el sistema de agua caliente sanitario del hospital Dr. Julio Enrique Paredes C. Unidad Oncológica "SOLCA" Tungurahua en el cual se determinó las pérdidas de calor por convección natural de 1.06kW, la metodología aplicada para la obtención experimental de datos de temperatura superficiales se basa en la aplicación de equipos electrónicos como cámara termográfica y termómetro infrarrojo, se evaluó la eficiencia térmica del intercambiador que va de 53% a 57% y eficiencia de segunda ley entre 22% y 25% con lo cual se realizó la propuesta de mejora para reducir el consumo de DIESEL. [4]

## **1.2. Justificación**

El presente trabajo experimental tiene como objetivo analizar las pérdidas energéticas y exergéticas de un motor de combustión interna (MECH) de 1600  $cm^3$  en un vehículo de uso particular para determinar su rendimiento térmico. El cálculo energético se lo realizó en un parámetro previamente caracterizado de 1000 rpm a 2000 rpm en condiciones estáticas, tras realizar una investigación de tipo experimental

Este proyecto está basado en anteriores investigaciones como tesis y artículos científicos los cuales ayudan a definir componentes y parámetros referentes a la investigación con los cuales podremos determinar las pérdidas y el rendimiento que el motor presente.

Es necesario realizarlo técnicamente para la medición de temperaturas superficiales con una cámara Flir TG-165, velocidades de gases de escape con Anemómetro HP-866B, temperatura de gases de escape con Termómetro TESTO 735 y presiones de aire con un Medidor de presión absoluta TESTO 511; con lo cual es necesario contar para realizar una toma de datos de manera eficiente.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Determinar el rendimiento térmico de un motor de combustión interna a gasolina (MECH) de 1600 cm<sup>3</sup> de un vehículo de uso particular mediante el análisis de pérdidas energéticas.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar la distribución de temperaturas superficiales aplicando termografía.
- Medir velocidad de aire, presión y temperatura en gases de escape para determinar las pérdidas de calor por convección.
- Estimar el rendimiento teórico del ciclo Otto.
- Calcular el rendimiento térmico real aplicando método indirecto.
- Realizar un análisis energético y exergético.
- Evaluar la producción de contaminantes.

## CAPÍTULO II

### 2. Fundamentación teórica

#### 2.1. Transferencia de calor

La sensación de frío o calor representa una magnitud física al instante de tocar una sustancia, por el contrario, el calor es la transferencia de energía de un lugar determinado a otro la cual se produce por un diferencial de temperatura.

#### 2.2. Eficiencia térmica

El rendimiento o eficiencia térmica de motores de combustión interna está en dependencia de la relación de compresión el cual tiene una proporción que está entre los valores máximos y mínimos de la cámara de combustión. Los valores que suelen tener es de 8 a 1 y en este caso de 10 a 1 que actualmente los automóviles modernos de ciclo Otto los usa, pero también existen de 12 a 1 elevando así la eficiencia del motor teniendo en cuenta el combustible a consumirse ya que debe tener un mayor número de octanaje para evitar la detonación, a diferencia de una menor relación de compresión que no posee este problema y se puede utilizar un combustible con menor número de octanaje para evitar dicho fenómeno

Para la evaluación de la eficiencia de un motor de combustión interna (MECH) debemos tener presente la combustión además de los puntos de pérdidas térmicas, a ello se lo denomina eficiencia térmica. [5]

La eficiencia se define:

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{Ec 2.1}$$

Del balance térmico se obtiene:

$$Q_a = Q_1 - Q_p \quad \text{Ec 2.2}$$

Sustituyendo en la ecuación 1 obtenemos:

$$\eta = 1 - \frac{Q_p}{Q_1} \quad \text{Ec 2.3}$$

Donde:

$\eta$  = eficiencia térmica

$Q_p$  = Calor perdido  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$Q_1, Q_2$  = Calor generado  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$Q_a$  = Calor aprovechado  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

### 2.3.Rendimientos de un motor

A nivel mundial los motores más utilizados en automóviles son aquellos que funcionan en el ciclo de cuatro tiempos, aquellos de encendido por chispa, la energía suministrada al motor que no es aprovechada como trabajo mecánico se pierde en forma de calor; asumamos un motor ideal en el cual las pérdidas de calor son nulas, esto es lo que pasaría dentro de un cilindro: [6]

**Expansión:** la combustión es un proceso que toma milisegundos en el cual podemos asumir que todo el calor es empleado en elevar la temperatura y, por consiguiente, la presión de los gases. El pistón es empujado hasta su punto muerto inferior (PMI) permitiendo que los gases se dilaten, pero en este lapso existe un intercambio de temperatura entre los gases cuya temperatura se encuentra alrededor de los 2000 °C y las paredes de los cilindros superior a los 100 °C



Figura 1 :Motor de Hyundai Accent 2004

**Escape:** Instantes antes de finalizar esta carrera las válvulas de escape son abiertas y los gases escapan hacia el medio ambiente, al principio de este tiempo los gases poseen una temperatura elevada ya que solo han cedido calor por expansión y por convección hacia las paredes del cilindro, el sobrante de esta energía es desperdiciada en el transcurso de esta carrera. Para disminuir esta pérdida en lo mínimo posible se procura enfriar los gases tanto sea posible, y esto se lo lograría incrementando su carrera de expansión para que no se desperdicie a la atmósfera.

El escape influye en el rendimiento ya que se pierde energía cinética del embolo al retroceder este en su carrera, ha de vencer la contrapresión que se produce en el cilindro y en el tubo de escape, de donde se deduce que es necesario reducir dicha contrapresión.

**Admisión:** al igual que en el escape la energía cinética en el émbolo también disminuye ya que debe vencer la depresión existente en el cilindro y de la misma forma que en el escape debemos disminuirlo al máximo posible y poner en contacto los gases con las paredes calientes del cilindro por lo cual, debe favorecerse dicho calentamiento prolongándolo lo máximo posible.

Al no haber la idea de incrementar la carrera de aspiración y tampoco es conveniente enfriar demasiado las paredes del cilindro lo óptimo es calentar los gases en la admisión hacia el cilindro.

**Compresión:** para elevar el rendimiento no es necesario la disminución de la compresión sino al contrario debido a que por una parte del gas se calienta al ser comprimido y dicha energía aparece en el período útil del ciclo y por otra parte debido a que al final de la compresión lo que se busca es obtener una presión tan elevada como sea posible y esto se lo obtiene cuanto mayor sea la cantidad de combustible quemado en un perímetro dado.

Con lo cual debemos adoptar una compresión elevada para concentrar sobre el embolo una gran masa de gases explosivos.

**Encendido:** y finalmente para llegar a una combustión instantánea con el fin de lograr una presión elevada debemos implementar un encendido intenso, para ello debe tener las siguientes condiciones:

- Mantener los cilindros a elevada temperatura
- Reducir en lo posible la duración de la expansión
- Disminuir la superficie de las paredes
- Aumentar la carrera de la expansión
- Reducir al máximo la contrapresión en el tiempo de escape.
- Reducir al máximo la depresión en el tiempo de aspiración
- Calentar el gas antes de introducirlo en el cilindro.
- Adoptar una compresión elevada
- Emplear un encendido intenso

## **2.4. Pérdidas de calor**

Las pérdidas energéticas de un motor se dan mediante pérdidas por convección, a continuación, se presenta los tipos de convección en un motor de combustión interna (MECH).

## **2.5. Tipos de Convección**

### **2.5.1. Convección natural**

Dentro de convección natural el flujo resultante del diferencial de temperatura del fluido debido a la presencia de una fuerza gravitacional. La densidad de un fluido es inversamente proporcional al incremento de temperatura ya que si se eleva la temperatura la densidad del líquido disminuirá, pero al aplicarla dentro de un campo gravitacional la densidad que es afectada por la temperatura generan fuerzas de flotación. [7]. El aire caliente sube y baja por efecto de las corrientes naturales de convección. Las corrientes convectivas en una habitación con una fuente de calor como lo es una estufa son generadas a medida que el aire que se encuentra abajo se va calentando ya que está en contacto con la estufa este sube y hace bajar al aire que se está enfriando.

### **2.5.2. Convección forzada**

En este tipo de convección el fluido es obligado a fluir por medios externos, básicamente es obligado mediante el uso de ventiladores o sistemas de bombeo, estos



pueden ser de succión o transversal, esto es realizado para acelerar la velocidad de las corrientes de convección natural el cual genera una baja potencia calorífica.

La principal diferencia se encuentra en el menor tiempo que toma con el sistema de ventilación forzada el calor es repartido.

A su vez la convección forzada se subdivide en externa e interna en dependencia del fluido si es externo o interno. El flujo del fluido se clasifica dependiendo si la fuerza al fluido a fluir por un canal confinado o por una superficie es flujo externo. El flujo por un tubo o ducto es flujo interno si ese fluido está limitado por completo por superficies sólidas. El flujo de líquidos en un tubo se conoce como flujo en canal abierto si ese tubo está parcialmente lleno con el líquido y se tiene una superficie libre. [7]

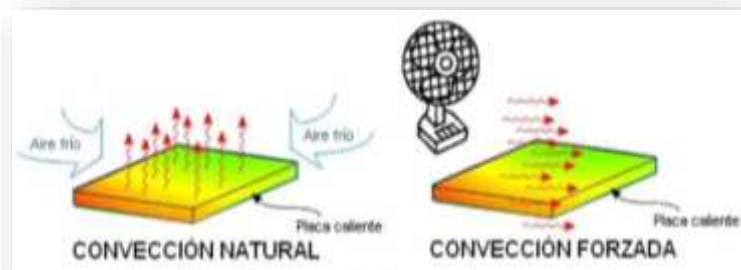


Figura 2: Tipo de convección [7]

### 2.5.3. Número de Nusselt:

Este número es un número adimensional el cual representa el incremento de la transmisión de calor por convección el cual ocurre desde la superficie por la que un fluido discurre la cual es comparada con la transferencia de calor si dicha transferencia solo ocurriera por conducción. [8]

La ecuación que define al número de Nusselt es:

$$Nu = 0.332Pr^{\frac{1}{3}} * Re^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec 2.4}$$

En donde:

Pr= Número de Prandtl

Re= Número de Reynolds

### 2.6. Número de Prandtl:

El número de Prandtl al igual que el de Nusselt es un número adimensional el cual proporciona el coeficiente entre la difusividad de momento también llamada viscosidad y la difusividad térmica. representada por la siguiente ecuación: [8]

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad \text{Ec 2.5}$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot u}{K} \quad \text{Ec 2.6}$$

En donde:

$\nu$  = Viscosidad cinemática  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

$\alpha$  = difusividad térmica  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

$C_p$  = capacidad calorífica a presión constante  $\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K}\right]$

$u$  = viscosidad absoluta  $\left[\frac{kg}{m \cdot s}\right]$

### 2.7. Número de Reynolds:

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional aplicado a la mecánica de fluidos el cual es aplicado para caracterizar el movimiento de un fluido. El número relaciona la densidad, viscosidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional. [9]

La ecuación que lo representa es la siguiente:

$$Re = \frac{V \cdot X}{\nu} \quad \text{Ec 2.7}$$

En donde:

$V$  = Velocidad de fluido  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$X$  = Espesor de pared [m]

$\nu$  = Viscosidad cinemática [ $\frac{m^2}{s}$ ]

## **2.8. Combustión**

La combustión se define como el proceso térmico de reacción química exotérmica auto mantenida la cual incluye la oxidación de su combustible, posee varias aplicaciones como:

- Calefacción
- Producción eléctrica
- Propulsión
- Iluminación.

Este proceso es aún más importante dentro del ámbito ingenieril ya que hoy en día, aun que la tendencia es combustibles no fósiles (96% en 1975, 90% en 1985, 80% en 1995) aun la gran mayoría de producción mundial de energía se la realiza con productos derivados del petróleo [10]

## **2.9. Termografía**

Se puede definir a la termografía como el proceso de tomar fotografías mediante cámaras las cuales miden y representa la radiación infrarroja los cuales son emitidos por los cuerpos que están siendo analizados, se puede decir que es una tecnología moderna ya que su aplicación en ámbito civil que a partir del año de 1960 y desde allí han tenido una amplia gama de aplicaciones como seguridad, mantenimiento industrial, medicina, investigación y eficiencia energética que es en la cual nos enfocamos en el presente trabajo.

### **2.9.1. Equipos de medición**

Para la toma exacta de datos de temperatura es necesario la ayuda de una cámara termográfica infrarroja con la cual mediremos la radiación emitida por el motor de combustión interna y posteriormente se realizará el análisis. Como punto de partida la persona debe estar capacitada para su correcta manipulación además que el quipo debe

estar correctamente calibrado con la cual disminuiríamos el margen de error de la toma de diferencia de temperaturas del objeto. [5]

### 2.9.2. Principio de la termografía

Todo cuerpo cuya temperatura sea mayor que el cero absoluto  $0^{\circ}\text{K}$  o  $-273^{\circ}\text{C}$  emiten una radiación térmica la cual es imperceptible para el ojo humano, mediante esta energía que es emitida por el cuerpo se puede saber la temperatura a la cual se encuentra, la energía infrarroja es directamente proporcional a la temperatura que cada cuerpo posee [11]

### 2.9.3. Cámara termográfica

Se trata de un equipo de medición de radiación térmica la cual es aplicada al cuerpo de estudio y es convertida en una imagen visible de varios colores las cuales están establecidas por su temperatura y se manejan longitudes desde  $8\ \mu\text{m}$  a  $15\ \mu\text{m}$

**Medidas cualitativas:** Son imágenes que poseen diversos colores por medio de los cuales se pueden identificar las diferentes temperaturas presentes en un equipo poder verificar la uniformidad de la temperatura en un equipo.

**Medidas cuantitativas:** Son valores exactos de temperatura de los puntos calientes con lo cual podemos identificar y determinar la gravedad de un problema existente y así realizar la una acción correctiva pertinente que permita volver al equipo a su operación normal. [12]

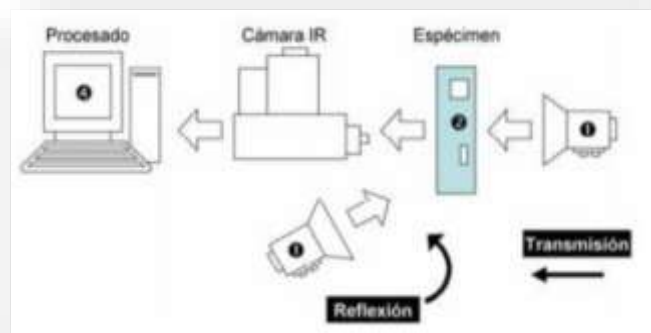


Figura 3 : Sistema de adquisición de imágenes por termografía infrarroja [12]

#### **2.9.4. Aplicación de termografía**

La termografía presenta múltiples aplicaciones y mencionaremos las más importantes:

- Infraestructura eléctrica de alta y baja tensión.
- Motores eléctricos, de combustión interna, bobinas.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones de climatización.

#### **2.9.5. Ventajas de termografía**

- Identificar de forma segura y rápida los componentes que podrían ocasionar problemas en los equipos [12]
- Permite el monitoreo continuo de equipos o piezas las cuales presentan cierto problema y no son tan graves dando el tiempo necesario para la revisión, sustitución o reparación. [12]
- Disminución de tiempo y dinero a las empresas debido a que las partes de los equipos que presenten problemas pueden ser intervenidas de manera inmediata con lo cual se impediría la interrupción total del proceso normal de producción. [11]
- Brinda seguridad y protección al personal que esté llevando a cabo el mantenimiento del equipo debido a que no requiere contacto físico con el objeto en análisis.

#### **2.10. La gasolina en el Ecuador**

El octanaje es una manera de medición la cual determina la calidad y capacidad de consumo ya que a un mayor número de octanos mejora la potencia y rendimiento del motor con lo cual se disminuye el consumo de combustible, pero esto no deja de presentar un problema de contaminación ya que su combustión genera emisiones de azufre [13]

Las primeras importaciones de gasolina fueron realizadas en el año 2012 a finales de noviembre con 95 octanos con lo cual Petroecuador hizo que el índice de su octanaje de la gasolina super y extra elevara los niveles de octanos de 81 a 87 y de 90 a 92 octanos respectivamente. [13]

La gasolina nacional posee procesos de refinación y tratamiento del petróleo o crudo pesado ya que debido a su composición química de este se puede manipular sus átomos y moléculas dando como resultado diferentes derivados entre ellos la gasolina, el tratamiento que se da a este derivado mejora su nivel de calidad y su octanaje se eleva ya que en condiciones naturales este posee un nivel bajo de octanaje. [13]

Tabla 1: Nivel de octanaje [14]

<b>Año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Causa</b>
1980	Se crea gasolina SÚPER de 90 octanos	Los autos de carburador no requerían un alto nivel de calidad.
1993	Se lanza gasolina ECO de 82 octanos, sin plomo.	Componente subía el octanaje, limpiaba y lubricaba el motor, pero se descubrió que era cancerígeno.
1998	La gasolina SÚPER quedo en 90 octanos y la EXTRA en 81 octanos.	Se retira la gasolina con plomo
2012	Elevación de la gasolina SÚPER a 92 octanos y la gasolina EXTRA a 87 octanos.	Baja el nivel de azufre de la gasolina.

Tabla 2 : Densidad de combustibles [15]

Densidad de combustibles		
Tipo	Densidad	Unidades
Extra sin aditivo	0,73508	$\frac{gr}{cm^3}$
extra con aditivo	0,7316	$\frac{gr}{cm^3}$
Super sin aditivo	0,73928	$\frac{gr}{cm^3}$
Super con aditivo	0,7368	$\frac{gr}{cm^3}$

Tabla 3: Poder calorífico de combustibles [15]

Poder calorífico de combustibles		
Tipo	Poder calorífico	Unidades
Extra sin aditivo	36753.98	$\frac{J}{gr}$

extra con aditivo	47373.02	$\frac{J}{gr}$
Super sin aditivo	37791.40	$\frac{J}{gr}$
Super con aditivo	48373.02	$\frac{J}{gr}$

## 2.11. Contaminantes emitidos por fuentes vehiculares

A nivel nacional el combustible por excelencia continúa siendo la gasolina y el diésel los cuales son una mezcla de hidrocarburos que contienen átomos de hidrógeno y carbono que al ser expuestos a altas temperaturas emiten diversos tipos de contaminantes de acuerdo a su servicio y categoría tales como: taxis, buses, camiones livianos y pesados, automóviles, camionetas, motocicletas, furgonetas entre otras más. [3].

### 2.11.1. Emisiones contaminantes en condiciones ideales de motores a gasolina

El proceso de combustión se genera cuando la mezcla de aire – combustible ingresa al motor es completamente estequiométrico y se produce de la siguiente manera:

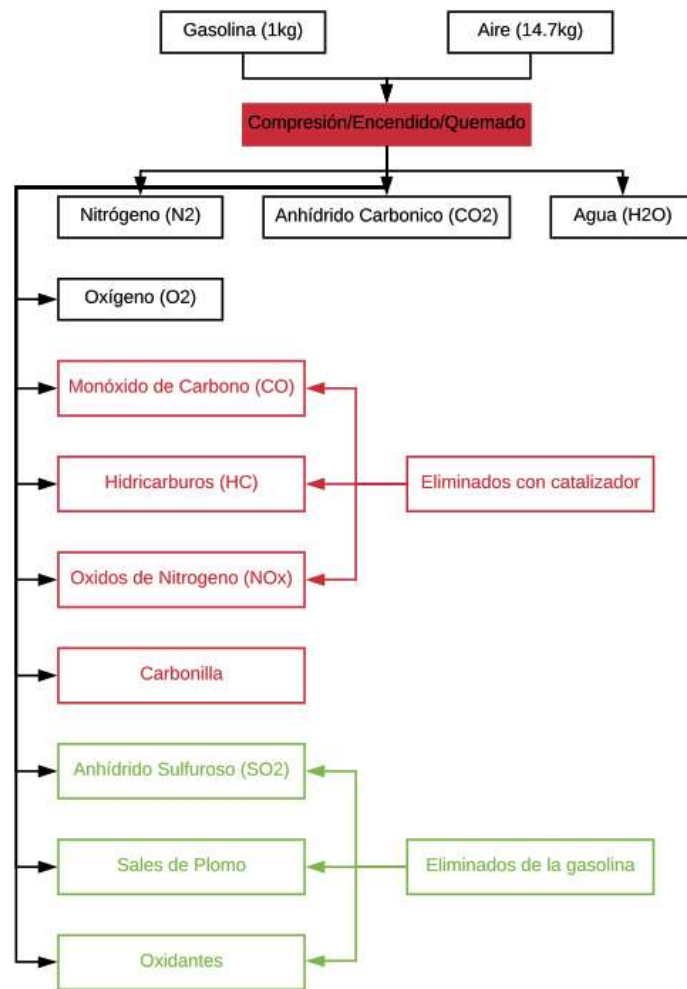


Figura 4: Combustión real [3]

Este esquema muestra un tipo de combustión en condiciones ideales el cual es solo una representación de que debería suceder ya que en la realidad no existe debido a las pérdidas de calor presentes en el motor de combustión interna.

Existen dos tipos de gases emitidos por los motores que son de tipo inofensivo y contaminante.

### 2.11.2. Gases inofensivos

**Nitrógeno:** lo encontramos en el aire que respiramos en un nivel de concentración del 79%, pero debido a las altas temperaturas alcanzadas por el motor este elemento se oxida formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno.



**Oxígeno:** lo encontramos en el aire en una concentración del 21%. Depende si la mezcla es rica o pobre para que el Oxígeno pueda oxidar los enlaces de Hidrocarburos y es expulsado con el resto de los gases al exterior.

### 2.11.3. Clasificación de los contaminantes

Los contaminantes debido a su origen el cual puede ser natural o antropogénico (originado por acción humana), naturaleza física y composición química se clasifican en contaminantes primarios y secundarios descritos en la siguiente tabla.

Tabla 4: Clasificación de contaminantes

Contaminantes primarios	Contaminantes o sustancias emitidas directamente a la atmósfera	Aerosoles (partículas microscópicas)
		Gases (compuestos de azufre, dióxido de carbono, nitrógeno)
		Metales pesados) cobre, mercurio, plomo, etc.)
		Sustancias reactivas
Contaminantes secundarios	Sustancia que no se emite directamente a la atmósfera, se producen por reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios.	Contaminación fotoquímica
		Lluvia ácida
		Clorofluorocarbonos (compuestos químicos que contiene cloro, flúor y carbono que al llegar a la atmósfera se liberan átomos que dañan la capa de ozono)

[16]

### 2.12. Temperatura en colector de gases de escape

Según el estudio de “Thermal and Modal Analysis of Engine Exhaust Manifold for Different Materials” realizado por Mr. Chandan H S, se efectuó un análisis térmico para diferentes materiales como fundición gris, acero al carbono y acero inoxidable

utilizando análisis de elementos finitos con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5: Datos de temperatura en colector de gases de escape [17]

Material	Temperatura(K)		Diferencia de temperatura	Flujo de calor(W/m <sup>2</sup> )
	Mínima	Máxima		
Hierro fundido	637,6	800	162,3	3,56Xe5
Acero al carbono	657,2	800	142,7	3,62Xe5
Acero inoxidable	403,7	800	396,3	2,81Xe5

### 2.13. Tipos de motores

Existen diferentes tipos de motores y se podría diferenciar por su tipo de combustión , así , de esta manera se obtienen los motores de combustión externa en el cual la combustión es realiza fuera del motor, en síntesis la producción de energía calorífica y la transformación de calor en energía mecánica tienen lugar en dos sistemas distintos; y los motores de combustión interna el proceso para la producción de energía calorífica y la transformación de dicha energía en energía mecánica se lleva a cabo en el mismo sistema, una de sus características es que pueden ser encendidos por chispa y motores de autoencendido. [18]

### 2.14. Ciclos de funcionamiento de un motor MECH

Existen dos ciclos aplicados a motores de combustión interna que son ciclo Otto y ciclo Diesel.

#### 2.14.1. Ciclo Otto

En el motor de cuatro tiempos de encendido por chispa (MECH) es introducido en el cilindro o cámara de combustión una mezcla de aire y combustible con una proporción determinada como se puede apreciar en la Figura 5 (a) , durante esta carrera de admisión el pistón es desplazado de un punto muerto superior (PMS) hasta alcanzar el punto muerto inferior (PMI) todo esto ocurre con la válvula de admisión abierta , posterior a este proceso de llenado de la cámara esta mezcla es comprimida como se muestra en la Figura 5 (b) volviendo a desplazar el pistón pero esta vez desde el PMI hasta el PMS manteniéndose las válvulas de admisión y de escape cerradas . Al

finalizar el proceso de realiza la combustión de la mezcla aire-combustible el cual mediante una chispa provocada por la bujía creando un incremento de la temperatura y presión de la mezcla manteniendo su volumen constante, consecuentemente el pistón es nuevamente lanzado desde su PMS hasta el PMI como se observa en la Figura 5 (c) y nuevamente manteniendo las válvulas de admisión y escape cerradas en su totalidad. [18]

Una vez el pistón llegue a su punto más bajo (PMI) la válvula de escape se abre liberando al ambiente los gases productos de la combustión mostrado en la Figura 5 (d).

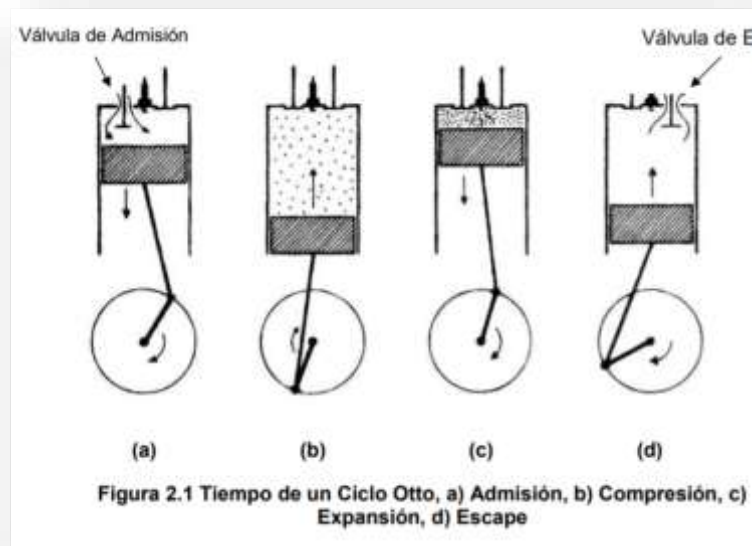


Figura 2.1 Tiempo de un Ciclo Otto, a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape

Figura 5 :Tiempo de un ciclo Otto, a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape [18]

## 2.15. Diferencia entre ciclo Otto teórico y ciclo Otto real

La diferencia entre estos dos ciclos radica en que el teórico realiza el mejor rendimiento posible mientras que el real las pérdidas energéticas se encuentran presentes en el motor.

### 2.15.1. Ciclo teórico

### **Admisión (proceso isocórico 0-1)**

Las válvulas de admisión se abren dejando ingresar aire y combustible a una presión igual a la atmosférica lo cual provoca que el pistón descienda al punto muerto inferior (PMI) dejando a la válvula de escape cerrada.

### **Compresión (proceso adiabático 1-2)**

Con el pistón en el PMI las válvulas de admisión y escape se cierran sin un intercambio de calor entre las paredes del cilindro y el gas, ocurrido esto el pistón comienza a subir hasta el PMS comprimiendo la mezcla que se vaporizara.

### **Combustión (proceso isocórico 2-3)**

Las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas y una vez alcanzado por el pistón el PMS la mezcla es encendida por una chispa que es provocada por la bujía, esta combustión es instantánea por lo cual la presión se incrementa rápidamente y su volumen no cambia.

### **Expansión (proceso adiabático 3-4)**

El pistón es empujado hacia el PMI debido al aumento de volumen y presión.

### **Escape (proceso isocórico 4-1)**

Con el pistón en el PMI la válvula de escape se abre y la de admisión se cierra, liberando los gases del proceso de combustión hacia el ambiente con lo cual la presión en el interior de la cámara de combustión disminuye rápidamente sin variar el volumen interior, después al mantenerse la presión igual a la de la atmósfera el volumen disminuye. [14] (Mercedes, Y. (2014). Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. México)

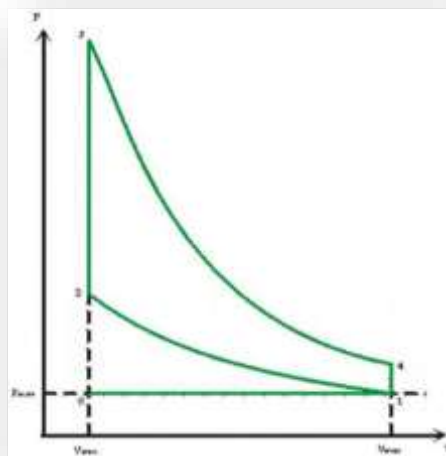


Figura 6: Ciclo Otto teórico [18]

### 2.15.2. Ciclo real

#### Admisión (0-1)

La presión del aire a la entrada a la cámara de combustión es menor a la atmosférica por lo cual el cierre de la válvula de admisión se produce después de que el pistón llegue al PMI con lo cual se incrementa el tiempo de admisión y así ingresa una mayor cantidad de mezcla de aire-combustible.



Figura 7 :Admisión [18]

#### Compresión (1-2)

El gas es enfriado debido a que cede calor al cilindro provocando el enfriamiento del gas y su disminución de presión.



Figura 8: Compresión [18]

### **Combustión (2-3)**

La combustión no se produce de forma instantánea y el volumen de la mezcla aire-combustible varía conforme avanza la inflamación. La chispa debe aparecer momentos antes de que el pistón termine la carrera de compresión y llegue al PMS con la necesidad de incrementar considerablemente su presión antes de que esta combustione generando un trabajo significativo. [18]



Figura 9: Combustión [18]

### **Expansión (3-4)**

La expansión es producida debido al incremento de la temperatura en el interior del cilindro durante la combustión, los gases se enfrían debido a que ceden calor al cilindro reduciendo su presión. [18]

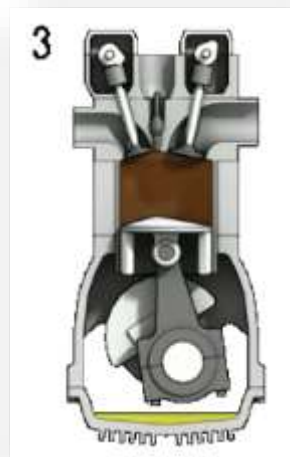


Figura 10: Expansión [18]

#### Escape (4-1)

Los gases presentan una presión mayor a la atmosférica, por lo tanto, la válvula de escape es abierta instantes antes de que el pistón llegue al PMI, así la presión del gas disminuirá al tener un mayor lapso de tiempo hasta que llegue al PMI, y al momento de retornar al PMS solo existirán gases expansionados casi en su totalidad. La válvula de escape es abierta instantes antes de que el pistón alcance el PMS generando una depresión en el cilindro que genera una admisión más energética. [18]

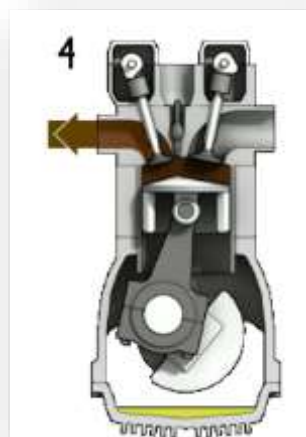


Figura 11: Escape [18]

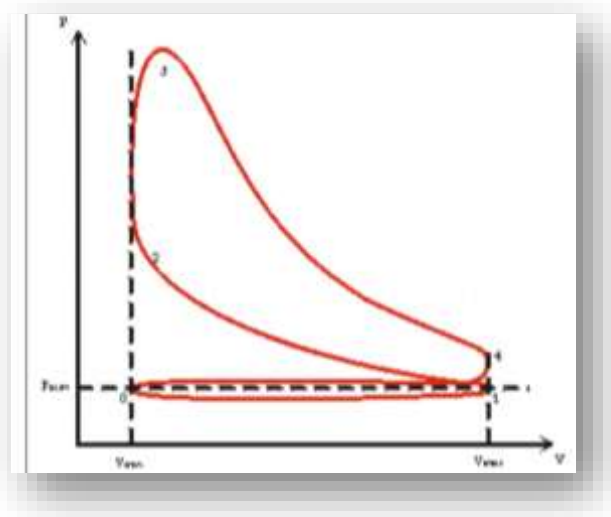


Figura 12: Ciclo Otto real [18]

## 2.16. Cálculo de flujo másico teórico de aire consumido por el motor

En motores de combustión interna de aspiración natural el rendimiento volumétrico es considerado en función de la densidad de condiciones exteriores, en el caso presente existe la necesidad del estudio la influencia de los elementos del sistema de combustión y escape la densidad es considerada a presión y temperatura ambiente. [19]

Para el cálculo de flujo másico teórico partimos del flujo volumétrico teórico lo cual se refleja en la siguiente expresión:

$$V_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * L * \frac{N}{60 \cdot k_2} * 3600 \quad \text{Ec 2.9}$$

Donde:

$V_D$  = flujo volumétrico teórico de aire consumido por el motor,  $[\frac{m^3}{h}]$

$n$  = número de cilindros de motor

$D$  = Diámetro del cilindro según el fabricante  $[m]$

$L$  = carrera del pistón según el fabricante  $[m]$

$N$  = revoluciones a las que gira el motor  $[rpm]$

$k_2 = 2$  debido a que es un motor de 4 tiempos.



## 2.17. Rendimiento volumétrico con el sistema de admisión original

Debemos tomar en cuenta que una de las relaciones del rendimiento volumétrico es la masa de aire que ingresa directamente al cilindro con la que podría ingresar teóricamente el cual se convierte en un parámetro de gran importancia para cuantificar la eficiencia de alimentación. [19]

Podemos realizar este cálculo con la siguiente ecuación:

$$n_v = \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{at}} \quad \text{Ec 2.10}$$

Donde:

$n_v$  = Rendimiento volumétrico

$\dot{m}_{ar}$  = Flujo másico real de aire

$\dot{m}_{at}$  = Flujo másico teórico o ideal de aire

## 2.18. Rendimiento térmico

El ciclo Otto se refiere al ciclo termodinámico el cual es aplicado a motores de combustión interna de encendido provocado. El calor es aportado a volumen constante.

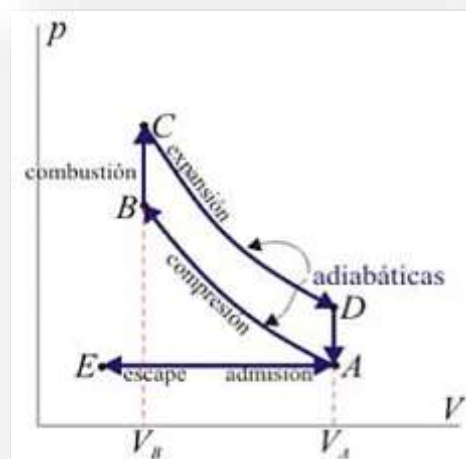


Figura 13:Ciclo otto [6]

Este ciclo posee seis procesos de los cuales dos no se encuentra dentro del ciclo termodinámico del fluido en operación y son los siguientes:

E-A: admisión a presión constante (renovación de la carga)

A-B: compresión isentrópica

B-C: combustión, aporte de calor a volumen constante. La presión se eleva rápidamente antes de comenzar el tiempo útil.

C-D: fuerza, expansión isentrópica o parte del ciclo que entrega trabajo

D-A: Escape, cesión del calor residual al ambiente a volumen constante

A-E: Escape, vaciado de la cámara a presión constante (renovación de la carga) [6]

### 2.18.1. Eficiencia teórica en función de relación de compresión

La eficiencia teórica del ciclo Otto se encuentra en dependencia de la relación de compresión, explicada en la siguiente ecuación: [20]

$$n = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad \text{Ec 2.11}$$

Donde:

$n$  = eficiencia

$r$  = relación de compresión

$k$ =Coeficiente de conducción del material

### 2.18.2. Consumo horario y consumo específico:

El consumo horario se refiere a la cantidad de combustible quemado por el motor en una determinada unidad de tiempo. [21]

$$Qh = 10^{-3} * N_{em} * g_{em} \quad \text{Ec 2.12}$$

Donde:

$Qh$  = Consumo horario del motor primario de la máquina [ $\frac{kg}{h}$ ]

$N_{em}$  = Potencia efectiva que entrega el motor primario de la máquina [kW]

$g_{em}$  = Consumo específico efectivo del punto de operación correspondiente del motor primario de la máquina

$$Qv = \frac{Qh}{\rho_c * V} \quad \text{Ec 2.13}$$

Donde:

$\rho_c$  = Densidad del combustible [  $\frac{kg}{lt}$  ]

$V$  = Velocidad de movimiento constante de la máquina [  $\frac{km}{h}$  ]

### 2.19. Balance Térmico

El balance térmico corrobora que se cumpla la siguiente igualdad:

Energía ingresada al sistema = Energía saliente del sistema

Y para un proceso de flujo y estado estable debe cumplirse la siguiente ecuación:

$$\sum Q = \sum H \text{ entrada} - \sum H \text{ salida} \quad \text{Ec 2.14}$$

Donde:

$\sum Q$  = Sumatoria de calores expulsados al medio ambiente

$\sum H \text{ entrada}$  = sumatoria de entalpias que entran al sistema

$\sum H \text{ salida}$  = sumatorias de entalpias que salen del sistema

En síntesis, se refiere a la sumatoria de calores que atraviesan el sistema es igual a la diferencia entre la suma de entalpias que ingresan al sistema al igual que la suma de entalpias que salen del sistema. [1]

La energía cedida al sistema termodinámico se define como la variación de entalpia.

#### 2.19.1. Flujo másico de combustible

$$\dot{m}_c = \rho * \frac{V}{\Delta T} \quad \text{Ec 2.15}$$

Donde:

$\dot{m}_c$  = flujo másico de combustible [  $\frac{kJ}{kg}$  ]

$\rho$  = densidad específica del combustible [  $\frac{kg}{m^3}$  ]

$V$ = Volumen del combustible [ $m^3$ ]

$\Delta T$ = tiempo de flujo [s]. [1]

### 2.19.2. Calor liberado por el combustible

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c * PCI \quad \text{Ec 2.16}$$

Donde:

$\dot{Q}_c$  =Calor liberado por el combustible[kW]

PCI= poder calorífico inferior del combustible [ $\frac{kJ}{kg}$ ]. [1]

### 2.19.3. Pérdida de calor por los gases de escape

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g * c_p * (T_{esc} - T_{amb}) \quad \text{Ec 2.16}$$

Donde:

$\dot{Q}_g$ = Calor liberado por los gases de escape [ $\frac{kJ}{kg}$ ]

$\dot{m}_g$ = flujo másico de gases [ $\frac{kg}{s}$ ]

$c_p$ = calor específico de los gases

$T_{esc}$ = temperatura de salida [K]

$T_{amb}$ = temperatura ambiente [K]

### 2.19.4. Calor perdido por el Sistema de refrigeración

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_A * c_A * (T_s - T_e) \quad \text{Ec 2.17}$$

Donde:

$\dot{Q}_A$  =calor en radiador [kW]

$\dot{m}_A$ =flujo de agua en radiador [ $\frac{kg}{s}$ ]]

$c_A$ =calor específica de agua [ $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ]

$T_s$ =temperatura de salida de agua [K]

$T_e$ =temperatura de entrada de agua [K]

### 2.19.5. Balance energético

$$\dot{Q}_P = \dot{Q}_c - \dot{Q}_g - \dot{Q}_A - \dot{Q}_{K-C} \quad \text{Ec 2.18}$$

Donde:

$\dot{Q}_P$  =energía útil del motor

$\dot{Q}_c$  =calor liberado por el combustible

$\dot{Q}_g$  =calor de gases de escape

$\dot{Q}_{K-C}$  =calor de agua de enfriamiento

Calor perdido por convección y conducción. [1]

### 2.19.6. Rendimiento del sistema

$$n_{\text{energético}} = \frac{Q_p}{Q_c} \quad \text{Ec 2.19}$$

## 2.20. Balance de Exergía

“La propiedad exergía es el trabajo potencial de un sistema en un ambiente especificado y representa la cantidad máxima de trabajo útil que puede obtenerse cuando el sistema llega al equilibrio con el ambiente. Al contrario de la energía, el valor de la exergía depende tanto del estado del ambiente como del estado del sistema, por lo tanto, la exergía es una propiedad de combinación. La exergía de un sistema que está en equilibrio con su ambiente es cero. El estado del ambiente se conoce como “estado muerto” porque desde el punto de vista termodinámico el sistema está prácticamente “muerto” (no puede hacer trabajo) cuando alcanza tal estado.” [22]

$$\Delta\psi_a = C_p a(T_{oa} - T_{ia}) - T_o \Delta S_a \quad \text{Ec 2.20}$$

$$\Delta\psi_a = (h_{iv} - h_{ov}) + T_o(S_{iv} - S_{ov}) \quad \text{Ec 2.21}$$

Donde:

***T<sub>o</sub>***: temperatura ambiente ;(°C)

***T<sub>oa</sub>***: temperatura de salida ;(°C)

***T<sub>ia</sub>***: temperatura de ingreso ;(°C)

***Δs<sub>a</sub>***: variación de entropía del agua (KJ. Kg-1.°K-1)

***h<sub>iv</sub>***: entalpía de ingreso del vapor; (KJ.Kg-1)

***h<sub>ov</sub>***: entalpía de salida del vapor; (KJ.Kg-1)

***S<sub>iv</sub>*** : entropía de ingreso del vapor; (KJ. Kg-1.°K-1)

***S<sub>ov</sub>*** : entropía de salida del vapor; (KJ. Kg-1.°K-1)

### 2.21. Transferencia de exergía por calor

El calor es una forma de energía desorganizada y solo una porción de él puede convertirse en trabajo, el cual es una forma de energía organizada (segunda ley). Siempre es posible producir trabajo a partir del calor a una temperatura superior a la temperatura ambiente, transfiriéndolo a una máquina térmica que rechaza hacia el ambiente el calor de desperdicio, por lo cual la transferencia de calor se encuentra acompañada siempre por la transferencia de exergía. [22]

La transferencia de calor Q en una ubicación que se encuentra a una temperatura termodinámica T siempre está acompañada por la transferencia de exergía  $X_{calor}$  en la cantidad de:

$$X_{calor} = \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) Q \quad [kJ] \quad \text{Ec 2.22}$$

Donde:

$T_o$ =Temperatura inicial [K]

$T$  = Temperatura final [K]

$Q$  = transferencia de calor [kJ]

### 2.22. Transferencia de exergía por trabajo, W

Se define exergía al potencial de trabajo útil y la transferencia de exergía por trabajo puede expresarse como:

$$W_{alre} = P_0(V2 - V1) \quad \text{Ec 2.23}$$

Donde:

$P_0$  = presión atmosférica [kPa]

$V1$  y  $V2$  = volúmenes iniciales y finales del sistema [ $\frac{m^3}{s}$ ]

En el caso de un sistema que involucra trabajo de frontera, como un dispositivo de cilindro y émbolo, el trabajo realizado para empujar el aire atmosférico durante la expansión no puede transferirse, por lo tanto, debe restarse. Asimismo, durante un proceso de compresión una parte del trabajo está hecho por el aire atmosférico, por lo tanto, se necesita proporcionar menos trabajo útil de una fuente externa. [22]

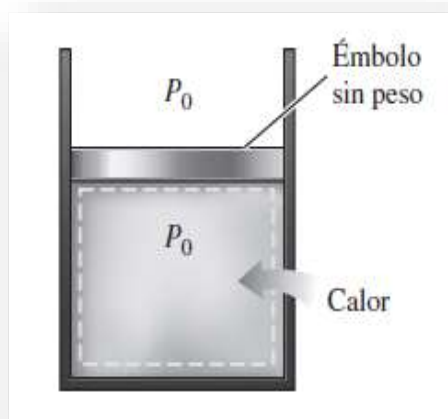


Figura 14: Émbolo sin peso

No hay transferencia de trabajo útil asociado con el trabajo de frontera cuando la presión del sistema se mantiene constante a la presión atmosférica. [22]

### 2.23. Eficiencia de segunda ley

La eficiencia de la segunda ley en flujo estable de varios dispositivos podemos determinar a partir de su definición general: [22]

$$nu = \left( \frac{\text{energía estable}}{\text{energía suministrada}} \right) \quad \text{Ec 2.24}$$

## 2.24. Calor perdido por sistema de refrigeración

$$Q_a = m_a * c_a * (T_s - T_e) \quad \text{Ec 2.25}$$

Donde:

$Q_a$  = calor de radiador en[kW]

$m_a$  = flujo de agua en radiador en  $\left[ \frac{kg}{s} \right]$

$c_a$  = calor específico del agua en  $\left[ \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$

$T_s$  = temperatura de salida del agua en [K]

$T_e$  = temperatura de entrada del agua en [K]. [1]

## 2.25. Materiales del motor

### 2.25.1. Bloque de cilindros

a) Fundido de aleación de aluminio-DIN 1691:

- GG: Hierro fundido con grafito laminar (fundición gris): no maleable, fácilmente mecanizable y de fácil fundición, sensible a deformación, resistente a la presión, poca dilatación, buenas características de rozamiento, resistente a vibraciones, corrosión y fuego.
- GG-12: fácilmente mecanizable; para piezas de fundición sometidas a sollicitación mediana, 3,3 a 3,6% C, resistencia a la tracción de 120 N/mm<sup>2</sup>.
- GG-20: para piezas de fundición con alta sollicitaciones, 1,6 a 2% Si, con 3,2 a 3,4% C, resistencia a la tracción de 200 N/mm<sup>2</sup>.
- GG-25: para piezas de fundición con alta sollicitaciones, 1,2 a 1,8% Si; 2,8 a 3,2% C; resistencia a la tracción de 250 N/mm<sup>2</sup>. GG-26: 1,2 a 1,8% Si; 2,8 a 3,2% C; resistencia a la tracción de 260 N/mm<sup>2</sup>. [23]

b) Metal ligero: Aleación de aluminio fundida y maleable:



- G-Al Si 10 Mg: piezas para fundición resistentes a vibraciones; 10% Si, 0,3% Mg, resto Al; resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm<sup>2</sup>.
  - G-Al Si 12: aleación para fundición en arena, resistente al choque, aptas para piezas de pared delgada; 12% Si, resto Al; resistencia a la tracción de 170 a 220 N/mm<sup>2</sup>.
  - GD-Mg Al 9 Zn 1: aleación de magnesio para fusión y coladas a presión con 9% Al, 0,3% Mn, 1% Zn, resto Mg, resistencia a tracción de 240 a 280 N/mm<sup>2</sup>.
- [23]

## CAPÍTULO III

### Metodología

#### 3. Nivel o tipo de investigación

En la investigación se desarrollará un estudio cuantitativo debido a que se basa en recolectar y tomar datos de temperaturas, presiones, velocidades y caudal que se presentan a lo largo del sistema.

##### 3.1.Descriptiva

Debido a que se analizan pérdidas que se presentan a lo largo del sistema y como se comportan de esta manera se recolectan datos con los cuales se determinara su rendimiento térmico.

##### 3.2.Población y muestra

###### 3.2.1. Población

Sistemas mecánicos y térmicos que conforman un motor de combustión interna (MECH) de  $1600\text{cm}^3$ .

###### 3.2.2. Muestra

Datos recolectados del motor de combustión interna (MECH) de  $1600\text{cm}^3$  controlando temperatura del bloque y gases de escape, revoluciones, presión y velocidad de gases de escape.

Tabla 6: Datos técnicos de motor de combustión interna analizado [24]

<b>Motor de combustión</b>	
Marca	Hyundai
Año	2004
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	105 cv/77kw
Par máximo	143 Nm
Número de cilindros	4
Material del bloque	Hierro fundido

Diámetro	76,5 mm
Carrera	87mm
Cilindrada	1600 cm <sup>3</sup>
Capacidad de tanque de combustible	45 litros
Relación de compresión	10 a 1

### 3.3. Operación de variables

#### 3.3.1. Variable dependiente

Rendimiento térmico

Tabla 7: Operacionalización de variable dependiente

Conceptualización	Indicadores	Ítems	Instrumentación
El rendimiento térmico es la relación entre la potencia efectiva y la potencia térmica, se logrará un incremento en su rendimiento térmico al reducir sus pérdidas de calor.	Velocidad baja	Número de revoluciones (1000 RPM) Consumo de combustible Potencia neta	Tacómetro  Cámara termográfica
	Velocidad alta	Número de revoluciones (2000 RPM) Potencia neta	

#### 3.3.2. Variable independiente

Pérdidas térmicas en motor de combustión interna.

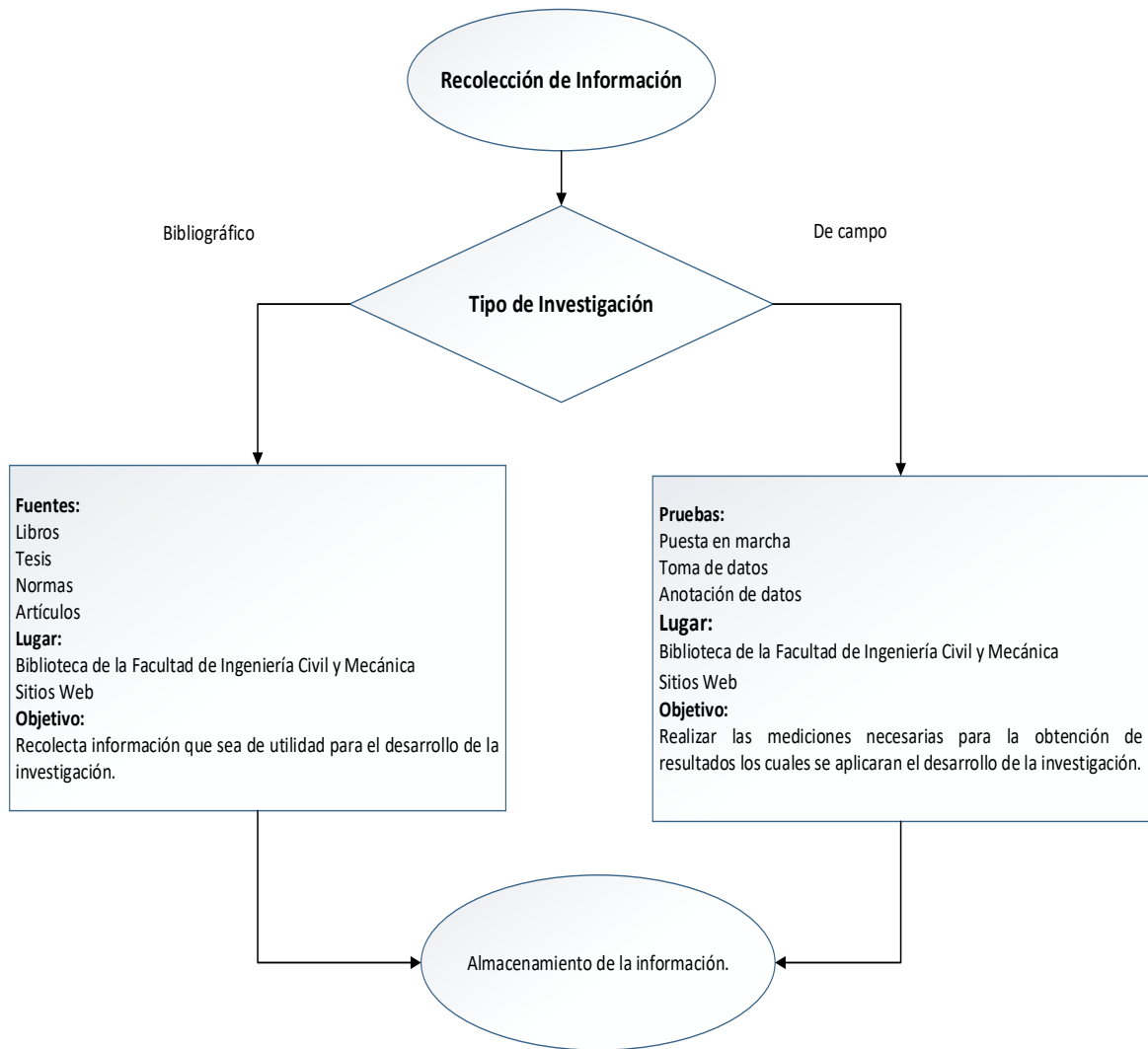
Tabla 8:Operacionalización de variable dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Instrumentación
Las pérdidas de calor en un motor de combustión interna son producidas por convección, conducción y mediante los gases de escape.	Pérdidas por enfriamiento	Temperatura	Temperatura $\leq 50$ °C	Cámara termográfica Software Termocuplas Anemómetro
	Pérdidas térmicas	Temperaturas superficiales	Temperatura (>100grados)	
	Pérdidas en gases	Flujo másico	Velocidad de gases de escape	

### 3.4.Recolección de información

En el presente trabajo se recolectará información acerca de los procesos y métodos utilizados en eficiencia térmica y transferencia de tomada de libros, tesis, artículos científicos los cuales estarán relacionados al tema de estudio.

De la misma manera se realizará aplicación técnica de campo para la recolección de datos obtenidos en el proceso de operación de un motor de combustión interna (MECH) de  $1600\text{cm}^3$  en un vehículo de uso particular.



### 3.4.1. Recolección de datos de temperatura aplicando termografía

Los datos de temperatura se realizaron en tres zonas del motor de combustión interna con la ayuda de la cámara térmica Flir TG-165 a una distancia desde los 0.60 metros que mide un espacio de 0.025 metros de diámetro, desde una distancia de 1.21 metros mide un espacio de 0.050 metros y desde una distancia de 1.82 metros el diámetro del espacio de 0.076 metros.

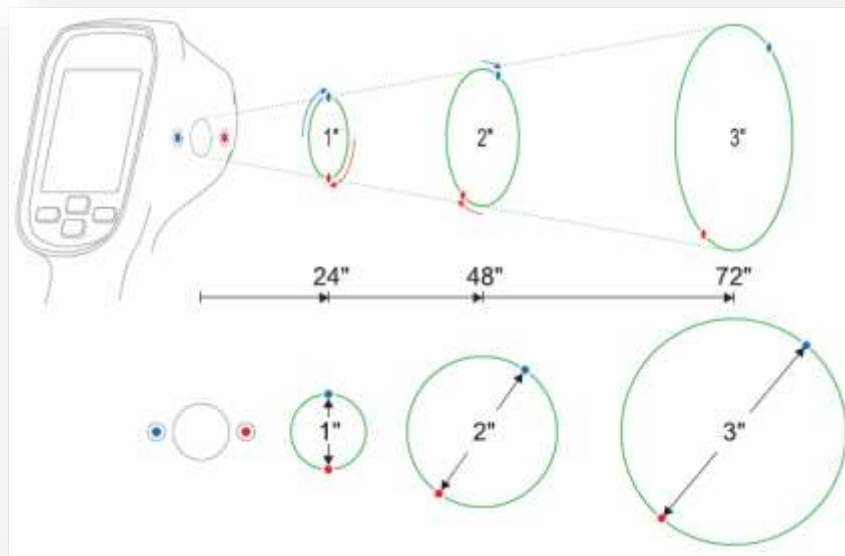


Figura 15: Proporción Distancia-Spot y los rayos del puntero láser giratorio [25]

Se realizaron dos pruebas en cada uno de los tres sectores del motor con la finalidad de que los datos concuerden. Cada una de las pruebas se realizó a las 10:00 am con una temperatura ambiente aproximada de 21°C a 23°C para obtener una mayor fiabilidad del muestreo, con un rango de 4 minutos se registraron 4 datos en cada prueba. [25]

### 3.4.2. Ubicación

#### a) Zona frontal del bloque



Figura 16: Zona 1 de prueba

**b) Zona posterior del bloque**



Figura 17: Zona 2 de prueba

**c) Zona inferior de Cáster de aceite**



Figura 18: Zona 3 de prueba

### 3.4.3. Termografía

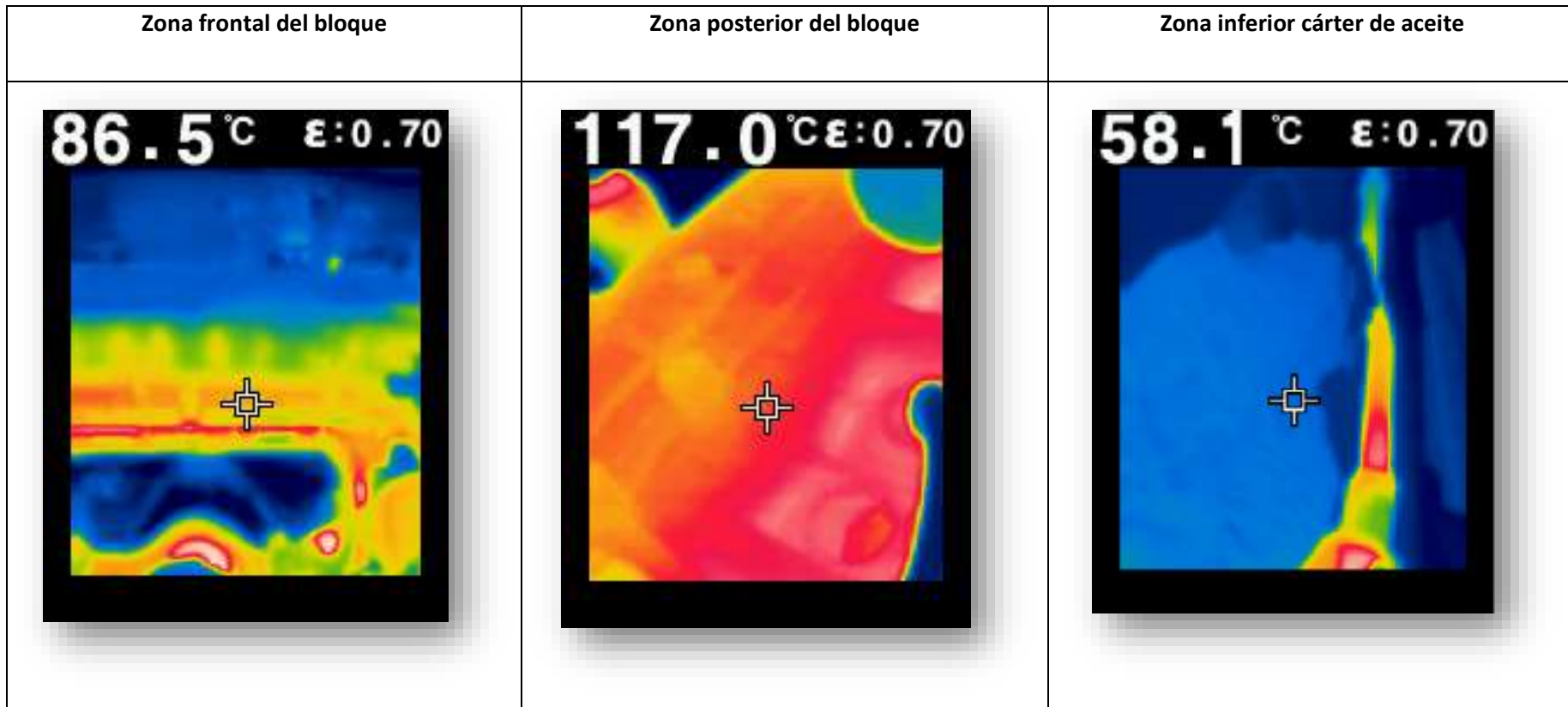



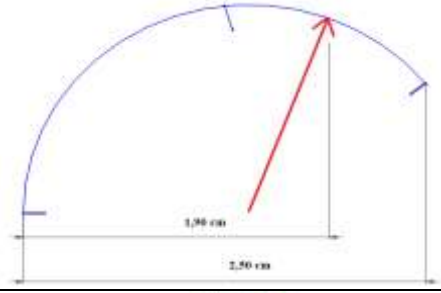

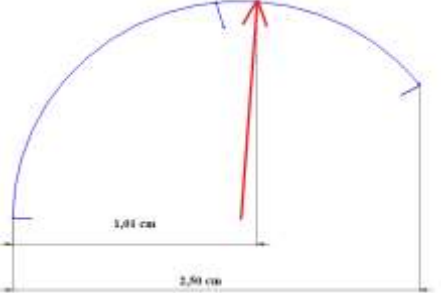

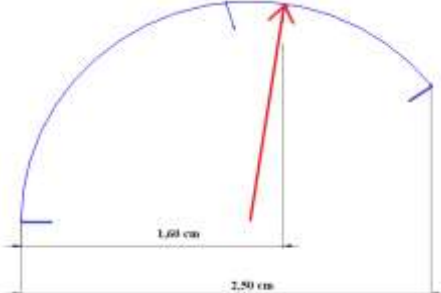
Figura 19: Zonas de aplicación de termografía



### 3.5.Recolección de datos de consumo de combustible

Para el análisis de consumo de combustible se realizó la toma de datos con la ayuda del medidor de combustible del automóvil obteniendo lo siguiente:

Tabla 9: Datos de consumo de combustible

Distancia Recorrida (km)	Valor (cm)	Tiempo (minutos)	Medidor de combustible	Análisis de medidor de combustible
0	1,9	0		
24,2	1,01	38		
38,3	1,6	60		

Este análisis de consumo de combustible se realizó con la ayuda de un software especializado de manera dinámica en el cual el automóvil recorrió 38.3 km en un tiempo de 45 minutos y la pluma del combustible marcó inicialmente una distancia de 1.90 cm hasta el final de recorrido en la cual marco 1.01 cm. Con estos datos podemos estimar el consumo realizado por el automóvil en dicho recorrido y de esta manera aplicarlos posteriormente a nuestra investigación.

### 3.6. Modelación

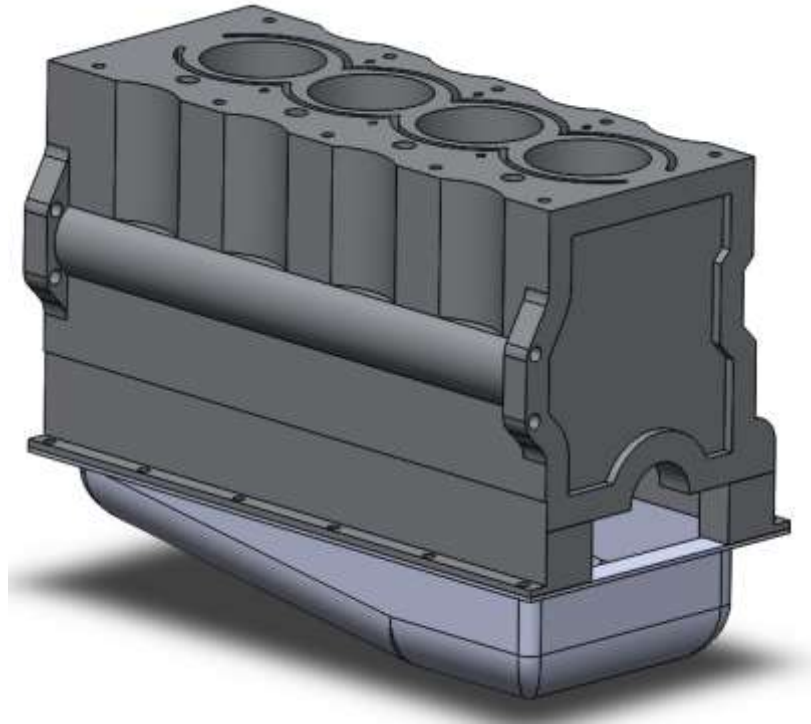


Figura 20: Modelacion de bloque de motor y cárter de aceite

### 3.7. Instrumentos utilizados

#### 3.7.1.1. Cámara Termográfica Flir TG-165



Figura 21: Cámara Flir TG-165 [25]

Los termómetros infrarrojos son dispositivos que miden temperaturas superficiales de un objeto, la cámara TG-165 convierte la información la cual es receptada por sus dos láseres infrarrojos y las muestra en su pantalla que aparece en la parte superior derecha en forma de texto excepto cuando supera los 380 °C o son inferiores a los -25°C .

Rango de medida de temperatura IR	-25°C a 380°C (-14°F a 716°F)
Sobre y rango de indicaciones	OL
Regulación de temperatura IR	0,1°C (0,1°F)
Precisión de la temperatura IR	
	-25° ~ -10 °C (-13° ~ +14 °F): ±3,0 °C (±5,4 °F)
	-10° ~ 0 °C (+14° ~ +32 °F): ±2,0°C (±3,6°F)
	0° ~ +380 °C (+32° ~ +716 °F): ±1,5 °C (±2,7 °F) o ±1,5 % lo que sea mayor
Proporción Distancia-Spot (D:S)	24:1
Campo del ángulo de visión	0,04°
Tiempo de respuesta de la temperatura IR	150ms
Medida de la temperatura	Continua
Emisividad	4 predeterminados más un ajuste personalizado (0,01 a 0,99)
Punteros láser	Doble divergente (rojo), encuadran el punto/área de medida del termómetro IR
Establecimiento de objetivo	Los puntos de mira mostrados localizan el centro del punto/área de medida

Figura 22: Especificaciones de termómetro [25]

La energía emitida por el objeto a medir es proporcional a la emisividad de la superficie y su temperatura. Existe un rango de emisividad el cual va desde 0.1 el objeto de mucho brillo hasta 1 en superficies con acabado negro liso.

#### a) Factores de emisividad

Material	Emisividad	Material	Emisividad
Asfalto	0.90 a 0.98	Tela (negra)	0.98
Hormigón	0.94	Piel (humana)	0.98
Cemento	0.96	Piel (cuero)	0.75 a 0.80
Arena	0.90	Carbón (polvo)	0.96
Tierra	0.92 a 0.96	Laca barniz	0.80-0.95
Agua	0.92 a 0.96	Laca barniz (mate)	0.97
Hielo	0.96 a 0.98	Goma (negra)	0.98
Nieve	0.83	Plástico	0.85 a 0.90
Cristal	0.90 a 0.95	Madera	0.90
Cerámica	0.90 a 0.94	Papel	0.70 a 0.94
Mármol	0.94	Oxidos de cromo	0.81
Yeso	0.80 a 0.90	Oxidos de cobre	0.78
Argamasa	0.89 a 0.91	Oxidos de hierro	0.78 a 0.82
Ladrillo	0.93 a 0.96	Textiles	0.90

Tabla 10: Factores de emisividad [25]

### 3.7.1.2. Termómetro Testo 735



Figura 23: Termómetro Testo 735 [26]

Un equipo de medición de temperatura que presenta una gran ventaja al momento de utilizarlo con una gran variedad de sondas según la necesidad de medición. Posee dos entradas para la conexión de sondas termocuplas de tipo K, T, J y S.

Permite la visualización de los datos de temperatura obtenidos en tiempo real, este equipo genera datos máximos, mínimos y promedio al conectar dos sondas. [26]

### 3.7.1.3. Termocupla tipo K



Figura 24: Termocupla Tipo K [27]

También llamados termopar son instrumentos de medición de temperatura que cuando son sometidos a una variación de temperatura los extremos de los metales mediante una junta se genera un efecto curioso el cual es la aparición de un diferencial de potencial y se encuentra en base a la temperatura. Al exponerla a una cantidad de calor se obtienen distintas tensiones y es mediante el cual se puede observar la temperatura existente. Los tipos K presenta varias aplicaciones ya que mide temperaturas de un rango amplio el cual va de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $1372^{\circ}\text{C}$ . [28]

#### 3.7.1.4. Anemómetro HP-866B



Figura 25: Anemómetro HP-866B [29]

El anemómetro es un aparato compacto y portátil el genera datos precisos de la velocidad del viento además de mostrar la temperatura. Posee varias especificaciones las cuales se ilustran en la siguiente tabla:

Tabla 11: Rango de velocidades del viento [29]

Rango de velocidad del viento			
Unidad	Rango	Resolución	Exactitud
m/s	0,5-30	0,1	±5%
Ft/min	99-5860	19	
Knots	ene-55	0,2	
Km/h	feb-90	0,3	
Mph	ene-65	0,2	

Tabla 12: Rango de temperaturas [29]

Rango de temperatura			
Unidad	Rango	Resolución	Exactitud
$^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$ _ $45^{\circ}\text{C}$	0,2	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
$^{\circ}\text{F}$	$14^{\circ}\text{F}$ _ $113^{\circ}\text{F}$	0,36	$\pm 3,6^{\circ}\text{F}$

### 3.7.1.5. Medidor de presión absoluta TESTO 511



Figura 26:Testo 511 [30]

El Testo 511 es un instrumento de medición de presión absoluta. Es normalmente se usa para medir la presión absoluta, por presión compensación en la medición de velocidad en ductos, laboratorios y procesos de producción. Otros parámetros de medición son presión barométrica. [30]

### 3.7.1.6. Analizador de gases MAHA MTG5

Este equipo está basado en el principio de absorción de radiación infrarroja no dispersa para analizar los gases de motores de ciclo Otto. Los cuales constan de: monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, hidrocarburos HC; y de celda electroquímica (galvánica) con lo cual se determina oxígeno molecular O<sub>2</sub> y también óxido de nitrógeno NO<sub>x</sub>. [3]



Figura 27: Analizador de gases MAHA MTG5. [3]

Tabla 13: Datos técnicos de Analizador de gases MAHA MTG5. [3]

DATOS TÉCNICOS				
Gases analizados	CO	CO2	HC	O2
Rango de medición	0-15 Vol %	0-20 Vol%	0-2000 ppm Hexano 0-4000 ppm Propano	0-25 Vol %
Precisión de medida	0.06 Vol %	0.5 Vol %	12 ppm Vol	0.1 Vol %
Principio de medida	infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electro- químico
Resolución valores de med.	0.001 Vol %	0.01 Vol%	0.1 ppm Vol %	0.1 Vol %
Deriva del rango de med.	Inferior a $\pm 0.6\%$ del valor final del rango de medición			
Fase de precalentamiento	mín. 30 minutos, max. 10 minutos *regulado por temperatura			
Nivel de electricidad para mediciones de gas	3 l/min			
Alimentación de corriente	85 V -280 V *50 H * 65W Cable de alimentación con conexión a 10-42 V CC con pinzas de apriete y diodo como protección contra polarización inversa 5 m (batería vehículo, opcional)			
Temperatura de servicio	5°C - + 45°C *Desviación $\pm 2^\circ\text{C}$			

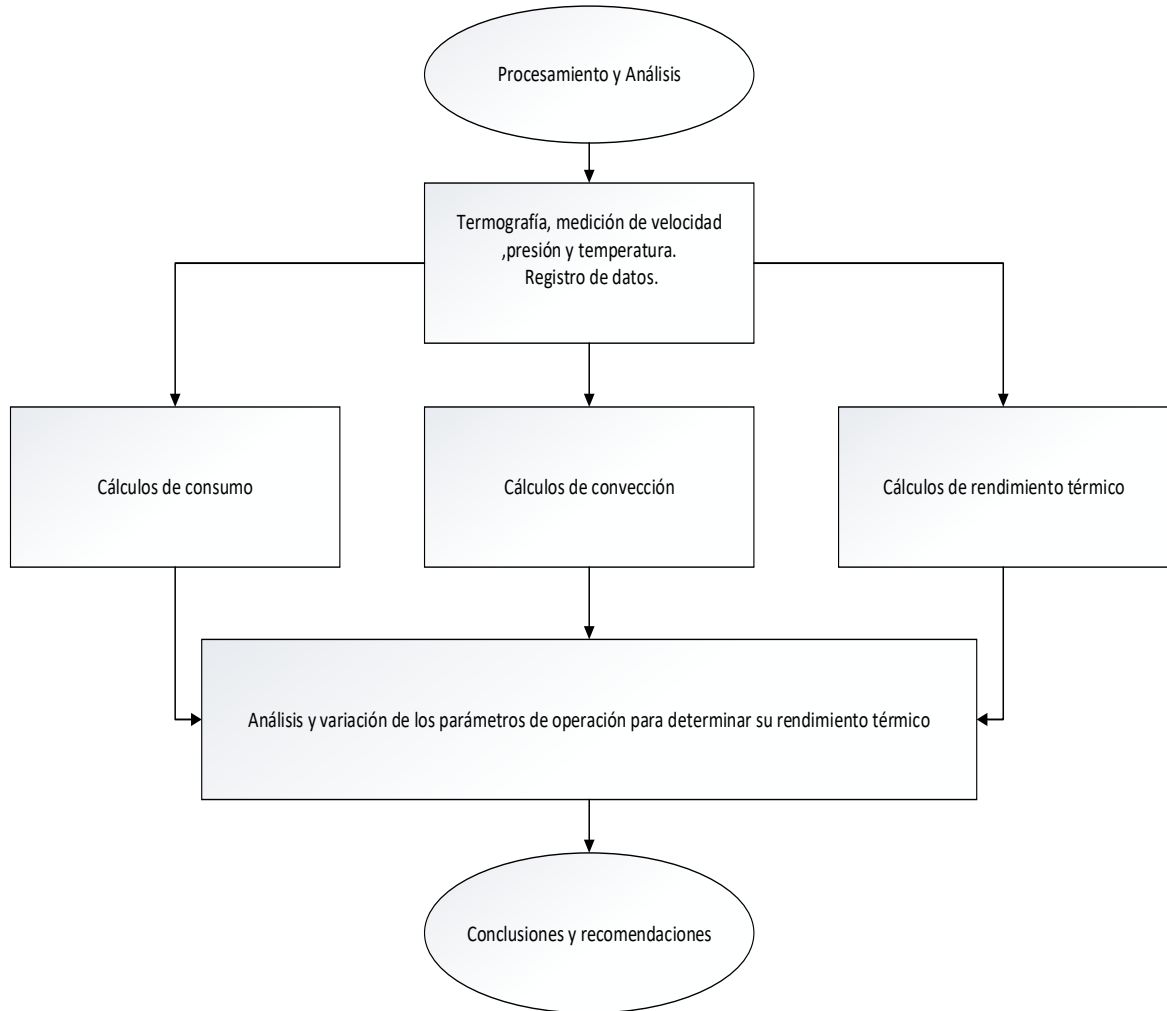
Tabla 14: Datos técnicos [30]

<p><b>Measurement data</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Sensor: Absolute pressure sensor</li> <li>· Parameters (absolute/barometric): Pa, hPa, mbar, mmHg, inHg, inH<sub>2</sub>O, psi</li> <li>· Measuring ranges: 300...1,200 hPa, 120.4...481.8 inH<sub>2</sub>O</li> <li>· Resolutions: 0.1 hPa, 0.01 inH<sub>2</sub>O</li> <li>· Accuracies (Nominal temperature 22 °C, <math>\pm 1</math> Digit): <math>\pm 3</math> hPa, <math>\pm 1.2</math> inH<sub>2</sub>O</li> <li>· Measuring rate: 0.5 s</li> </ul>	<p><b>Further instrument data</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Protection class: IP40</li> <li>· Ambient conditions: 0...50 °C, 32...122 °F</li> <li>· Storage/transport conditions: -40...70 °C, -40...158 °F</li> <li>· Voltage supply: 2x 1.5 V type AAA</li> <li>· Battery life: 200 h (without display light)</li> <li>· Dimensions: 119x46x25mm / 4.7x1.8x1.0 in (inc. protection cap)</li> <li>· Weight: 90g / 3.2 oz (inc. batteries and protection cap)</li> </ul> <p><b>Directives, standards and tests</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· EC Directive: 2004/108/EEC</li> </ul> <p><b>Warranty</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Duration: 2 years</li> <li>· Warranty conditions: see guarantee card</li> </ul>
---	--

### 3.8. Plan de procesamiento y análisis

Una vez finalizada la recolección de datos tanto bibliográfica como de campo el paso siguiente es proceder a la organización de la misma con la cual procederemos a su

aplicación. Posterior a toma de datos de las pruebas de campo realizadas se procede con los cálculos respectivos establecidos por los principios de termodinámica, transferencia de calor y la normativa consiguiente, con las cuales podremos establecer las pérdidas térmicas del sistema para con ello obtener su rendimiento térmico propuesto.





## CAPÍTULO IV

### 4. Resultados y discusión

La obtención de datos de temperatura, velocidad y presión del motor de combustión interna (MECH) fueron obtenidos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato con una cámara térmica, termocuplas tipo K y un anemómetro.

#### 4.1. Análisis termográfico

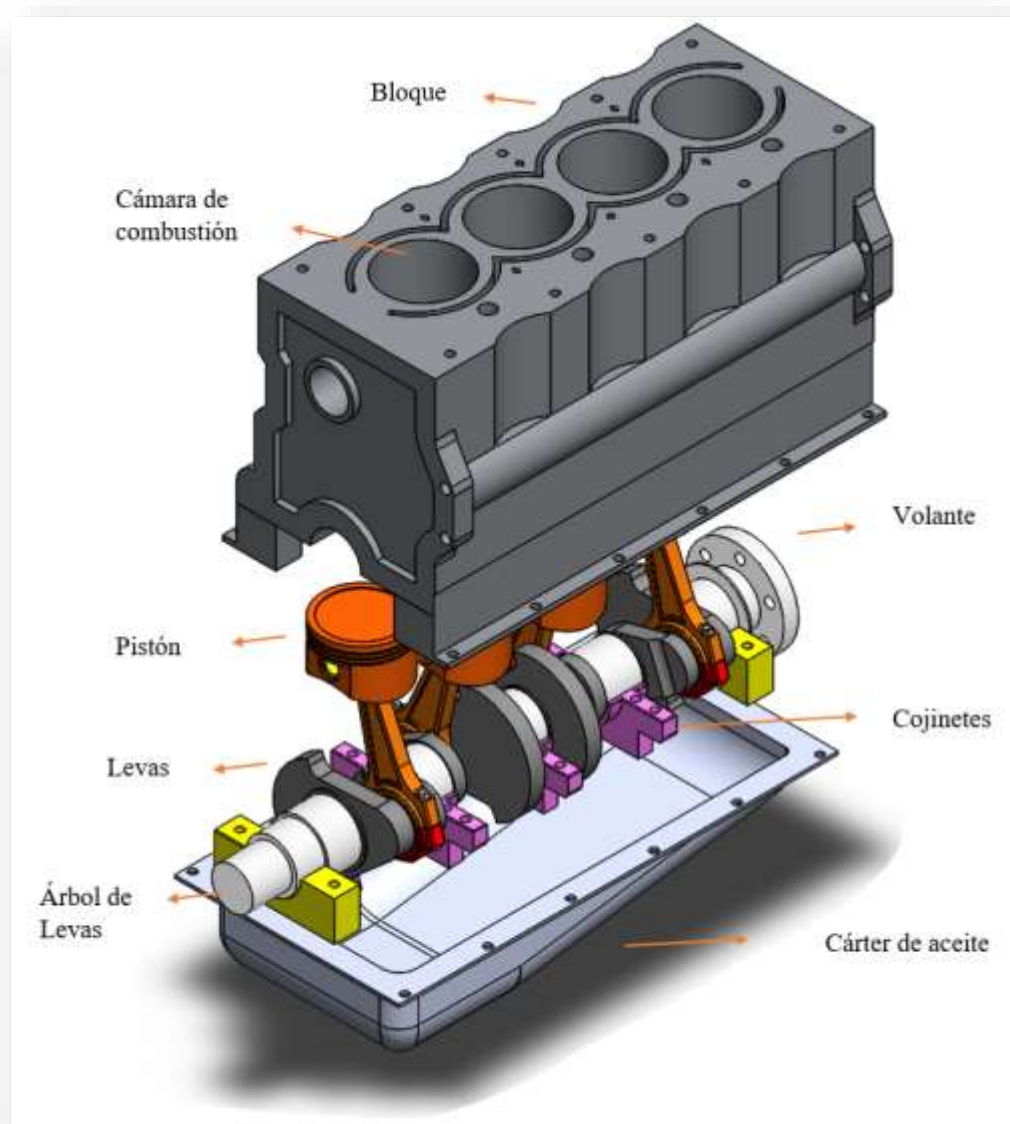


Figura 28: Partes del motor

## 4.2. Zonas de termografía

### 4.2.1. Zona frontal del bloque del motor

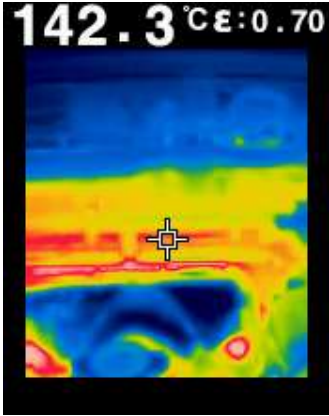

Termo grama	Elemento
	

Figura 29: Termo grama zona frontal del bloque.

La figura nos muestra la medición de temperatura la cual se realizó a una distancia de 1 metro y nos muestra una temperatura de 142.3 °C a 2000 rpm la cual se obtuvo a los 16 minutos en la tercera toma de datos observando un flujo estable de calor en esta zona compuesta de hierro fundido y un incremento en el cambio de sección del material por la cual el flujo de calor es superior elevándose más allá de los 198°C siendo una de las zonas por la cual el calor es liberado al ambiente generando una disminución de la eficiencia térmica del motor.

### 4.2.2. Zona posterior del bloque del motor

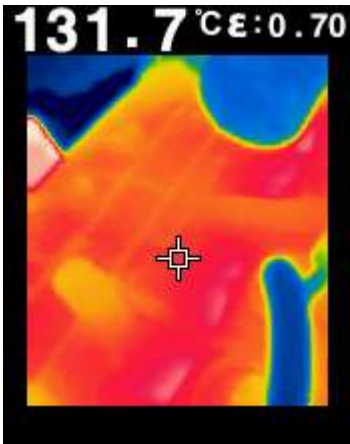

Termo grama	Elemento
	

Figura 30: Termo grama del bloque posterior

En la siguiente gráfica la toma de datos se realizó a las 24 pulgadas recomendada por el fabricante de la cámara termográfica podemos observar un incremento de temperatura en comparación con la parte frontal del motor debido a que su sección transversal es menor y no existe ventilación de aire forzado lo cual hace que su temperatura no se disipe de mejor manera hacia el ambiente llegando hasta temperaturas de 132°C.

#### 4.2.3. Zona del cárter de aceite

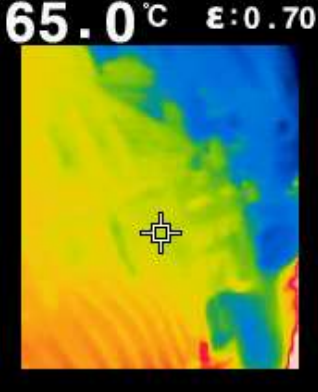

Termograma	Simulación
	

Figura 31: Termograma del cárter de aceite parte inferior


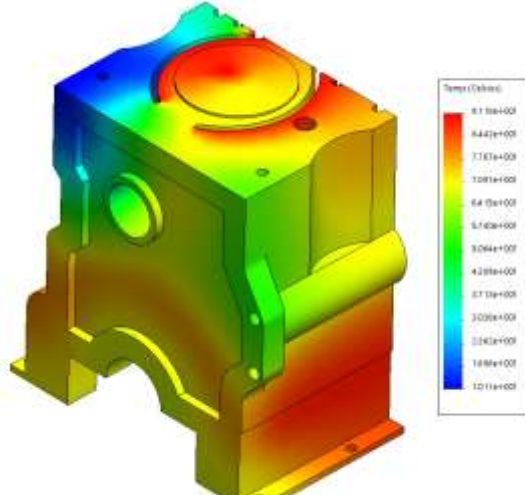
En la siguiente figura se observa el cárter de aceite el cual almacena el aceite que actúa como refrigerante del motor el cual se encuentra entre 60°C y 70°C siendo uno de los sectores de pérdidas de calor hacia el ambiente.

### 4.3. Simulación por software

#### 4.3.1. Bloque del motor

Para el análisis se consideró una temperatura de ignición del combustible de 1073 K generando fronteras de térmicas en el punto muerto superior e inferior de la cámara de combustión. Se seleccionó una sola cámara de combustión colocando una temperatura ambiente de 296 K en las caras externas del bloque para realizar el análisis de convección

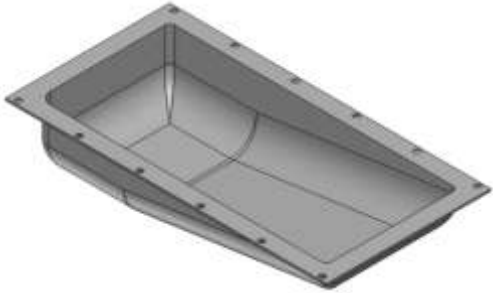
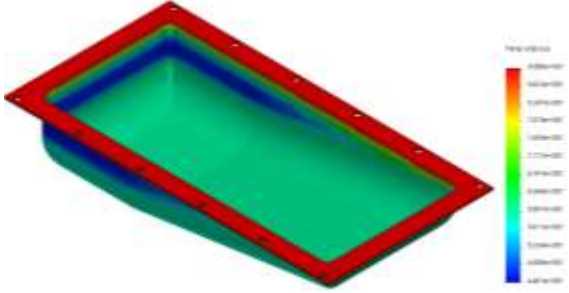
Tabla 15: Análisis térmico de bloque de motor

Vista Isométrica		Análisis Térmico	
			
Parámetro	Símbolo	Unidad	Magnitud
Área	$A$	$m^2$	0.2923
Espesor de pared	$X$	$m$	0.0477
Volumen		$m^3$	0,103
Peso		N	732,12
Masa		Kg	74.63
Material			Fundición gris
Temperatura		K	1073

#### 4.3.2. Cárter de aceite

Para el análisis se consideró una temperatura en las caras internas del Cárter de 340 K ya que es la obtenida en la toma de datos del aceite después de 16 minutos a 2000 rpm y en las caras externas se colocó una temperatura ambiente de 296 K en un material de Fundición gris para proceder al análisis por convección.

Tabla 16: Análisis térmico de Cárter de aceite

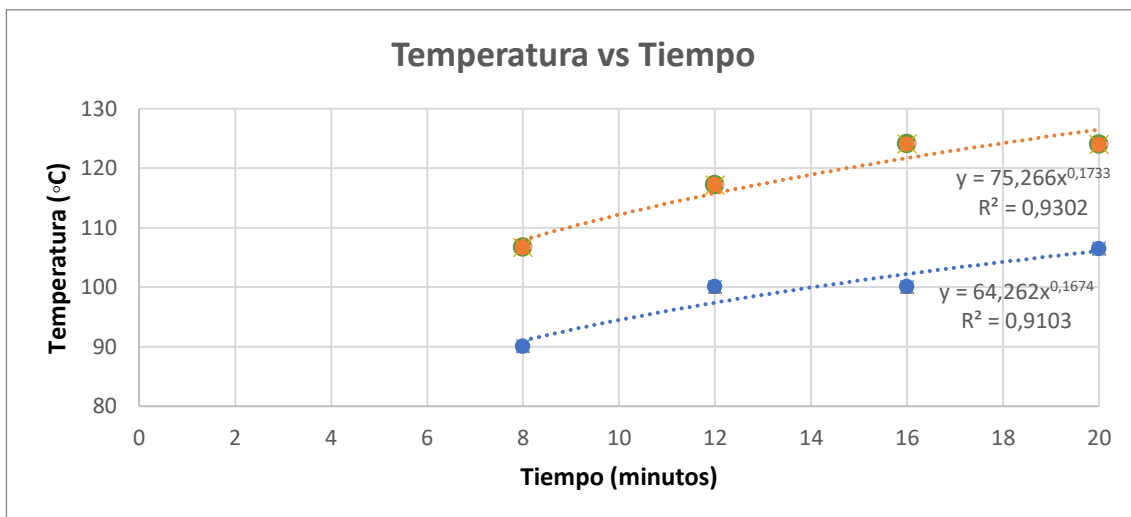
Vista Isométrica		Análisis Térmico	
			
Parámetro	Símbolo	Unidad	Magnitud
Área	$A$	$m^2$	0.06368
Espesor de pared	$X$	$m$	0.004
Volumen		$m^3$	489317.83
Peso		N	34.53
Masa		Kg	3.52
Material		-	Fundición gris
Temperatura		K	340

#### 4.4. Análisis de distribución de temperaturas del bloque de motor y cárter de aceite

En la presente tabla se pueden observar los datos de temperatura en las tres zonas del motor en dependencia del número de revoluciones por minuto (RPM).

Tabla 17: Prueba 1 del bloque frontal

Prueba 1 - Bloque sección frontal				
Tiempo (minutos)	1000 rpm		2000 rpm	
	Temperatura			
	°C	K	°C	K
8	90,1	363,1	106,7	379,7
12	100,1	373,1	117,2	390,2
16	100,1	373,1	124,1	397,1
20	106,5	379,5	124	397

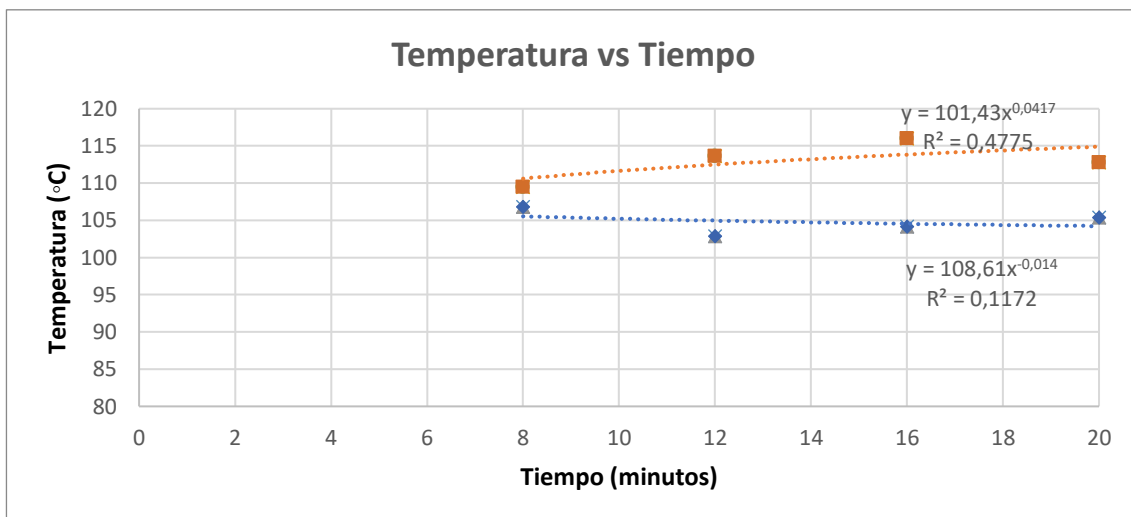


Gráfica 1: Variación de Temperatura frente al Tiempo en la primera prueba en la cara frontal del bloque.

La gráfica nos muestra los datos obtenidos en la primera prueba el incremento de temperatura de la cara frontal del bloque del motor en función del tiempo y el número de revoluciones por minutos (RPM) observando que la curva tiende a estabilizarse a partir del minuto 16 con temperatura de 106.5 C°(379.5 K) y 124.1 C°(397.1 K) tanto a 1000 rpm y 2000 rpm respectivamente a las que se les da una línea de tendencia potencial para determinar una ecuación que se ajuste a su comportamiento.

Tabla 18: Datos obtenidos de Temperatura frente al Tiempo de la segunda prueba en el bloque parte frontal

Prueba 2 - Bloque sección frontal				
Tiempo (minutos)	1000 rpm		2000 rpm	
	Temperatura			
	°C	K	°C	K
8	106,8	379,8	109,5	382,5
12	102,9	375,9	113,6	386,6
16	104,2	377,2	116	389
20	105,4	378,4	112,8	385,8

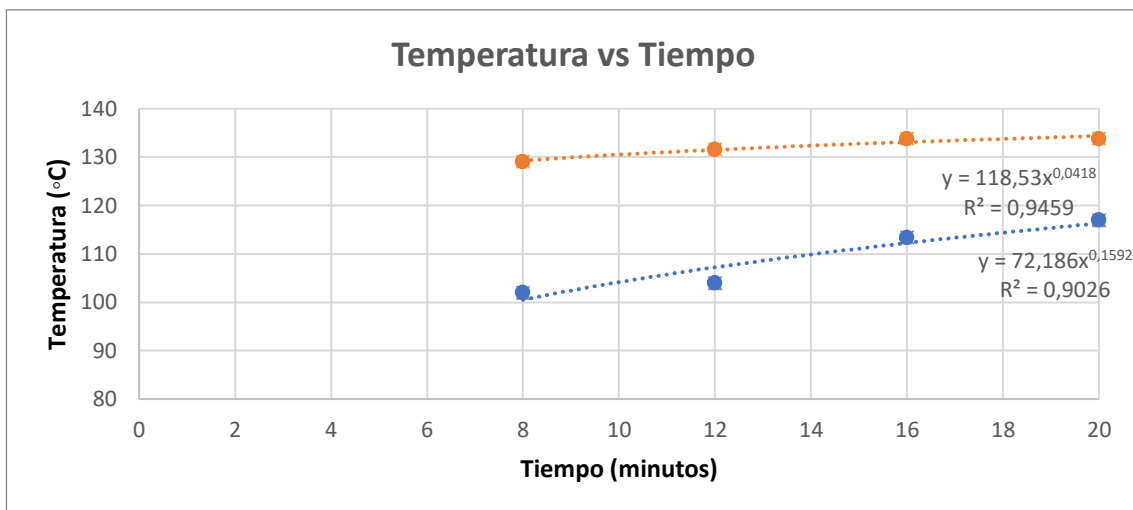


Gráfica 2: Variación de Temperatura frente al Tiempo de la segunda prueba en el bloque parte frontal.

En la gráfica observamos los datos obtenidos en la segunda prueba el aumento de temperatura en la cara frontal del bloque del motor notando una notable estabilización de su temperatura tanto a 1000rpm y 2000 rpm a partir de los 16 minutos con temperaturas de 105.4 C° y 112.8C° respectivamente a las que se les ha dado una línea de tendencia potencial para determinar una ecuación que se ajuste a su comportamiento.

Tabla 19: Datos obtenidos de Temperatura frente al Tiempo de la primera prueba en el bloque zona posterior

Prueba 1 - Bloque sección posterior				
Tiempo (minutos)	1000 rpm		2000 rpm	
	Temperatura			
	°C	K	°C	K
8	102	375	129,1	402,1
12	104	377	131,6	404,6
16	113,4	386,4	133,8	406,8
20	117	390	133,8	406,8



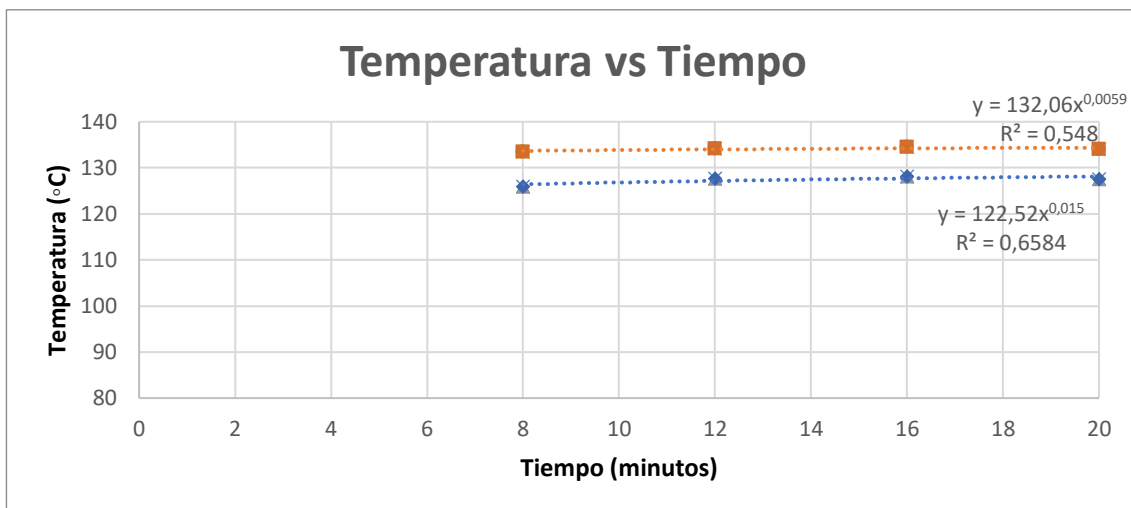
Gráfica 3: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo en la zona posterior del bloque.

Esta gráfica representa la primera prueba realizada de la variación de la temperatura de la cara trasera del bloque del motor en función del tiempo observando la estabilización de la curva a partir del minuto 18, tanto para 1000 rpm y 2000 rpm con temperaturas de 117 C° y 133.8 C° respectivamente, generando de esta manera una línea de tendencia potencial para la generación de una ecuación que se ajuste a su comportamiento.

Tabla 20: Datos obtenidos de la segunda prueba en la parte trasera del bloque del motor.

Prueba 2 - Bloque sección posterior				
Tiempo (minutos)	1000 rpm		2000 rpm	
	Temperatura			
	°C	K	°C	K
8	126	399	133,5	406,5
12	127,7	400,7	134,2	407,2
16	128,1	401,1	134,5	407,5
20	127,6	400,6	134,1	407,1



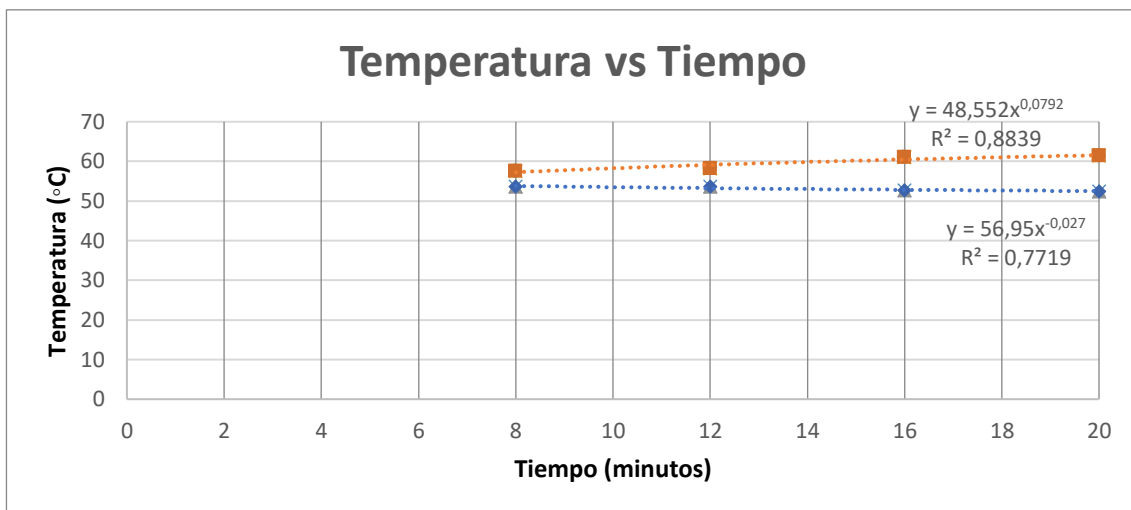


Gráfica 4: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo en la zona posterior del bloque.

Esta gráfica representa la segunda prueba realizada en la cara trasera de del bloque del motor en la cual se muestra una mayor estabilización del incremento de temperatura tanto en baja y altas revoluciones por minuto (1000 y 2000 rpm respectivamente) debido a que el termostato del sistema de refrigeración se enciende cuando el motor alcanza una temperatura de entre 75 °C y 95°C refrigerando sus partes y componentes del motor generando una estabilización y disminución de las altas temperaturas.

Tabla 21: Datos obtenidos de la primera prueba en el Cáster.

Prueba 1 - Cáster de aceite				
Tiempo (minutos)	1000 rpm		2000 rpm	
	Temperatura			
	°C	K	°C	K
8	53,6	326,6	57,6	330,6
12	53,7	326,7	58,2	331,2
16	52,7	325,7	61,1	334,1
20	52,4	325,4	61,5	334,5

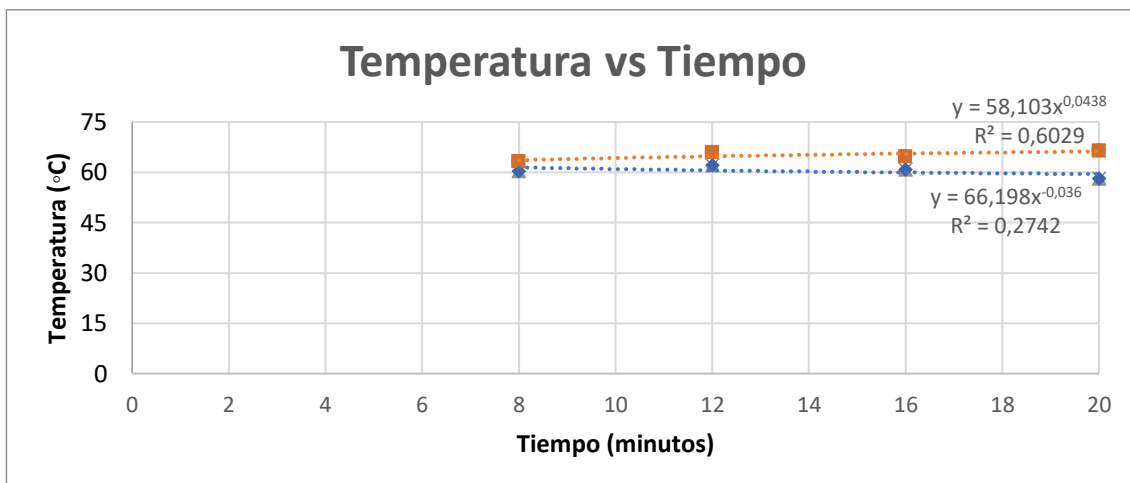


Gráfica 5: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo en el Cártter.

Esta gráfica muestra las temperaturas en función del tiempo del cárter en la cual esta almacenado el lubricante de los componentes del motor en la cual se observa una constante de temperatura debido a que actúa a su vez como refrigerante y su ciclo es rotativo, es decir, no se encuentra en contacto por mucho tiempo con las partes a elevadas temperaturas generando de esta manera una línea de tendencia potencial para la generación de una ecuación que se ajuste a su comportamiento.

Tabla 22: Datos obtenidos de temperatura en el cárter

Prueba 2 - Cártter de aceite					
Tiempo (minutos)	1000 rpm		2000 rpm		
	Temperatura				
	°C	K	°C	K	
8	60,4	333,4	63,2	336,2	
12	62,1	335,1	66	339	
16	60,8	333,8	64,7	337,7	
20	58,2	331,2	66,4	339,4	



Gráfica 6: Variación de la temperatura frente a variación del tiempo de la segunda prueba en el Cárter.

En la gráfica observamos el incremento de la temperatura en función del tiempo de la temperatura del Cárter, podemos observar la estabilización de la curva aplicando una línea de tendencia potencial.

#### 4.5. Medición de presión, temperatura y velocidad de gases de escape

Tabla 23: Datos obtenidos de gases en el tubo de escape

Presión ambiente (kPa)	Tiempo (minutos)	Temperatura escape (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Presión (kPa)	Velocidad de entrada de aire (m/s)	Velocidad salida de escape (m/s)	Marcha (rpm)
103	4	40,8	22,7	739,8	0.6	0,8	1000
103	8	44,3	23,5	739,4	0.6	1,1	1000
103	4	78,8	22,3	739,2	0.6	1,1	2000
103	8	109,8	22,3	739,1	0.6	1,1	2000
103	12	118	22,3	739,1	0.6	1,1	2000

Los datos obtenidos en la salida del tubo de escape de los gases de combustión fueron tomados a las 10:00 am a una temperatura ambiente de 23°C utilizando un Termómetro Testo 735 y Termocupla tipo K para la obtención de datos de temperatura y un Anemómetro HP-866B para la medición de velocidad del aire de entrada y salida al motor.

Tabla 24: Tabla emisión de gases [3]

Año modelo	% CO <sup>a</sup>		ppm HC <sup>a</sup>	
	0 – 1500 <sup>b</sup>	1500 – 3000 <sup>b</sup>	0 – 1500 <sup>b</sup>	1500 – 3000 <sup>b</sup>
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,4	6,5	1000	1200

<sup>a</sup> Volumen  
<sup>b</sup> Altitud = metros sobre el nivel del mar

#### 4.6. Estimación de contaminantes según estudios para un motor Hyundai Accent 2004

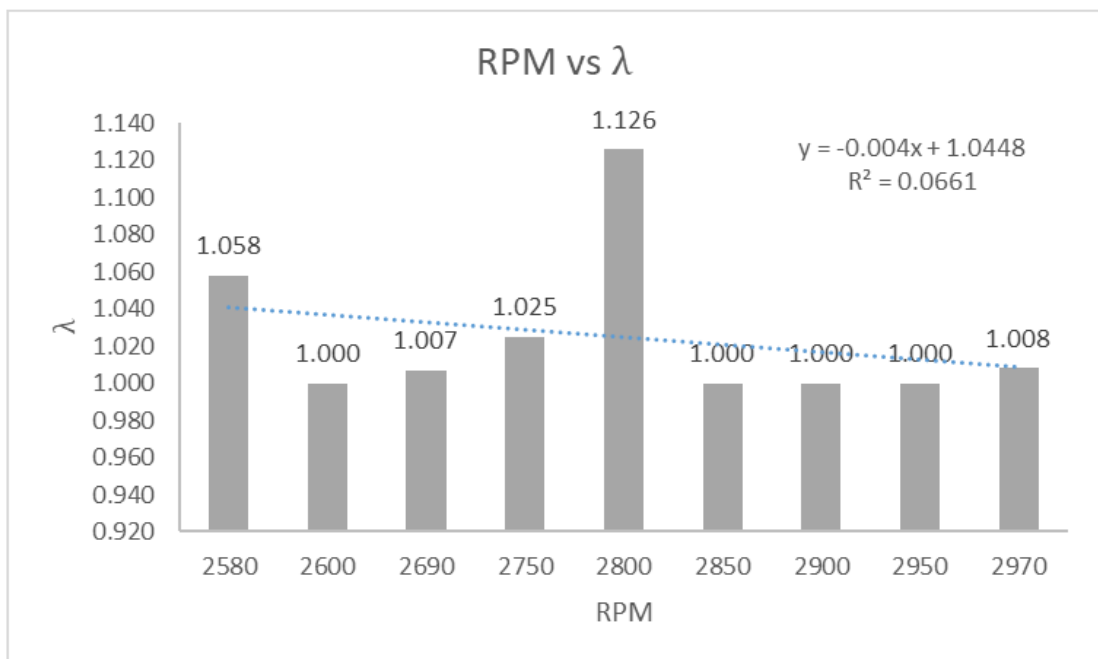


Figura 32: Emisiones de CO vs Emisiones de HC en vehículos marca Hyundai. [3]

Tabla 25: Emisiones de gases de vehículo Hyundai Accent 2004

Especificaciones del vehículo			Tipo de combustible		Resultados obtenidos					
Año	Marca	Modelo	Extra	Super	% CO	% CO <sub>2</sub>	ppm HC	% O	λ	rpm
2004	Hyundai	Accent	X		0,58	14	260	0,36	1,002	2800

Podemos observar que los valores de Monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos (HC) no superan los límites de la norma especificada en la Tabla 24 en la cual detallan los límites máximo permitidos de acuerdo al año del vehículo.

#### 4.7. Cálculo de rendimiento teórico y potencia del ciclo Otto.

Para este cálculo se tomó como datos de partida lo siguiente:

Tabla 26: Propiedades termo físicas y datos dimensionales

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Referencia
Relación de compresión	$r$	10 a 1	-	Tabla 6
Capacidad calorífica específica del aire	$C_p$	1.005	$\frac{kJ}{kg * K}$	Anexo 5
Capacidad calorífica del aire	$C_v$	0.718	$\frac{kJ}{kg * K}$	Anexo 5
Constante de gas del aire	$R$	0.2870	$\frac{kJ}{kg * K}$	Anexo 5
Temperatura ambiente	$T_1$	296.65	$K$	Tabla 23
Temperatura de escape	$T_4$	1073	$K$	Tabla 5
Poder calorífico del combustible	$P_c$	10.21	$\frac{kW * h}{kg}$	Tabla 3
Densidad del combustible	$\rho_c$	0.73508	$\frac{kg}{l}$	Tabla 2
Viscosidad cinemática	$\nu$	$1.51 * 10^{-6}$	$\frac{m^2}{s}$	Anexo 3
Viscosidad dinámica	$\mu$	$1.81 * 10^{-6}$	$\frac{N * s}{m^2}$	Anexo 3
Coefficiente de conducción del material	$k$	45	$\frac{W}{m * ^\circ K}$	Anexo 4
Espesor de pared de bloque del motor	$X$	0.006	$m$	Tabla 15
Espesor de pared de cárter de aceite	$X$	0.004	$m$	Tabla 16
Velocidad del auto	$V$	80	$\frac{km}{h}$	Anexo 7
Área bloque del motor	$A$	0.96	$m^2$	Tabla 15
Área cárter de aceite	$A$	0.06368	$m^2$	Tabla 16

Área de tubo de escape	A	0.1668	$m^2$	
Temperatura de aceite del Cárter	T	340	K	Anexo 11

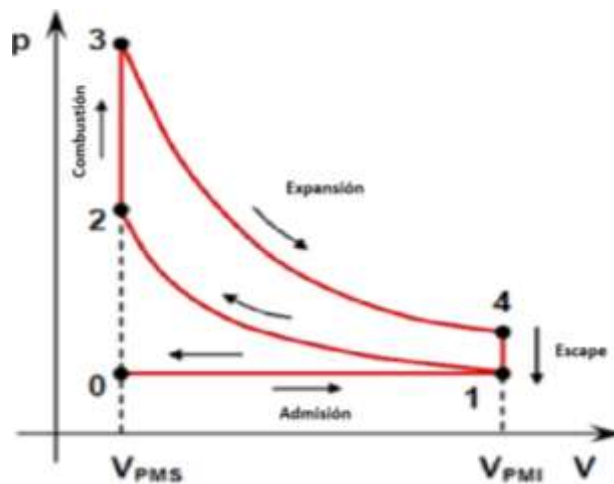


Figura 1: Ciclo Otto

#### 4.7.1. Cálculo de Relación de calores específicos

$$K = \frac{C_p}{C_v}$$

$$K = \frac{1.005 \frac{kJ}{kg \cdot K}}{0.718 \frac{kJ}{kg \cdot K}}$$

$$K = 1.3997$$

#### 4.7.2. Cálculo de calores y presiones en procesos de ciclo Otto

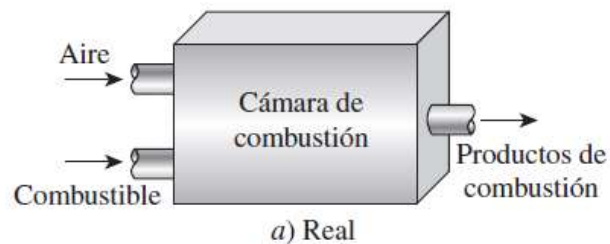


Figura 2: Proceso de combustión

## Admisión

$$P1 = 103kPa$$

$$T1 = T_o$$

$$T1 = 296.5 K$$

## Compresión

$$V1 = \frac{\text{Cilindrada}}{\text{Número de pistones}}$$

$$V1 = \frac{1600 \text{ cm}^3}{4}$$

$$V1 = 400 \text{ cm}^3$$

$$V1 = 0.0004 \text{ m}^3$$

$$r = \frac{V1}{V2}$$

$$V2 = \frac{V1}{r}$$

$$V2 = \frac{400 \text{ cm}^3}{10}$$

$$V2 = 40 \text{ cm}^3$$

$$V2 = 0.00004 \text{ m}^3$$

$$\frac{T2}{T1} = \left(\frac{V1}{V2}\right)^{k-1}$$

$$T2 = T1 \left(\frac{V1}{V2}\right)^{k-1}$$

$$T2 = 296.5 K \left( \frac{0.0004}{0.00004} \right)^{1.399-1}$$

$$T2 = 743.061 K$$

### Combustión

$$P2 = P1 \left( \frac{V1}{V2} \right)^K$$

$$P2 = 103 kPa \left( \frac{0.0004}{0.00004} \right)^{1.399}$$

$$P2 = 2581.29 kPa$$

$$W_{1-2} = \frac{R(T2 - T1)}{1 - k}$$

$$W_{1-2} = \frac{0.287 \frac{kJ}{kg} (743.061 - 296.5)K}{1 - 1.399}$$

$$W_{1-2} = -321.21 \frac{kJ}{kg}$$

#### 4.7.3. Proceso 2 a 3 con V=Cte.

Según el estudio “Thermal and Modal Analysis of Engine Exhaust Manifold for Different Materials” de International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) de Mr. Chandan H S se obtuvo una Temperatura de escape del colector de gases de 1073 K. [17]

$$\frac{T3}{T4} = \left( \frac{V1}{V2} \right)^{k-1}$$

$$T3 = T4 \left( \frac{V1}{V2} \right)^{k-1}$$

$$T3 = 1073 K \left( \frac{0.0004}{0.00004} \right)^{1.399-1}$$

$$T3 = 2689.055 K$$



#### 4.7.4. Calor en proceso de combustión (2 a 3)

$$q_{entra} = C_v * (T3 - T2)$$

$$q_{entra} = 0,718 \frac{kJ}{kg * K} * (2989.055 - 743.061)K$$

$$q_{entra} = 1612,62 \frac{kJ}{kg}$$

#### 4.7.5. Calor en proceso de escape (4 a 1)

$$q_{sale} = C_v * (T4 - T1)$$

$$q_{sale} = 0,718 \frac{kJ}{kg * ^\circ K} * (1073 - 296.5)^\circ K$$

$$q_{sale} = 557.52 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{neto} = q_{entra} - q_{sale}$$

$$W_{neto} = 1612.62 \frac{kJ}{kg} - 557,52 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{neto} = 1055.1 \frac{kJ}{kg}$$

#### 4.7.6. Rendimiento teórico con Cp y Cv constante

$$n = \frac{W_{neto}}{q_{entra}}$$

$$n = \frac{1055.1 \frac{kJ}{kg}}{1612.62 \frac{kJ}{kg}}$$

$$n = 0.65$$

$$n = 65\%$$

## 4.8. Balance energético en el motor

### 4.8.1. Cálculo de Potencia neta

$$m_1 = \frac{P_1 * V_T}{R * T_1}$$

$$m_1 = \frac{103 \text{ kPa} * 0.0016 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 296.5 \text{ K}}$$

$$m_1 = 0.00193 \text{ kg}$$

$$n = 2 * \frac{\dot{W}_{neto}}{m_t * W_{neto}}$$

$$n = 2 \left( \frac{\text{rev}}{\text{ciclo}} \right) * \frac{77 \text{ kW}}{0.00193 \text{ kg} * 1055 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{ciclo}}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$n = 4537.97 \text{ rpm}$$

Potencia (kW)	rpm
77	45377
33.93	2000

Realizando una regla de 3 procedemos al calculo de la Potencia a 2000 rpm.

$$\dot{m}_{aire} = 0.00193 \text{ kg} * 2000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{1 \text{ ciclo}}{2 \text{ rev}}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0.0321 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Potencia} = 0.0321 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1055 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Potencia} = 33.93 \text{ kW}$$

### 4.8.2. Cálculo por Convección en bloque de motor

$$q = h * A(T - T_{\infty})$$

$$h = \frac{k * Nu}{X}$$

Para este cálculo se tomó como datos de partida lo siguiente:

**Prandtl:**

$$Pr = \frac{Cp * u}{K}$$

$$Pr = \frac{1.005 \left[ \frac{kJ}{kg * ^{\circ}K} \right] * 1.81x10^{-6} \left[ \frac{N * s}{m^2} \right]}{45 \frac{W}{m * ^{\circ}K}}$$

$$Pr = 0.4042x10^{-9}$$

**Reynolds:**

$$Re = \frac{V * X}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.6 \frac{m}{s} * 0.0477m}{1.51x10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 18953.6$$

**Nusselt:**

$$Nu = 0.332Pr^{\frac{1}{3}} * Re^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 0.332(0.4042x10^{-9})^{\frac{1}{3}} * (18953.6)^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 0.03379$$

$$h = \frac{K * Nu}{X}$$

$$h = \frac{45 \frac{W}{m * ^{\circ}K} * 0.03379}{0.0477 m}$$

$$h = 31.878 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$q_{bloque} = h * A * (T - T_{\infty})$$

$$q_{bloque} = 31.878 \frac{W}{m^2 * K} * (0.96 m^2)(407.5K - 296.5^{\circ}K)$$

$$q_{bloque} = 3.396 kW$$

#### 4.9.Cálculo por Convección en cárter de aceite

Para este cálculo se tomó como datos de partida lo siguiente:

**Prandtl:**

$$Pr = \frac{Cp * u}{K}$$

$$Pr = \frac{1.005 \left[ \frac{kJ}{kg * ^{\circ}K} \right] * 1.81x10^{-6} \left[ \frac{N * S}{m^2} \right]}{45 \frac{W}{m * ^{\circ}K}}$$

$$Pr = 4.04457x10^{-8}$$

**Reynolds:**

$$Re = \frac{V * X}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.6 \frac{m}{s} * 0.004m}{1.51x10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 1589.403$$

**Nusselt:**

$$Nu = 0.332Pr^{\frac{1}{3}} * Re^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 0.332(4.04457x10^{-8})^{\frac{1}{3}} * (1589.403)^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 4.54338 \times 10^{-2}$$

$$h = \frac{K * Nu}{X}$$

$$h = \frac{45 \frac{W}{m * ^\circ K} * 4.54338 \times 10^{-2}}{0.004 m}$$

$$h = 511.12 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$q_{cárter aceite} = h * A * (T_{cárter} - T^\infty)$$

$$q_{cárter aceite} = 511.12 \frac{W}{m^2 * K} * (0.06368 m^2)(340 - 296.5)K$$

$$q_{cárter aceite} = 1.414 kW$$

#### 4.9.1. Poder calorífico del combustible

$$Pc = 36753.98 \frac{J}{gr}$$

$$Pc = 10.21 \frac{kW * h}{kg}$$

#### 4.9.2. Consumo específico efectivo de combustible (gem)

$$gem = \frac{1}{Pc}$$

$$gem = \frac{1}{10.21 \frac{kW}{kg}}$$

$$gem = 0.0979 \frac{kg}{kW * h}$$

### 4.9.3. Consumo horario del motor (Qh)

a) 4537 rpm

$$Qh = * N_{em} * g_{em}$$

$$Qh = * 77 \text{ kW} * 0.0979 \frac{\text{kg}}{\text{kW} * \text{h}}$$

$$Qh = 7.5383 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

$$Qh = 0.0020 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

b) 2000 rpm

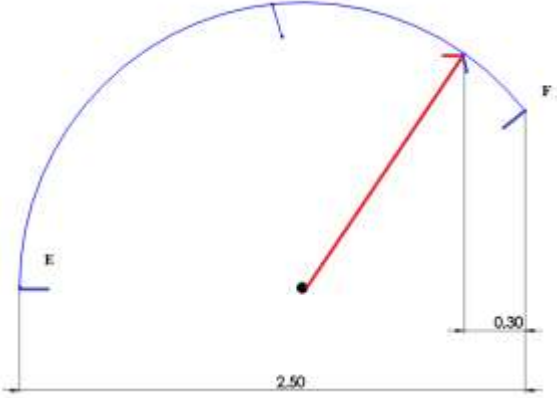
c)  $Qh = * 38.5 \text{ kW} * 0.0979 \frac{\text{kg}}{\text{kW} * \text{h}}$

d)  $Qh = 3.811 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$

e)  $Qh = 0.0010 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

### 4.9.4. Consumo por unidad de recorrido

Volumen (litros)	Valor de tacómetro (cm)	Análisis de medidor de combustible
45	2.5	

5.4	0.3	
-----	-----	--

Para este análisis se realizó la toma de datos de consumo de combustible como se encuentra en la Tabla 9 y se realizó una regla de 3 para estimar un valor aproximado al consumo real.

Con lo cual quiere decir que el automóvil en la prueba realizada presento un consumo de 5.4 litros en 38.3 Km.

$$Qv = \frac{Qh}{\rho c * V}$$

$$Qv = \frac{7.5383 \frac{kg}{hora}}{0.735 \frac{kg}{lt} * 80 \frac{km}{h}}$$

$$Qv = 0.1282 \frac{lt}{km}$$

$$Qv = 12.82 \frac{lt}{100km}$$

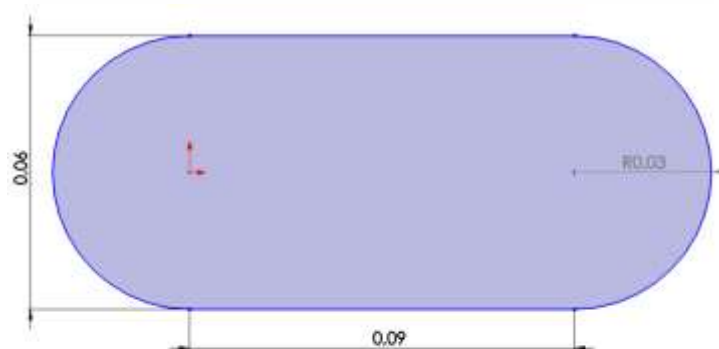
#### 4.9.5. Calor liberado por el combustible

$$Q_c = \dot{m}_c * PCL$$

$$Q_c = 0.0010 \frac{kg}{s} * 36756 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_c = 36.756 kW$$

#### 4.10. Cálculo de calor disipado por los gases



$$A = (b * h) + \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)$$

$$A = (0.09m * 0.064m) + \left(\frac{\pi * 0.06m^2}{4}\right)$$

$$A = 0.1668m^2$$

$$P * A * v = \dot{m} * R * T$$

$$\dot{m} = \frac{P * A * v}{R * T}$$

$$\dot{m} = \frac{73.51 \text{ kPa} * 0.1668m^2 * 1.1 \frac{m}{s}}{0.2870 \frac{kJ}{kg * K} * 382.8 K}$$

$$\dot{m} = 0.01242 \frac{kg}{s}$$



$$Q_g = m_g * c_p(T_{escape} - T_{ambiente})$$

$$Q_g = 0.1242 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kg * K} (391 - 296.5)K$$

$$Q_g = 11.727 kW$$

#### 4.11. Calor perdido en el sistema de refrigeración

$$Q_A = m_a * c_{pa} * (T_s - T_e)$$

$$Q_A = 0.06 \frac{kg}{s} * 4.186 \frac{kJ}{kg * K} * (350 - 318)K$$

$$Q_A = 8.037 kW$$

#### 4.12. Balance energético

$$Q_p = Q_c - Q_g - Q_A - Q_{k-c}$$

$$Q_p = 36.756 - 11.727 kW - 8.037 - (3.396 kW + 1.41kW)$$

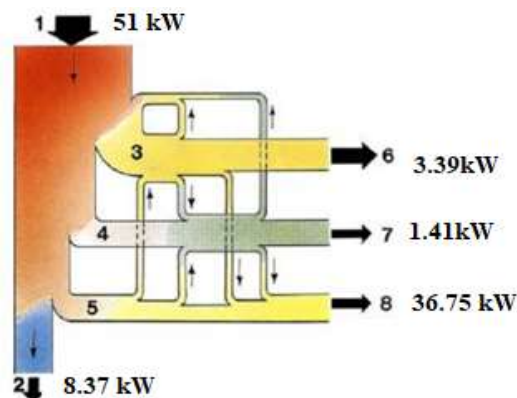
$$Q_p = 12.186 kW$$

$$n_{energético} = \frac{Q_p}{Q_c}$$

$$n_{energético} = \frac{12.186}{36.756}$$

$$n_{energético} = 0.3312$$

$$n_{energético} = 33.15\%$$



### 4.13. Cálculo de exergía

Tabla 27: Datos de entalpía y entropía a diferentes temperaturas

Procesos de ciclo Otto	Temperatura (K)	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	S ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )
1	-	296.675	1.6902
2	743.061	759.761	2.6372
3	2689.055	3121.36	4.195
4	1073	1129.82	3.048

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Referencia
	$K_2$	2	-	[19, p. 24]
Temperatura ambiente	$T_o$	296.5	K	

#### Combustible

$$\Delta s = c_p * \ln \frac{T_3}{T_2}$$

$$\Delta s = 2.22 \frac{kJ}{kg * K} * \ln \left( \frac{2689.055 K}{743.061 K} \right)$$

$$\Delta s = 2.855 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$\Delta \Psi = c_p * (T_3 - T_2) - T_o * \Delta s$$

$$\Delta \Psi = 2.22 \frac{kJ}{kg * K} * (2689.055 - 743.061) K - 296.5 K * (2.855 \frac{kJ}{kg * K})$$

$$\Delta \Psi = 3473.60 \frac{kJ}{kg}$$

#### 4.13.1. Exergía en Aire

#### Proceso de combustión (2 a 3)

$$\Delta\Psi_1 = (h3 - h2) + T_o * (S3 - S2)$$

$$\Delta\Psi_1 = (3121.36 - 759.761) + 296.5 K * (4.195 - 2.6372)$$

$$\Delta\Psi_1 = 2823.48 \frac{kJ}{kg}$$

#### 4.13.2. Proceso de Escape (4 a 1)

$$\Delta\Psi_2 = (h4 - h1) + T4 * (S4 - S1)$$

$$\Delta\Psi_2 = (1129.82 - 296.675) + 2825 K * (3.048 - 1.6902)$$

$$\Delta\Psi_2 = 4668.93 \frac{kJ}{kg}$$

#### 4.13.3. Eficiencia real utilizando aire-combustible

$$n = \frac{m_{combustible} \cdot \Delta\psi}{m_{aire} \cdot \Delta\psi_1}$$

$$n = \frac{0.01097 \frac{kg}{s} * 3473.60 \frac{kJ}{kg}}{0.0312 \frac{kg}{s} * 2823.48 \frac{kJ}{s}}$$

$$n = 0.432$$

$$n = 43.25\%$$

Podemos observar que al realizar el análisis exergético obtenemos un rendimiento térmico del 43% el cual es mayor al realizado por el Balance energético el cual involucra las pérdidas por convección, calor disipado a los gases y al refrigerante los cuales nos brindan un resultado cercano a la realidad del 33%.

## CAPÍTULO V

### 5.1 Conclusiones

- Aplicando las técnicas de termografía sin contacto, el motor de combustión interna presento una distribución de temperatura no uniforme en el que se observan puntos de discontinuidad, los cuales indican defectos de aislamiento, resultado de ello se obtuvo temperaturas máximas en la parte frontal del bloque de 124.1°C y la más baja de 106.7°C, en la parte posterior del bloque se obtuvo la temperatura máxima de 134.5°C y la más baja de 129.1 °C, en el cárter del motor se obtuvo la temperatura máxima de 66.4 °C y la más baja de 57.6 °C. Además de ello se corroboró con el software especializado con lo cual en un tiempo de 12 minutos se alcanzó una temperatura cercana a los 100°C en la parte frontal del bloque del motor.
- Mediante condiciones ideales de  $C_p$  y  $C_v$  constantes se logró cuantificar una eficiencia teórica del motor de 65%, lo cual posteriormente fue refutado con análisis energético y exergético obteniendo datos menores de eficiencia más cercanos a nuestra realidad.
- Se logró cuantificar la eficiencia real del motor de combustión interna aplicando análisis energético obteniendo un 33% el cual es un dato aproximado a la realidad ya que se toma datos de propiedades térmicas de los elementos en el proceso de combustión además de incluir las pérdidas de convección existentes en dicho proceso, demostrando ser un rendimiento menor al realizado por Análisis Exergético el cual nos dio datos de 43%
- La mayor cantidad de pérdida energética en el motor se da en el calor disipado por los gases de combustión, los cuales generan 11.72 kW, siendo mayor a las pérdidas por convección del bloque del motor y el Cárter de aceite con un valor de 4.81 kW
- Se evidencio que los niveles de emisión de gases presentes en el vehículo Hyundai Accent 2004 de acuerdo a la normativa vigente en partículas por millón de hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO) se encuentran dentro de los rangos permitidos cumpliendo con su normativa.

## 5.2 Recomendaciones

- La toma de datos debe ser realizada con la ayuda de un cronómetro con lo cual se pueden realizar lectura de datos en rangos preestablecidos
- Tomar en cuenta la temperatura ambiente y hora en la que se realizan la toma de datos ya que de esta manera no existirán variaciones considerables.
- Realizar una marca física en el punto que se toman los datos de termografía.
- Tener en cuenta la distancia recomendada por el fabricante de la cámara termográfica Flir TG-165 con lo cual tendremos un mejor enfoque y medidas más exactas.
- Es importante tomar en cuenta las altas temperaturas del bloque del motor ya que se complicó la toma de datos debido a la ubicación en su parte posterior.
- Tomar una distancia prudente en la toma de datos de velocidad del aire a la salida de gases de escape debido a sus altas temperaturas.
- No permitir que la termocupla entre en contacto con el material del tubo de escape para no generar variaciones en la toma de datos.

## Bibliografía

- [1] J. B. C.-C. J. C. R.-H. Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, «Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6L,» de *Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6L*, Quito, 2018, p. 12.
- [2] R. A. T. Barrera, ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE, Ambato, 2017.
- [3] N. P. C. Santiago, "ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES EN VEHÍCULOS A GASOLINA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI, Ambato: Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2018.
- [4] P. S. C. López, ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA EN EL CALENTADOR CERRADO CON ALIMENTACIÓN DE VAPOR DE 4 METROS CÚBICOS DE CAPACIDAD PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA CALIENTE SANITARIA DEL HOSPITAL DR. JULIO ENRIQUE PAREDES C. UNIDAD ONCOLÓGICA SOLCA TUNGURAHUA., Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [5] S. J, Analizador de gases para vehiculos de gasolina, Sevilla, 2010.
- [6] «EcuRed,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Ciclo\\_Otto](https://www.ecured.cu/Ciclo_Otto). [Último acceso: 05 Octubre 2019].
- [7] J. A. Dorantes Landa, L. E. Escobar Jiménez, J. R. Jiménez Ruiz, R. Lobato Sánchez y D. R. Peredo Ortiz, Transferencia de calor, Veracruz: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2014.
- [8] E. H. ARRIAGA, ESTUDIO TEÓRICO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR MEDIO DE UNA CORRELACIÓN EMPÍRICA EN CONVECCIÓN FORZADA EN UNA SOLA PARTE, Mexico: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 1994.
- [9] S. Alarcón, C. Martínez y L. Espitia, Número de Reynolds, Barranquilla, Colombia: Universidad del Atlántico.
- [10] B. Villega, Termodinámica II, Procesos de combustión, Bahía Blanca - Argentina, 2014.
- [11] D. y. F. Iglesias, Elaboración de plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta de Eurolit de la Empresa TUBASEC C.A, Riobamba: Tesis, 2012.
- [12] A. B. y. B. C. C. Olarte, APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, "Scientia et Technica Año XVI, vol. I, nº 48, pp. 254-256, 2011.
- [13] J. Gomez, «El nuevo octanaje de la gasolina en el Ecuador,» *El Comercio*, 2012.
- [14] A. Araujo, «Debate sobre la calidad de las gasolinas,» *El Comercio*, 2013.

- [15] M. A. G. MURILLO, ANÁLISIS TERMOQUÍMICO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MEDIANTE EL ANTIDETONANTE METIL TERBUTIL ÉTER (MTBE), Latacunga: ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO, 2005.
- [16] J.M.Veintimilla, Análisis de resultados de la medición de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el cantón Cuenca, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2015.
- [17] C. S.A. y P. K. I. , Análisis Térmico y modal de escape del motor, India: Revista Internacional de Investigación en Ingeniería y Tecnología (IJERT), 2017.
- [18] M. Y. Rafael Morales y A. Hernández Guzmán, Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible, Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte, 2014.
- [19] J. A. R. MORALES, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA VERIFICAR LA INCIDENCIA EN EL DESEMPEÑO MECÁNICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO, Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas , 2017.
- [20] P. Z. Spakovszky, Termodinámica y Propulsión, Universidad de Sevilla.
- [21] A. M. Tshikala, Reacondicionamiento del banco de pruebas para motores VAZ, Universidad de Pinar del Río, Departamento de ingeniería Mecánica.
- [22] Y.CENGEL, Termodinámica, México: McGraw-Hill, 2009.
- [23] C. Y. DINCARLOJ, MATERIALES DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA, Callao , Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, 2015.
- [24] «Km77,» [En línea]. Available: <https://www.km77.com/coches/hyundai/accent/2003/5-puertas/gls/accent-5p-16i-gls/datos>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [25] F. SYSTEM, Manual FLIR TG-165, Wilsonville, 2014.
- [26] Testo, «Testo 735 Instrumento de medición de temperatura,» 2006. [En línea]. Available: <https://static-int.testo.com/media/5c/d5/058bca53951f/testo-735-Manual-de-instrucciones.pdf>. [Último acceso: 20 Octubre 2019].
- [27] P. INSTRUMENTS, «Miltronics,» [En línea]. Available: <https://pacer-instruments-usa.com/sites/default/files/Miltronics%20SL120%20Manual%201.3.pdf>. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].
- [28] D.Aranda, Principio sobre corriente continua de ELECTRONICA CONCEPTOS BASICOS Y DISEÑO DE CIRCUITOS, Buenos Aires, 2014, pp. 43-45.

- [29] P. Hold, «Instrumento metereológicos,» [En línea]. Available: <https://instrumentosmeteorologicos.com/anemometro/holdpeak-866b-wm/>. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].
- [30] TESTO, Short manual testo 511, Testo AG.
- [31] C. y. D. Gonzales, Análisis de imagenes en termografia inrarroja. "conciencias,vol.1 n 20, p.42, 2017.



## ANEXOS

### Anexo 1: Calor específico del aire

909  
APÉNDICE I

**TABLA A-2**

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, $R$ kJ/kg · K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH <sub>4</sub>	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Monóxido de carbono	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Neón	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H <sub>2</sub> O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

*Nota:* La unidad kJ/kg · K es equivalente a kJ/kg · °C.

*Fuente:* Chemical and Process Thermodynamics 3a. ed., por Kyle, B.G., © 2000. Adaptado con permiso de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

**Anexo 2 :Propiedades de gasolina super y extra con y sin aditivos**

			Extra	Súper
8	Peso del combustible	Gr.	0.7	0.7
9	Temperatura inicial	°C	21.16	21.44
10	Temperatura final	°C	23.98	24
11	Elaboración de temperatura (9-10)	°C	2.51	2.56
12	Energía total liberada (11*7)	J	33199.77	33861.12
13	Valor calorífico de la muestra (12/8)	J / gr	47373.02	48373.02

			Extra con MTBE	Súper con MTBE
8	Peso del combustible	Gr.	0.7	0.7
9	Temperatura inicial	°C	22.05	21.80
10	Temperatura final	°C	24.53	24.35
11	Elaboración de temperatura (9-10)	°C	2.48	2.55
12	Energía total liberada (11*7)	J	2572779.26	26453.98
13	Valor calorífico de la muestra (12/8)	J / gr	36753.98	37791.40

Fuente: [13]

## Anexo 3 :Propiedades físicas de aire

 Hidráulica Gral. y Aplicada Curso 2010	Gráficos y Tablas	Pág. 1 de 9
--	-------------------	-------------

### PREFIJOS

Tabla 1

Prefijo	Símbolo	Factor	Término
tera	T	10 <sup>12</sup>	un billón
giga	G	10 <sup>9</sup>	mil millones
mega	M	10 <sup>6</sup>	un millón
kilo	k	10 <sup>3</sup>	mil
hecto	h	10 <sup>2</sup>	cientos
deca	da	10	diez
deci	d	10 <sup>-1</sup>	un décimo
centí	c	10 <sup>-2</sup>	un centésimo
milí	m	10 <sup>-3</sup>	un milésimo
micro	μ	10 <sup>-6</sup>	un millonésimo
nano	n	10 <sup>-9</sup>	un milmillonésimo
pico	p	10 <sup>-12</sup>	un billonésimo

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE

Tabla 2

a presión atmosférica

Temperatura	Densidad	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Velocidad del sonido
°C	ρ kg/m <sup>3</sup>	μ N.s/m <sup>2</sup> ·10 <sup>6</sup>	ν m <sup>2</sup> /s·10 <sup>6</sup>	c m/s
-30	1,452	1,56	1,08	312
-20	1,394	1,61	1,16	319
-10	1,342	1,67	1,24	325
0	1,292	1,72	1,33	331
10	1,247	1,78	1,42	337
20	1,204	1,81	1,51	343
30	1,164	1,86	1,60	349
40	1,127	1,91	1,69	355
50	1,092	1,95	1,79	360
60	1,060	2,00	1,89	366
70	1,030	2,05	1,99	371
80	1,000	2,09	2,09	377
90	0,973	2,13	2,19	382
100	0,946	2,17	2,30	387
200	0,746	2,57	3,45	436
300	0,616	2,93	4,75	480

### PROPIEDADES FÍSICAS

Tabla 3

APROXIMADAS DE LÍQUIDOS COMUNES, a 20°C y presión atmosférica estándar

Líquido	Densidad relativa	Módulo de elasticidad volumétrica	Presión de vapor	Tensión Superficial
	R	K GPa	Pv kPa	σ N/m
Agua	1	2,07	2,45	0,074
Aceite crudo	0,85 - 0,93	---	---	0,023-0,038
Aceite	0,85 - 0,88	---	---	0,035-0,038
Alcohol etílico	0,790	1,210	5,86	0,022
Benceno	0,880	1,030	10,00	0,029
Carbono, tetraóxido de	1,590	1,100	13,10	0,027
Mercurio	13,570	26,200	0,00	0,510
Querosén	0,810	---	---	0,023-0,032

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Tabla 4

Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad cinemática	Módulo de elasticidad volumétrica	Tensión Superficial	Presión de Vapor
°C	ρ kg/m <sup>3</sup>	μ N.s/m <sup>2</sup> ·10 <sup>3</sup>	ν m <sup>2</sup> /s·10 <sup>6</sup>	K Pa·10 <sup>7</sup>	σ Nm·10 <sup>4</sup>	Pv Pa
0	999,9	1,792	1,792	204	7,62	588
1	999,9	1,732	1,732			
2	1000,0	1,674	1,674			
3	1000,0	1,619	1,619			
4	1000,0	1,568	1,568			
5	1000,0	1,519	1,519	206	7,54	882
6	1000,0	1,473	1,473			
7	999,9	1,429	1,429			
8	999,9	1,387	1,387			
9	999,8	1,348	1,348			
10	999,7	1,310	1,310	211	7,48	1.176
11	999,6	1,274	1,274			
12	999,5	1,239	1,240			
13	999,4	1,206	1,207			
14	999,3	1,175	1,176			
15	999,1	1,145	1,146	214	7,41	1.666
16	999,0	1,116	1,117			
17	998,8	1,088	1,089			
18	998,6	1,060	1,061			
19	998,4	1,034	1,036			
20	998,2	1,009	1,011	220	7,36	2.447
21	998,0	0,984	0,986			
22	997,8	0,961	0,963			
23	997,6	0,938	0,940			
24	997,5	0,916	0,918			
25	997,1	0,895	0,898	222	7,26	
26	996,8	0,875	0,878			
27	996,5	0,855	0,858			
28	996,3	0,836	0,839			
29	996,0	0,818	0,821			
30	995,7	0,800	0,803	223	7,18	4.297
35	994,1	0,723	0,727	224	7,10	
40	992,2	0,656	0,661	227	7,01	7.400
45	990,2	0,599	0,605	229	6,92	
50	988,1	0,549	0,556	230	6,82	12.22
55	985,7	0,506	0,513	231	6,74	
60	983,2	0,469	0,477	228	6,68	19.60
65	980,6	0,469	0,478	228	6,58	
70	977,8	0,406	0,415	225	6,50	30.70
75	974,9	0,380	0,390	223	6,40	
80	971,8	0,357	0,367	221	6,30	46.40
85	968,6	0,336	0,347	217	6,20	
90	965,3	0,317	0,328	216	6,12	68.20
95	961,9	0,299	0,311	211	6,12	
100	958,4	0,284	0,296	207	5,94	97.50

#### Anexo 4 :Características físicas de hierro fundido

CARACTERÍSTICAS		
Resistencia al cizallamiento	$N/mm^2$	200-300
Resistencia Torsión	$N/mm^2$	200-300
Coefficiente Poisson		0,26
Resistencia a la compresión	$N/mm^2$	700-850
Módulo de elasticidad E	$GN/mm^2$	
** Módulo de elasticidad E	$KN/mm^2$	100-120
***Límite de elasticidad a 0,1 % convencional	$N/mm^2$	160-220
Elongación	%	0,2/0,8
Resistencia a la flexión	$N/mm^2$	330
Límite fatiga. Sin entalla ( $\varnothing 10,6$ )		
Relación de fatiga sin entalla	Limit/UTS	
Límite fatiga. Con entalla ( $\varnothing 10,6$ )	$N/mm^2$	
Conductividad Térmica	$W/(K^{\circ}.m)$	45
Capacidad Térmica 20° a 500°C	$J/Kg.K^{\circ}$	460-535
Coefficiente de dilatación Lineal 20°-400AC	$\mu.m/(mK)$	11.7-13
Densidad	$gr/cm^3$	7,2
Pérdida por histéresis (B=1T)	$J/m^3$	2500-3000

## Anexo 5: Calor específico de gas ideal de varios gases comunes

**TABLA A-2**

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, $R$ kJ/kg · K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH <sub>4</sub>	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Monóxido de carbono	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Neón	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H <sub>2</sub> O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Nota: La unidad kJ/kg · K es equivalente a kJ/kg · °C.

Fuente: *Chemical and Process Thermodynamics* 3a. ed., por Kyle, B.G., © 2000. Adaptado con permiso de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

## Anexo 6 : Tabla de propiedades físicas del aire

934

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-17

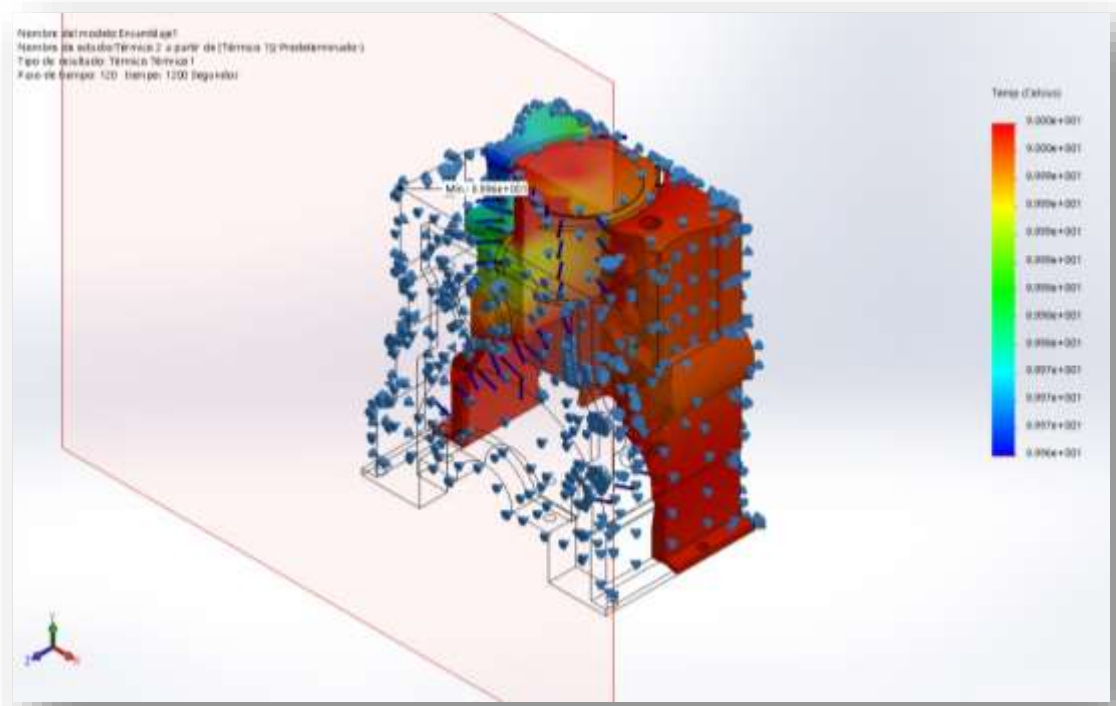
Propiedades de gas ideal del aire

$T$ K	$h$ kJ/kg	$P_r$	$u$ kJ/kg	$v_r$	$s^\circ$ kJ/kg · K	$T$ K	$h$ kJ/kg	$P_r$	$u$ kJ/kg	$v_r$	$s^\circ$ kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

**Anexo 7: Velocidad del automóvil en prueba estática.**



## Anexo 8 : Simulación de temperatura en el bloque de motor (corte de sección)



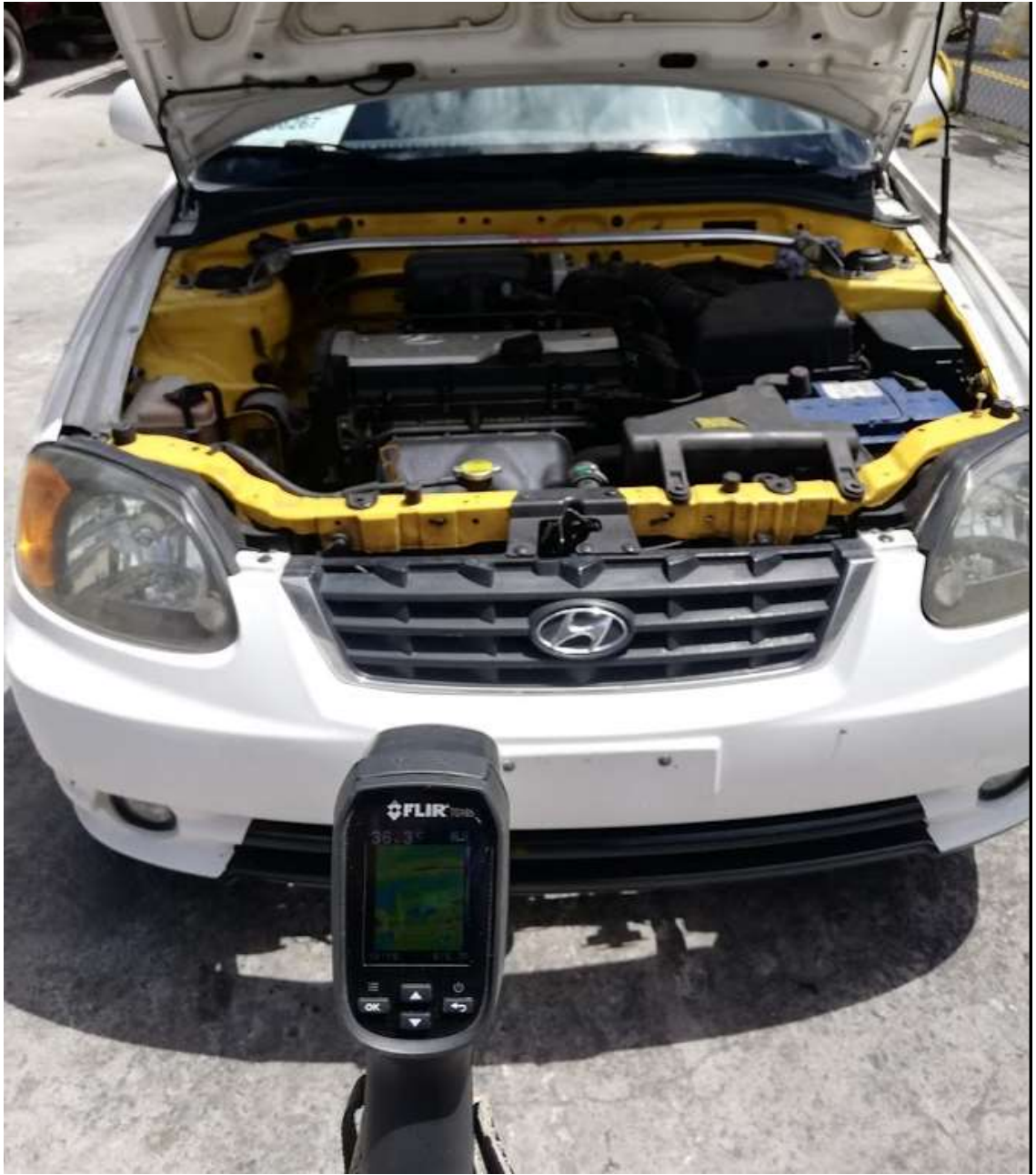
El análisis térmico realizado en un software de simulación especializado en donde se puede observar temperaturas cercanas a las tomadas con la Cámara Termográfica Flir TG-165 en la cual dieron datos de temperatura de hasta 90 °C en un tiempo de análisis de 12 minutos, es un dato cercano al que nos demuestra la simulación de 100 °C a los mismos 12 minutos como se observa en la Grafica 1de Temperatura vs Tiempo con lo cual se demuestra la confiabilidad de los datos obtenidos en las pruebas de campo realizadas.



**Anexo 9: Toma de datos con Cámara Termográfica Flir TG-165 en:**

a) Parte frontal de bloque





b) Parte trasera del bloque:



c) Cárter de aceite





## Anexo 10: Toma de datos en salida de tubo de escape

- a) Medición de presión con Testo 511 y toma da datos longitudinal.



- b) Medición de velocidad de aire al escape con Anemómetro HP-866B





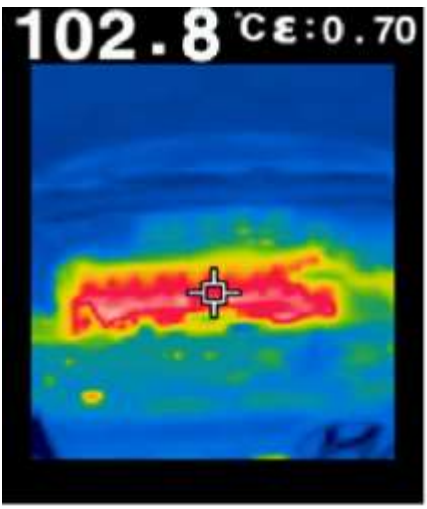

c) Medición de ruido con medidor de nivel de sonido SL-120



d) Medición de temperatura con Termómetro Testo 735 y Termocupla tipo K



Anexo 11: Termogramas

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> TERMOGRAMA KEVIN ALEXANDER MIRANDA PILATUÑA PARTE FRONTAL DE BLOQUE</p> 		
FOTOGRAFIA DEL ELEMENTO	FOTOGRAMA DEL ELEMENTO	FOTOGRAMA Y ELEMENTO
		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA  
TERMOGRAMA  
KEVIN ALEXANDER MIRANDA PILATUÑA

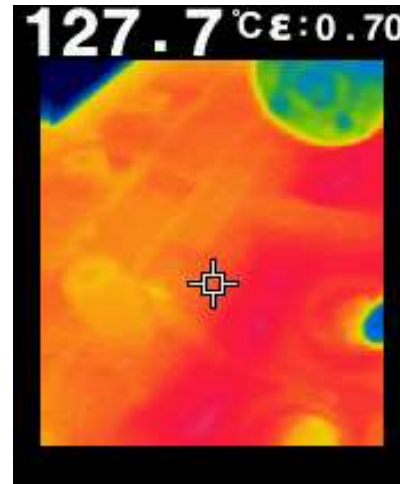


PARTE POSTERIOR DEL BLOQUE

FOTOGRAFIA DEL ELEMENTO



FOTOGRAMA DEL ELEMENTO



FOTOGRAMA Y ELEMENTO





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA



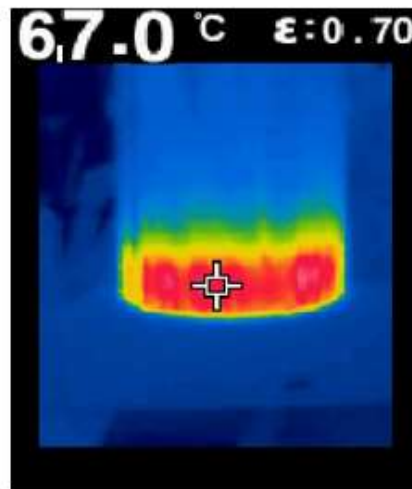
Temperatura de aceite  
KEVIN ALEXANDER MIRANDA PILATUÑA

CÁRTER DE ACEITE

FOTOGRAFIA DEL ELEMENTO



FOTOGRAMA DEL ELEMENTO



FOTOGRAMA Y ELEMENTO

