



Influencia del combustible en la eficiencia de una máquina térmica: estudio de caso de un motor de combustión mono cilíndrico

Roger Enrique Suárez Camargo, 20451911607  
Jaime Alexander Carrillo Muñoz, 20451924101

Universidad Antonio Nariño  
Programa Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Puerto Colombia, Colombia  
2023

# **Influencia del combustible en la eficiencia de una máquina térmica: estudio de caso de un motor de combustión mono cilíndrico utilizando el método multicriterio AHP.**

Roger Enrique Suárez Camargo, 20451911607  
Jaime Alexander Carrillo Muñoz, 20451924101

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director:

Prof. José Daniel Hernández Vásquez, PhD

Línea de Investigación:

Metrología & Termociencia, Grupo de Investigación GI Fourier, Semillero de Investigación  
TerMET

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

2023

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

---

Cumple con los requisitos para optar Al título de

---

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	10
<b>1. Introducción</b> .....	12
1.1. Formulación del Problema. ....	12
1.2. Objetivos.....	13
1.2.1. Objetivo General .....	13
1.2.2. Objetivo Específicos .....	13
1.3. Justificación del Proyecto .....	14
1.4. Diseño Metodológico .....	14
<b>2. Conociendo el Motor Otto de cuatro tiempos</b> .....	18
2.1. Revisión de la literatura especializada sobre el MCI.....	19
2.2. Características del motor Otto .....	20
2.3. Constitución del motor Otto.....	21
2.4. Funcionamiento del motor térmico de combustión interna .....	22
2.5. Motores Otto de cuatro tiempos.....	23
<b>3. Combustibles utilizados en motores de combustión interna.</b> .....	25
3.1. Gasolina Corriente .....	25
3.2. Gasolina Extra .....	25
3.3. Mezcla de combustibles para un MCI .....	26
<b>4. Metodología Experimental</b> .....	27
4.1. Procedimiento de calibración del sistema térmico .....	27
4.2. Procedimiento de calibración del sistema gravimétrico.....	30
<b>5. Resultados y Discusión.</b> .....	33
5.1. Cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición de temperatura con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna. ...	33
5.2. Cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición del consumo de combustible, con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna. ....	36
5.3. Determinar la curva de eficiencia térmica operacional del motor interna, así como los parámetros térmicos y mecánicos que caracterizan su operación.....	44
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	54
6.1. Conclusiones.....	54

6.2. Recomendaciones.....55

**Anexo .....56**

**Bibliografía ..... ¡Error! Marcador no definido.**

## Índice de Figuras

	Pág.
Ilustración 1 Características técnicas del motor. ....	14
Ilustración 2 Partes del Motor de Combustión Interna. ....	15
Ilustración 3 Motor Otto. ....	16
Ilustración 4 x. ....	16
Ilustración 5 x. ....	17
Ilustración 6 Esquema del % de humedad relativa. ....	20
Ilustración 7 Motor Otto de cuatro tiempos. ....	21
Ilustración 8 Mecanismo de pistón, biela y cigüeñal. ....	22
Ilustración 9 Constitución del motor Otto. ....	22
Ilustración 10 Formación de la mezcla aire-combustible. ....	23
Ilustración 11 Motor de Combustión Interna. ....	24
Ilustración 12 Sistema de admisión de aire. ....	26
Ilustración 13 Diagrama P-V asociada al un ciclo termodinámico Otto. ....	27
Ilustración 14 Diagrama ciclo real. ....	29
Ilustración 15 Ciclo práctico motor Otto cuatro tiempos. ....	30
Ilustración 16 Comparativo Combustibles Corriente Media Inicial y Ajustado. ....	34
Ilustración 17 Comparativo Combustibles Gasolina Extra Media Inicial y Ajustado. ....	35
Ilustración 18 Comparativo Mezcla de Combustibles para un MCI Inicial y Ajustado. ....	35
Ilustración 19 Ciclo de trabajo motor Otto cuatro tiempos. ....	37
Ilustración 20 Esquema alimentación del combustible. ....	38
Ilustración 21 Inyección indirecta. ....	39
Ilustración 22 Modo estratificado pobre. Inyección en compresión. ....	40
Ilustración 23 Modo Homogéneo. Inyección en la admisión. ....	40
Ilustración 24 Diagrama teórico del ciclo motor Otto. ....	41
Ilustración 25 Evoluciones teóricas del diagrama de trabajo. ....	41
Ilustración 26 Eficiencia en función del calor. ....	42
Ilustración 27 Inyección del combustible. ....	43
Ilustración 28 Modelo de calor de alta y baja temperatura. ....	44
Ilustración 29 Solicitaciones de presión y temperatura en el motor Otto. ....	45
Ilustración 30 Desarrollo de la presión de combustión. ....	46
Ilustración 31 BSFC= consumo de combustible específico del freno. ....	47
Ilustración 32 Promedio Masa Inicial y Final. ....	49
Ilustración 33 Promedio Volumen Consumido (ml). ....	49
Ilustración 34 Promedio del $Q_{in}$ . ....	50
Ilustración 35 Promedio $Q_{in} - Q_{out}$ . ....	50
Ilustración 36 Eficiencia Promedio. ....	51
Ilustración 37 Par (N.m). ....	52
Ilustración 38 Potencia (kW). ....	52
Ilustración 39 Presión (V-rpm). ....	53

## Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de los motores de combustión interna.	19
Tabla 2 Cálculo de la temperatura ajustada y el error sistemático asociado.	31
Tabla 3 Configuración de las masas patrón.	31
Tabla 4 incertidumbre según patrón	32
Tabla 5 Resultados asociados a la calibración (balanza carga ascendente)	32
Tabla 6 Siglas utilizadas en la tabla	33
Tabla 7 BSFC= brake specific fuel consumption (consumo de combustible específico del freno)	46
Tabla 8 Abreviaturas	48
Tabla 9 Resumen Cálculos del Consumo del Motor Otto	48
Tabla 10 Carga, Par y Potencia	51
Tabla 11 Cálculo de las presiones del ciclo del motor Otto	53
Tabla 12 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente (No Ajustado)	57
Tabla 13 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (No Ajustado)	58
Tabla 14 Registro calibración Motor Otto Gasolina Extra (No Ajustado)	59
Tabla 15 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (No Ajustado)	60
Tabla 16 Registro calibración Motor Otto Mezcla de combustibles para un MCI (No Ajustado)	61
Tabla 17 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (No Ajustado)	62
Tabla 18 Registro de los datos de la calibración Gasolina Corriente (Ajustado)	63
Tabla 19 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (Ajustado)	64
Tabla 20 Comparativo Combustibles Corriente Media Inicial y Ajustado	65
Tabla 21 Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra (Ajustado)	66
Tabla 22 Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra Error sistemático (Ajustado)	67
Tabla 23 Comparativo Combustibles Gasolina Extra Media Inicial y Ajustado	68
Tabla 24 Mezcla de combustibles para un MCI (Ajustado)	69
Tabla 25 Mezcla de combustibles para un MCI Error sistemático (Ajustado)	70
Tabla 26 Comparativo Mezcla de Combustibles para un MCI Inicial y Ajustado.	71
Tabla 27 Calculo del Total Volumen consumido (ml)	72
Tabla 28 Medición de las Temperaturas	73
Tabla 29 Calculo de la Eficiencia Térmica	74

*(Dedicatoria)*

*A mi familia por su apoyo incondicional.*

*Roger Enrique Suárez Camargo*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer Primero que todo a nuestro creador, por darme la sabiduría y el entendimiento. Al Ing. José Daniel Hernández Vásquez, por recibirme como tesista, por su paciencia, disposición, consejos y confianza otorgada. A mis padres, por enviarme esa motivación desde el cielo. A mi compañero de tesis, porque juntos luchamos hasta conseguir el objetivo. A mis compañeros de trabajo por estar en ahí en todo momento y creer en mí. A los miembros de mi comité de tesis, por darse el tiempo de revisar y evaluar mi progreso. A mis amigos, por siempre estar ahí, en las buenas y en las malas. A la Universidad Antonio Nariño, por permitir desarrollar mi proyecto dentro sus instalaciones en el laboratorio de la sede Puerto Colombia.

Roger Enrique Suárez Camargo

## Resumen

Dicha investigación tiene como objetivo principal en verificar la Influencia del combustible en la eficiencia de una máquina térmica, motor ubicado en la sede de Puerto Colombia de la Universidad Antonio Nariño. Donde la motivación de este proyecto nos sumerge a buscar soluciones innovadoras en materia de las fuentes energéticas utilizadas en las diferentes actividades.

Este Motor utilizados como fines académicos, es sin duda el impulso que se tiene para desarrollar este tipo de investigaciones. Sin embargo, los últimos avances tecnológicos que han llegado a nuestro país, han impulsado alternativas de aprovechamiento de los recursos, por ende la influencia del tipo de combustible en la eficiencia de una máquina térmica, mejora el funcionamiento del mismo.

Cabe resaltar, en la parte experimental del mismo nos hace posible que se realicen pruebas, en este tipo de máquinas son consideradas complejas y productoras de energía, gracias a su funcionalidad; además, se puede concluir que al aplicar el método multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process) se pudo evaluar los principales aspectos que se deben considerar al seleccionar un combustible para la operación de un motor de combustión interna.

Como resultado a esta investigación los datos finales de misma puedan contribuir al crecimiento innovador de los estudiantes de ingeniería, de la misma manera su aporte será base de publicación de artículos científicos.

*Palabras Claves: Análisis, desempeño metrológico en equipos industriales, Motor de Combustión Interna, Productividad.*

## Summary

The main objective of this research is to verify the influence of fuel on the efficiency of a thermal machine, an engine located at the Antonio Nariño University headquarters in Puerto Colombia. Where the motivation of this project plunges us to seek innovative solutions in terms of energy sources used in different activities.

This Engine, used for academic purposes, is undoubtedly the impetus for developing this type of research. However, the latest technological advances that have arrived in our country have promoted alternatives for the use of resources, therefore the influence of the type of fuel on the efficiency of a thermal machine improves its operation.

It should be noted, in the experimental part of it, it makes it possible for tests to be carried out, in this type of machines they are considered complex and energy-producing, thanks to their functionality; In addition, it can be concluded that by applying the AHP (Analytic Hierarchy Process) multicriteria method, it was possible to evaluate the main aspects that must be considered when selecting a fuel for the operation of an internal combustion engine.

As a result of this research, the final data from it can contribute to the innovative growth of engineering students, in the same way their contribution will be the basis for the publication of scientific articles.

# 1. INTRODUCCIÓN

Si bien es cierto, la importancia que ocasiono la energía a nivel mundial, impulsando avances en la sociedad, los cuales están ligados al crecimiento tecnológico que hoy en día está ocurriendo. Con los grandes descubrimientos de pozos petroleros, su extracción y conversión de sus derivados, hace que estos sean de vital importancia dentro de las actividades cotidianas.

Colombia, es un país lleno de riquezas con uno de los combustibles llamado GLP o gas Licuado de Petróleo gracias a las propiedades de este, impulsa al país a la innovación energética. Dicha generación y por la complejidad del territorio colombiano, se han implementado alternativas para poder llevar energía a los lugares más lejanos, es decir, con el uso de motogeneradores ha mejorado la calidad de vida. El origen de los motores fue considerado en su época como una maquina revolucionaria funcionalmente la cual podía producir energía de tipo mecánico.

Con el pasar del tiempo después del siglo XVIII se fueron presentando mejoras a estos equipos, provocando su adaptabilidad a cualquier aplicación que fuese. Hoy en día, a pesar del incremento en las emisiones de CO2 ellos son importantes e indispensables.

## 1.1. Formulación del Problema.

Si bien es cierto, los combustibles como el carbón, gas, gasolina entre otros crean energía química y a su vez se convierte en térmica, pero debemos tener en cuenta cuales son los límites de su eficiencia, en algunos motores de gasolina y diésel, su tendencia es a desperdiciar una cantidad de energía transformándola en calor. Sin embargo, la evolución tecnológica de esta era ha permitido investigar en el control y aprovechamiento de ese desperdicio de energía con la adaptación de esas máquinas a estado térmico y aprovechar esa cantidad de energía.

Ante esto, no estaría demasiado lejos determinar que tipo de combustible puede influenciar en el aprovechamiento eficiente de un motor de combustión monocilindrico, *“para lograr consumos sustancialmente menores que los actuales incidiendo sólo en la tecnología de los motores, no sería suficiente con su evolución sino que sería necesario dejar atrás las máquinas térmicas en favor de otro tipo de propulsores”* (Consuegra, 2019).

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia del combustible en la eficiencia de una máquina térmica a partir de un estudio de caso de un motor de combustión mono cilíndrico.

### 1.2.2. Objetivo Específicos

- Cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición de temperatura con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna.
- Cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición del consumo de combustible, con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna.
- Determinar la curva de eficiencia térmica operacional del motor interna, así como los parámetros térmicos y mecánicos que caracterizan su operación.

### 1.3. Justificación del Proyecto

Al respecto del *“rendimiento de una máquina térmica sólo depende de la temperaturas máxima y mínima entre las que trabaja por lo que, dadas estas dos temperaturas, su cálculo es trivial”* (Buendía & Arias, 2020). En los últimos años la evolución de los motores de combustión interna ha mejorado, su diagnóstico tiene más precisión, involucrando la primera ley de la termodinámica calor y trabajo.

Sin embargo, la importancia que se puede resaltar de los MCI, este permite estudiar su afectación en los parámetros del mismo, como es el caso de su presión y temperatura. Por otro lado, caracteriza de forma correcta el proceso de combustión.

### 1.4. Diseño Metodológico

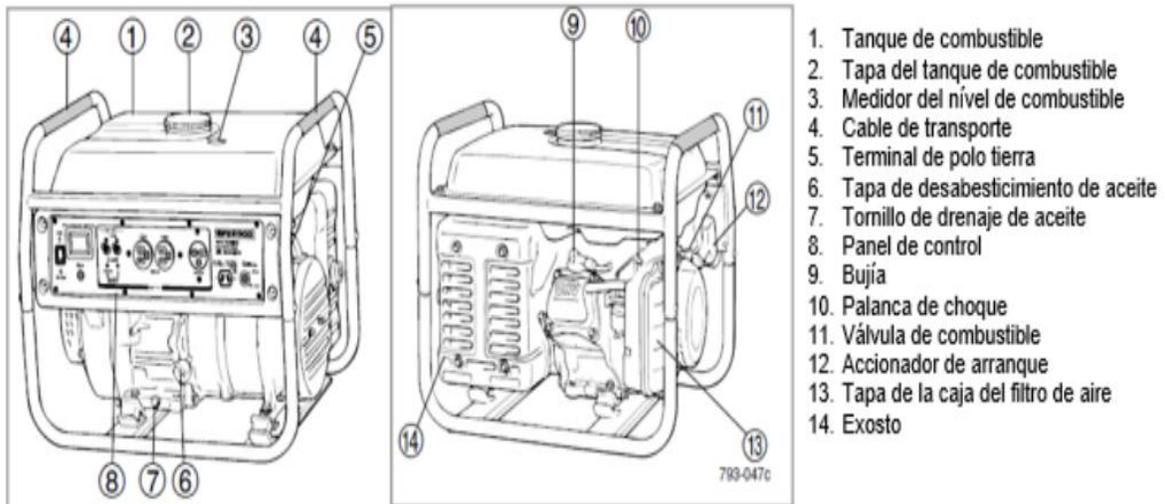
Cabe resaltar que el Motor de Combustión Interna posee las siguientes características:

Ilustración 1 Características técnicas del motor.

Motor		Generador	
<b>Marca</b>	YAMAHA	<b>Marca</b>	YAMAHA
<b>Modelo</b>	MZ175	<b>Voltaje</b>	120 VAC / 12 VDC
<b>Tipo</b>	4T OHV	<b>Potencia Max</b>	2600 W
<b>Potencia</b>	5,5 HP	<b>Pontencia Nom</b>	2300 W
<b>Combustible</b>	Gasolina	<b>Corriente Nom</b>	19,2 / 9,58 A
<b>Consumo de combustible</b>	1,20 l/h	<b>Sis. Reg. Voltaje</b>	Condensador
<b>Sistema de arranque</b>	Manual	<b>Tipo</b>	Sin escobillas

Fuente 1 (Viloria & Melo, 2022)

Ilustración 2 Partes del Motor de Combustión Interna.



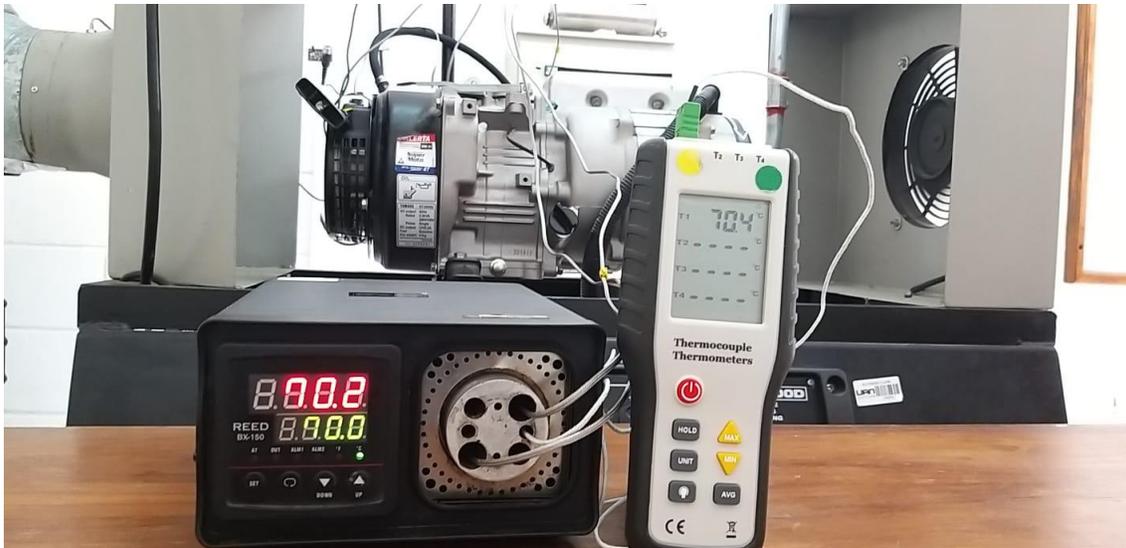
Fuente 2 (Viloria &amp; Melo, 2022)

Ilustración 3 Motor Otto



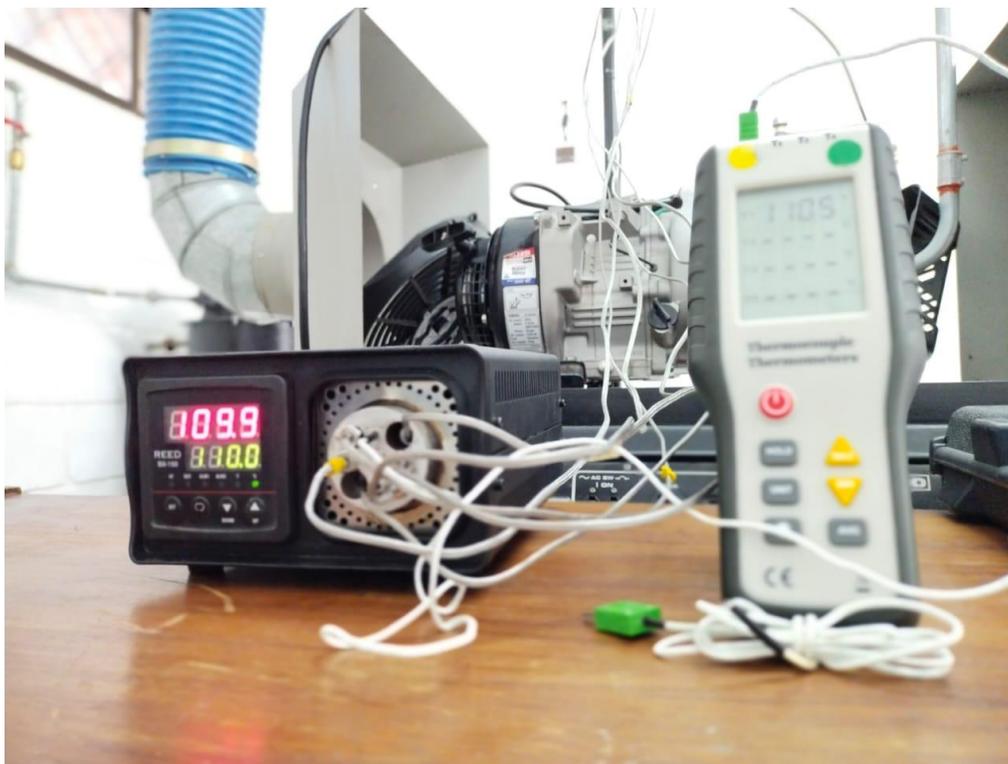
Fuente 3 Elaboración Propia

Ilustración 4 x



Fuente 4 Elaboración Propia

Ilustración 5 x



Fuente 5 Elaboración Propia

## 2. Conociendo el Motor Otto de cuatro tiempos

El motor de combustión interna en *“su mayoría consta de un ciclo de cuatro tiempos de trabajo: admisión, compresión, explosión y escape. En este proceso, las válvulas del cilindro regulan el intercambio de gases; abren y cierran los conductos de admisión y de escape del cilindro”* (Olarte, 2023). Donde la admisión en combinación de la inyección del combustible y el ingreso del aire aumenta comienza el proceso; con la compresión en el segundo tiempo se comprime el aire-combustible. En este último la chispa generada por la bujía detona la energía provocando explosión incrementando su temperatura y presión internamente. Por otro lado, en el escape con la expansión de los gases cuando la válvula se abre los libera al exterior.

Con respecto a la eficiencia que tienen los diferentes equipos con relación a su utilización en las diferentes actividades a las cuales fueron creados, debemos confiar en su tolerancia, pero uno de los problemas que sea presentado es el alto consumo de combustible, por ende la influencia que tiene el tipo de combustible dentro de un motor monocilindrico, ha presentado diferentes resultados los cuales serán analizados.

En este sentido dentro de este contexto se debe conocer las características principales del motor Otto, el cual hace posible que la combustión interna se pueda transformar en calor mecánico para actividades de trabajo fuerte. *“El primer motor de estas características se*

*construyó en 1863, consumía gas de alumbrado y tan sólo era capaz de aprovechar el 3 % de la energía de la combustión. Desde entonces este motor no ha dejado de evolucionar” (Sanz, 2007).*

**Tabla 1 Clasificación de los motores de combustión interna.**

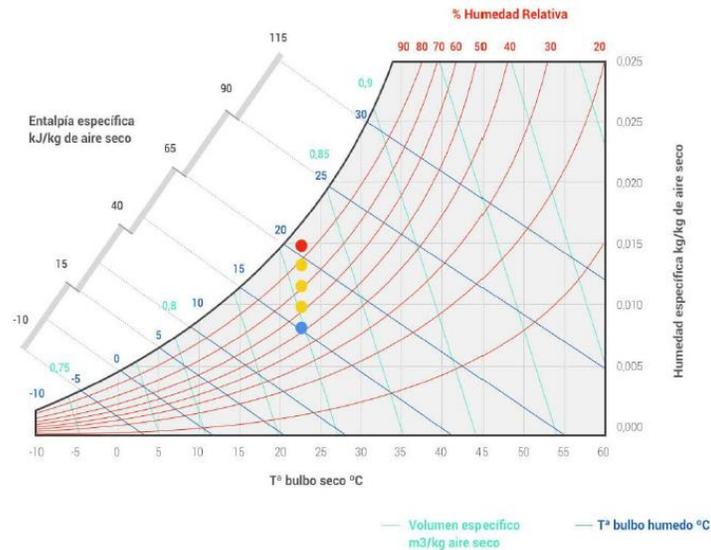
<b>Aspectos</b>	<b>Motor</b>
Combustión	Otto
	Diesel
Ciclo trabajo	4 Tiempos
	2 Tiempos
Movimiento del Pistón	Alternativo
	Rotativo

Fuente 6 (Sanz, 2007)

### 2.1.Revisión de la literatura especializada sobre el MCI

Antes de entrar en consideración, debemos revisar la investigación de la Universidad Politécnica Salesiana donde sus investigadores expresan que las *“condiciones atmosféricas juegan un papel importante en el desempeño mecánico de los motores de chispa, factores como humedad, temperatura ambiente, presión atmosférica actúan directamente en la eficiencia de este, afectando el llenado de los cilindros y su óptimo funcionamiento”* (Cornejo & Velasquez, 2020). Estas se deben tener en cuenta cuando hay que tomar decisiones en materia de buscar un mejor funcionamiento del motor.

Ilustración 6 Esquema del % de humedad relativa.



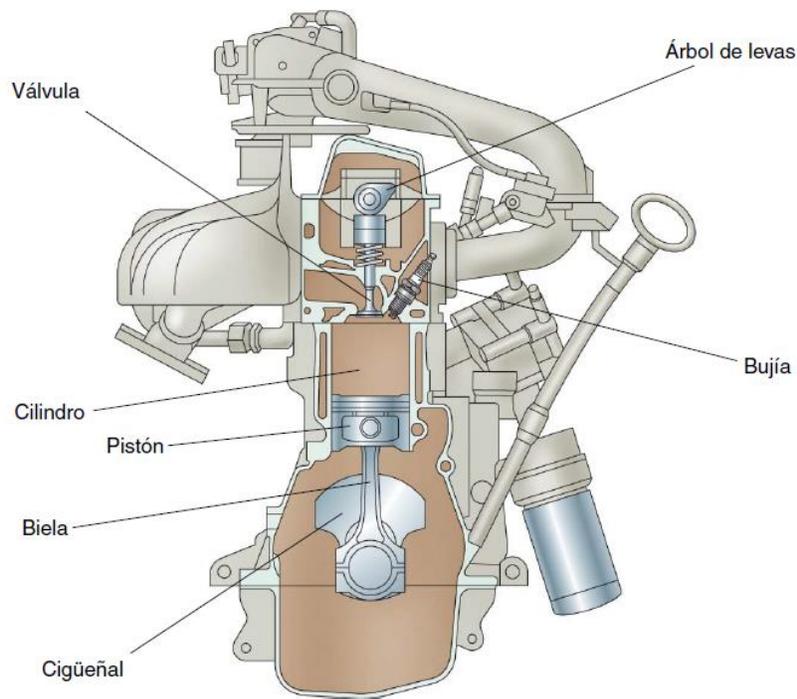
Fuente 7 (Cornejo & Velasquez, 2020).

Sin embargo, dentro de la investigación de la Universidad Técnica de Ambato su investigador manifiesta que *“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”* (Miranda, 2020).

## 2.2. Características del motor Otto

Cabe resaltar que una de las características importante del motor Otto es donde este *“dispone de un encendido eléctrico, cuya chispa inflama la mezcla comprimida en la cámara de combustión. La mezcla y posterior expulsión de gases quemados están controlados por válvulas, que abren y cierran conductos mandados por el sistema de distribución”* (Baez & Suarez, 2021).

Ilustración 7 Motor Otto de cuatro tiempos.

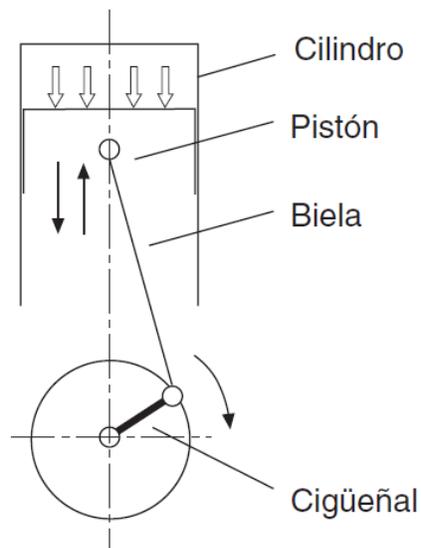


Fuente 8 (Sanz, 2007)

### 2.3. Constitución del motor Otto

Sin embargo, *“el motor Otto está formado por un pistón o émbolo de movimiento alternativo y un sistema de biela y cigüeñal, encargado de transformar el movimiento lineal del pistón en movimiento de rotación”* (Buendía & Arias, 2020).

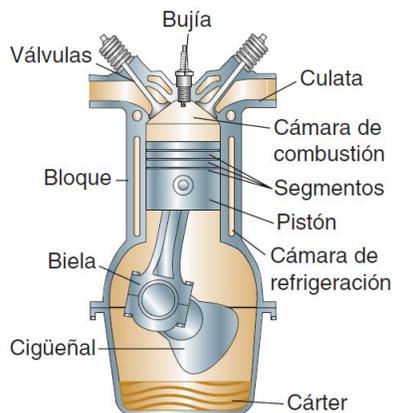
Ilustración 8 Mecanismo de pistón, biela y cigüeñal.



Fuente 9 (Sánchez, 2018)

Por otro lado, “el pistón se desplaza dentro del cilindro; la estanqueidad entre estos dos elementos está asegurada por unos anillos elásticos, que se montan en el pistón, llamados segmentos” (Escobar, 2022).

Ilustración 9 Constitución del motor Otto.

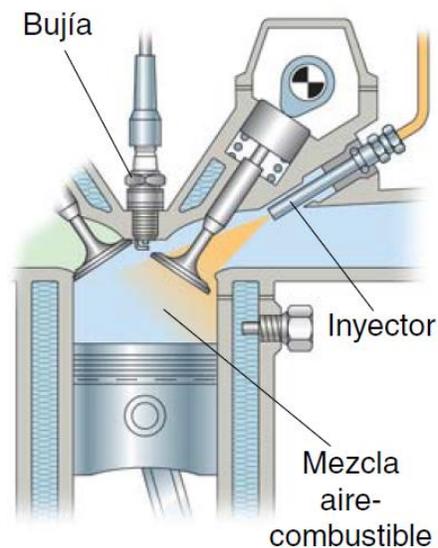


Fuente 10 (Sánchez, 2018)

## 2.4. Funcionamiento del motor térmico de combustión interna

Teniendo en cuenta lo anterior se expresa que *“la transferencia de calor entre dos elementos a diferente temperatura siempre en el mismo sentido, del más caliente al más frío, si se pretende invertir este sentido es necesario aportar un trabajo, ocurre en la fase previa a la combustión”* (Consuegra, 2019).

Ilustración 10 Formación de la mezcla aire-combustible.

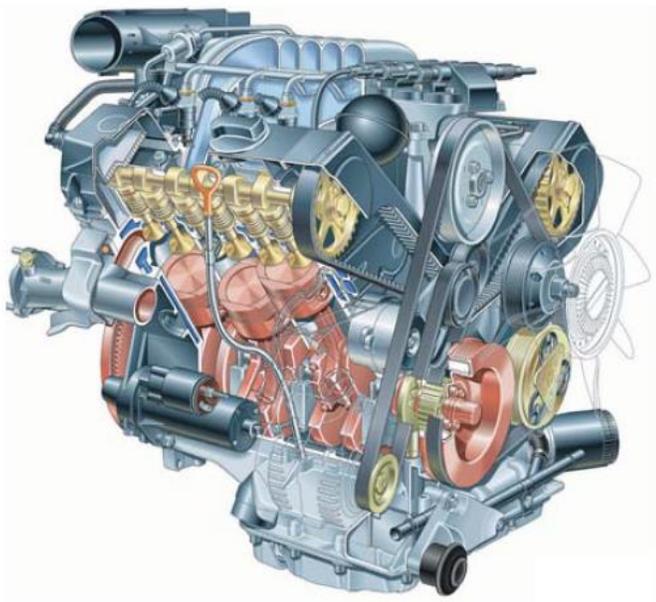


Fuente 11 (Sanz, 2007)

## 2.5. Motores Otto de cuatro tiempos

Este tipo de motor *“utiliza cuatro fases para completar el ciclo: admisión, compresión, explosión y escape. Para todo ello utiliza dos giros del cigüeñal. Es el tipo más utilizado en la actualidad, ya que ofrece un mejor rendimiento y genera menos contaminación”* (motor.es, 2020).

Ilustración 11 Motor de Combustión Interna



Fuente 12 (Sanz, 2007)

### **3. Combustibles utilizados en motores de combustión interna.**

Además, debemos tener en cuenta el “combustible que se usa generalmente es la gasolina. Este derivado del petróleo tiene una densidad de 0,71 a 0,76 kg/L a 15 °C y posee un alto poder calorífico, aproximadamente 44.000 kJ/kg (10.400 kcal por cada kg de gasolina)” (Sanz, 2007).

#### 3.1. Gasolina Corriente

De acuerdo con algunos investigadores la Gasolina Corriente *“es un producto obtenido del petróleo por destilación, se utiliza principalmente como combustible en la mayoría de motores de combustión interna de encendido por chispa, como estufas y lámparas y para limpieza con disolventes, entre otras aplicaciones”* (Obando, 2017).

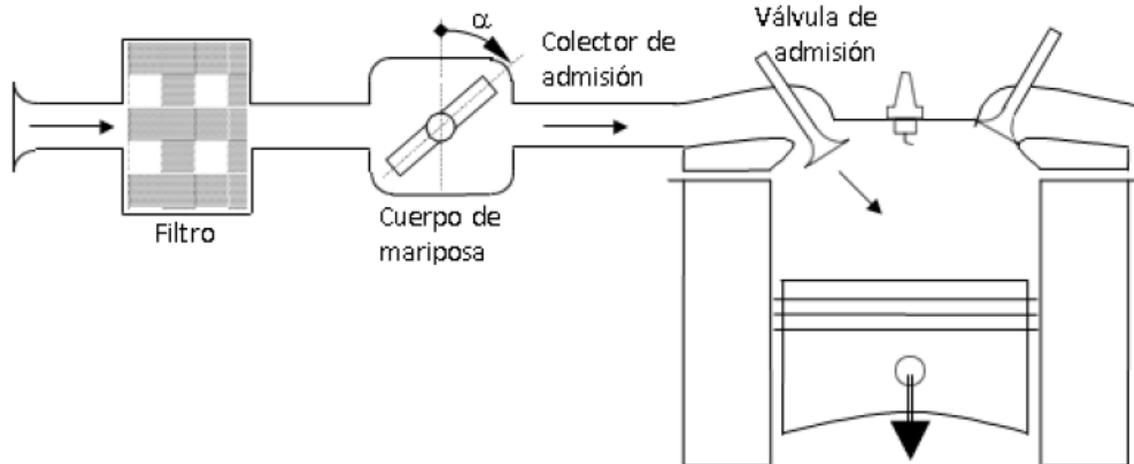
#### 3.2. Gasolina Extra

Esta *“posee un mayor grado de octanaje. Este término hace referencia a la cantidad de octanos presentes en la gasolina. Cada octano cuenta con ocho (de ahí el nombre) átomos de carbono. Mientras más octanos, mayor será la calidad del combustible”* (González & Rodríguez, 2010).

### 3.3. Mezcla de combustibles para un MCI

Cabe resaltar que la manera de introducir combustible a este tipo de motores, dicho sistema ha compenetrado paralelamente desde que se descubrió. Sin embargo, “los sistemas de inyección tienen ventajas claras frente al carburador, y con la llegada de la electrónica, que ha permitido un control eficiente en todas las variable de funcionamiento del motor, su rendimiento ha sido mucho mejor” (Cornejo & Velasquez, 2020).

Ilustración 12 Sistema de admisión de aire.



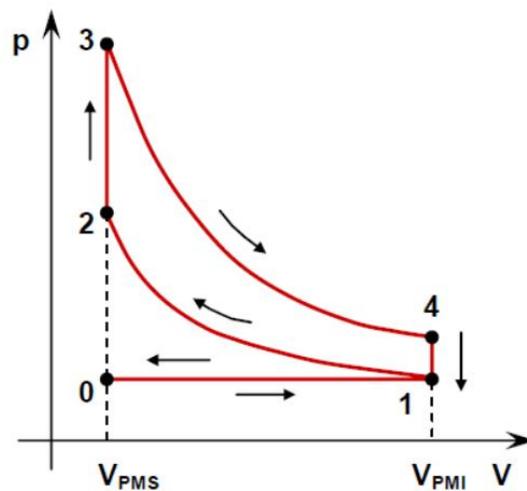
Fuente 13 (Cornejo & Velasquez, 2020)

## 4. Metodología Experimental

### 4.1. Procedimiento de calibración del sistema térmico

Ciertamente dentro del procedimiento como tal se “cuenta básicamente con cuatro procesos o, también llamado, cuatro tiempos: admisión, compresión, expansión y escape” (Viloria & Melo, 2022).

Ilustración 13 Diagrama P-V asociada al un ciclo termodinámico Otto.



Fuente 14 (Viloria & Melo, 2022)

A medida que este proceso avanza el intercambio de mezclas expulsa quema de gases, mostrando un rendimiento del motor, sabemos que “como el de cualquier otra máquina térmica, viene dado

por la relación entre el trabajo total realizado durante el ciclo y el calor suministrado al fluido de trabajo” (montes.upm.es, 2018). Bajo la ecuación ideal para su rendimiento.

$$n = \frac{W_T}{Q_{abs}} = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{abs}}$$

Supongamos que al absorber el calor se realiza en la etapa 23 y en la 41 su cesión.

$$n = 1 - \frac{|Q_{41}|}{Q_{23}}$$

Por otro lado, la combinación de aire y gasolina, digamos que sería una mezcla ideal:

$$Q_{23} = nC_v(T_3 - T_2)$$

$$Q_{41} = nC_v(T_1 - T_4)$$

Ambas son isócoras reemplazando tenemos:

$$n = 1 - \frac{nC_v(T_4 - T_1)}{nC_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Por otro lado, las transformaciones 12 y 34 son adiabáticas,

$$T_1V_1^{Y-1} = T_2V_2^{Y-1}$$

$$T_4V_1^{Y-1} = T_3V_2^{Y-1}$$

Donde,  $V_2 = V_3$  y  $V_4 = V_1$  resaltando,

$$(T_4 - T_1)V_1^{Y-1} = (T_3 - T_2)V_2^{Y-1}$$

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{Y-1}$$

Donde, la relación entre volúmenes  $\frac{V_2}{V_1}$  se denomina relación de compresión ( $r$ ), reemplazamos,

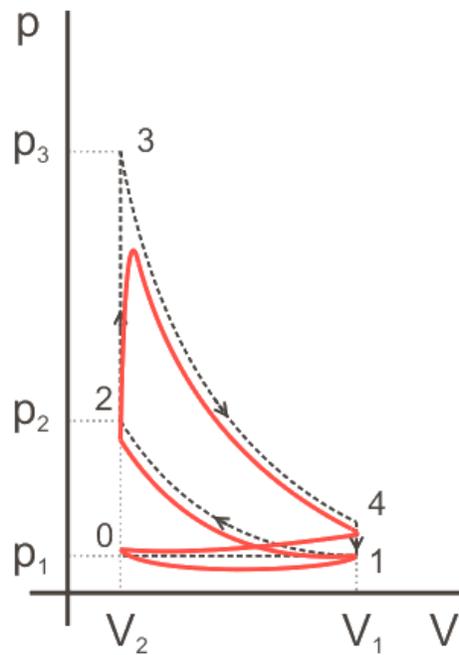
$$n = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{Y-1}$$

El rendimiento expresado es:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

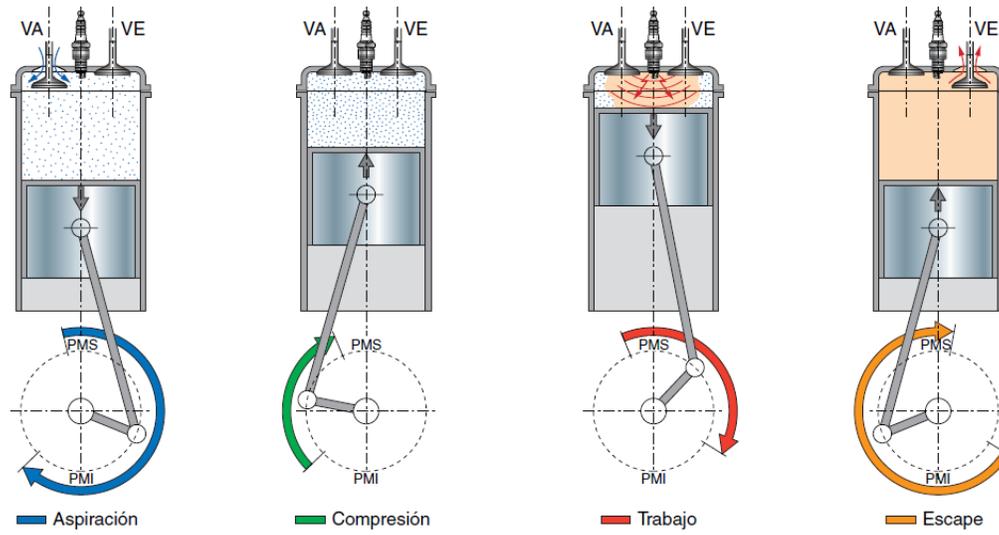
Se debe tener en cuenta que “cuanto mayor sea la relación de compresión, mayor será el rendimiento del ciclo de Otto” (montes.upm.es, 2018).

Ilustración 14 Diagrama ciclo real



Fuente 15 (montes.upm.es, 2018).

Ilustración 15 Ciclo práctico motor Otto cuatro tiempos.



Fuente 16 (Sanz, 2007)

#### 4.2. Procedimiento de calibración del sistema gravimétrico

Con el fin de poder evaluar la confiabilidad metrológica del sistema gravimétrico a un MCI, se debe apoyar en el control de la información bajo herramientas informáticas de apoyo, como es Microsoft Excel, aquí se evalúa dicha Confiabilidad, además de la balanza digital fundamental dentro del proceso. Basados en el principio de Arquímedes el impacto es directo en su medición, su importancia se destaca el registro de información de las cargas ascendentes y descendentes.

Tabla 2 Cálculo de la masa ajustada y el error sistemático asociado.

CARGA ASCENDENTE													
Puntos	Masa patrón	Indicación de la balanza (kg)										Temperatura ambiente	Presión atmosférica
	kg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	mbar/abs
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	30,0	1019,8
2	1	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	30,1	1019,8
3	2	1,998	1,998	1,998	1,998	1,999	1,998	1,999	1,998	1,998	1,998	30,1	1019,8
4	3	2,980	2,980	2,980	2,980	2,980	2,980	2,980	2,980	2,980	2,980	30,1	1019,8
5	4	3,983	3,983	3,984	3,983	3,984	3,983	3,983	3,984	3,983	3,983	30,1	1019,8
6	5	4,993	4,993	4,993	4,995	4,993	4,993	4,993	4,993	4,993	4,993	30,1	1019,8
7	6	5,985	5,985	5,985	5,985	5,985	5,985	5,985	5,985	5,985	5,985	30,1	1019,8
8	7	6,989	6,989	6,989	6,989	6,989	6,989	6,989	6,989	6,989	6,989	30,1	1019,8
9	8	7,998	7,998	7,998	7,998	7,998	7,998	7,998	7,998	7,998	7,998	30,1	1019,8
10	9	8,989	8,989	8,989	8,989	8,990	8,990	8,990	8,989	8,989	8,989	30,0	1019,8
11	10	9,986	9,986	9,986	9,986	9,986	9,986	9,986	9,986	9,986	9,986	30,0	1019,8
12	20	19,972	19,970	19,970	19,970	19,970	19,970	19,970	19,972	19,972	19,972	30,0	1019,8
13	22	21,978	21,978	21,978	21,978	21,978	21,978	21,978	21,978	21,978	21,978	30,0	1019,8
14	25	24,963	24,963	24,963	24,963	24,963	24,963	24,963	24,963	24,967	24,963	30,0	1019,8
15	30	29,947	29,947	29,947	29,947	29,947	29,947	29,947	29,947	29,947	29,947	30,0	1019,8

Para ello se debe realizar la identificación de todas las combinaciones posibles en función del valor que posee la masa al ser usada. Para esto utilizamos la siguiente tabla.

Tabla 3 Configuración de las masas patrón.

No	Valor patrón kg	Identificación Patrón
1	1	1 kg (F1)
2	2	2 kg (F1)
3	3	1 kg (F1); 2 kg (F1)
4	4	2 kg (F1); 2 kg (F1)
5	5	5 kg (F1)
6	6	1 kg (F1); 5 kg (F1)
7	7	2 kg (F1); 5 kg (F1)
8	8	1 kg (F1); 2 kg (F1); 5 kg (F1)
9	9	2 kg (F1); 2 kg (F1); 5 kg (F1)
10	10	1 kg (F1); 2 kg (F1); 2 kg (F1); 5 kg (F1)
11	20	Masa patrón 20 kg (M1)
12	21	1 kg (F1); Masa patrón 20 kg (M1)
13	22	2 kg (F1); Masa patrón 20 kg (M1)
14	23	1 kg (F1); 2 kg (F1); Masa patrón 20 kg (M1)
15	24	2 kg (F1); 2 kg (F1); Masa patrón 20 kg (M1)
16	25	5 kg (F1); Masa patrón 20 kg (M1)
17	30	1 kg (F1); 2 kg (F1); 2 kg (F1); 5 kg (F1); Masa patrón 20 kg (M1)

Por lo consiguiente se tomas los valores asociados a la incertidumbre de medición los cuales deben ser considerados.

Tabla 4 incertidumbre según patrón

No	Valor nominal kg	Identificación patrón	Error kg	Incertidumbre (U) kg	Factor k	Incertidumbre (u) kg
6	1,0	1 kg (F1)	0,00000059	0,0000017	2	0,00000085
7	2,0	2 kg (F1)	0,00000306	0,0000033	2	0,0000017
8	2,0	2 kg (F1)	0,00000306	0,0000033	2	0,0000017
9	5,0	5 kg (F1)	0,00000330	0,0000083	2	0,0000042
10	20	Masa patrón 20 kg (M1)	0,000064	0,000033	2	0,000017

Sin embargo, todos estos cálculos serian asociados a la calibración de la balanza, se pueden presentar en la siguiente tabla.

Tabla 5 Resultados asociados a la calibración (balanza carga ascendente)

Puntos	RESULTADO FINAL							
	Masa Indicada	Masa ajustada	Incertidumbre de ajuste	Incertidumbre del patrón	Incertidumbre del instrumento	Desviación Standard (s)	Incertidumbre ajustada (u)	Incertidumbre Expandida (U)
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	0,000	-0,002	0,0736	0,00000	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
2	0,997	1,001	0,0736	0,00000085	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
3	1,998	2,007	0,0736	0,0000017	0,00092	0,00042	0,0736	0,15
4	2,980	2,994	0,0736	0,0000019	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
5	3,983	4,003	0,0736	0,0000023	0,00092	0,00048	0,0736	0,15
6	4,993	5,018	0,0736	0,0000042	0,00092	0,00063	0,0736	0,15
7	5,985	6,015	0,0736	0,0000042	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
8	6,989	7,025	0,0736	0,0000045	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
9	7,998	8,039	0,0736	0,0000045	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
10	8,989	9,035	0,0736	0,0000048	0,00092	0,00048	0,0736	0,15
11	9,986	10,037	0,0736	0,0000048	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
12	19,971	20,075	0,0736	0,000017	0,00092	0,00103	0,0736	0,15
13	21,978	22,093	0,0736	0,000017	0,00092	0,00000	0,0736	0,15
14	24,963	25,094	0,0736	0,000017	0,00092	0,00126	0,0736	0,15
15	29,947	30,104	0,0736	0,000017	0,00092	0,00000	0,0736	0,15

## 5. Resultados y Discusión.

5.1. Cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición de temperatura con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna.

Con el apoyo de herramientas como Microsoft Excel se logró desarrollar cálculos con la información que se tomó de las mediciones del Motor Otto, para evaluar la confiabilidad del sistema de medición de temperatura del mismo, gracias a esta herramienta fue posible comprobar la efectividad del combustible, de forma experimental se logró realizar el análisis de la información de la calibración de los sensores de temperatura; con ello se obtuvo la información confiable de sus parámetros como tal. Para ello se realizaron las tablas del Registro calibración Motor Otto utilizando los combustibles gasolina, extra y una Mezcla de combustibles para un MCI, en ella se registran los parámetros de Temperatura Indicada por Sensor, Patrón de Medición y Error sistemático. Como primera medida sería el No Ajustado y luego se realizara el ajustado.

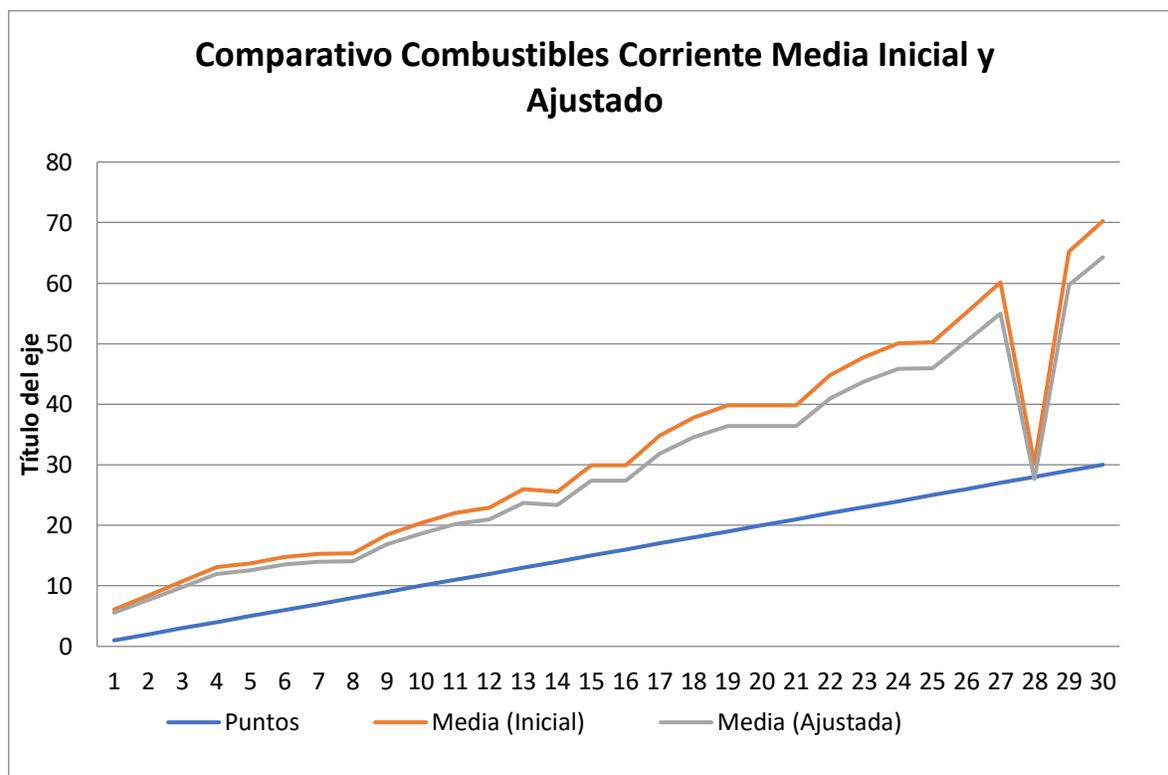
Tabla 6 Siglas utilizadas en la tabla

<b>Sigla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sigla</b>	<b>Descripción</b>
S1	Secuencia 1	E1	Error 1
S2	Secuencia 2	E2	Error 2
S3	Secuencia 3	E3	Error 3
S4	Secuencia 4	E4	Error 4
S5	Secuencia 5	E5	Error 5
S6	Secuencia 6	E6	Error 6
T1	Temperatura 1	M1	Medida 1
T2	Temperatura 2	M2	Medida 2
T3	Temperatura 3	T5	Temperatura 5
T4	Temperatura 4	T6	Temperatura 6

Fuente 17 Elaboración Propia

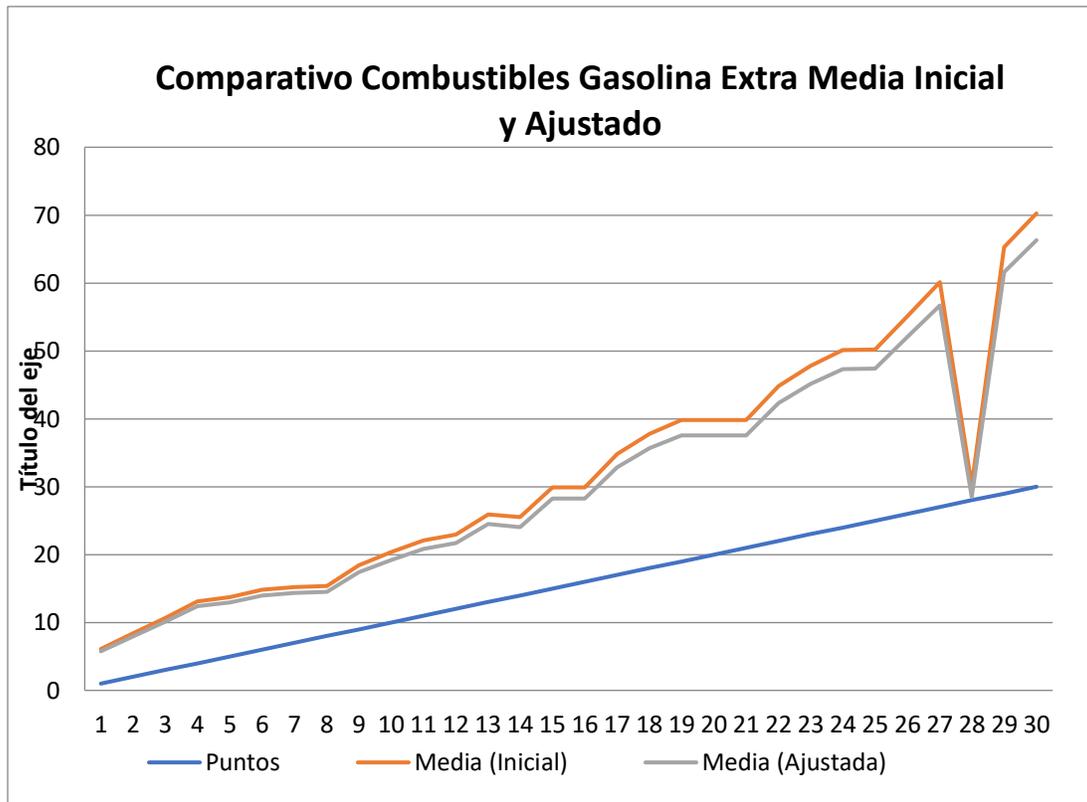
Con el fin de desarrollar la investigación se propone desarrollar una gráfica comparativa del combustible corriente de la media inicial comparado con la ajustada.

Ilustración 16 Comparativo Combustibles Corriente Media Inicial y Ajustado



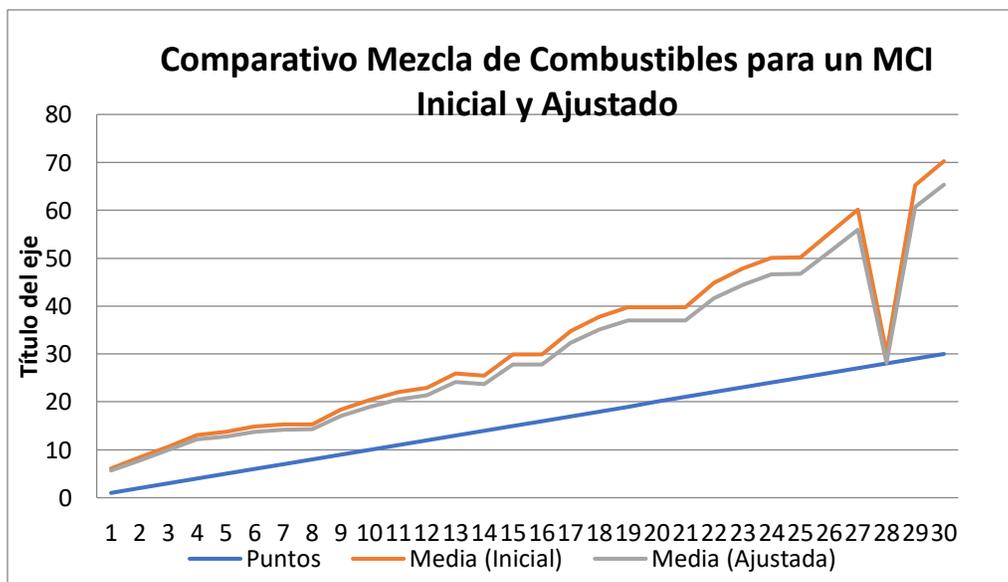
Fuente 18 Elaboración Propia

Ilustración 17 Comparativo Combustibles Gasolina Extra Media Inicial y Ajustado



Fuente 19 Elaboración Propia

Ilustración 18 Comparativo Mezcla de Combustibles para un MCI Inicial y Ajustado



Fuente 20 Elaboración Propia

5.2. Cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición del consumo de combustible, con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna.

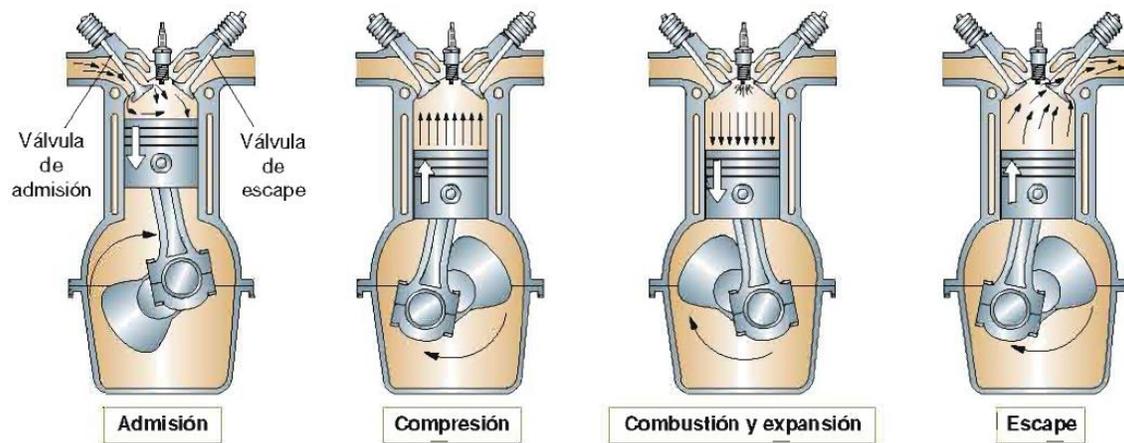
Por su parte la confiabilidad da la posibilidad a los componentes, equipos o máquinas, realizar con unas condiciones óptimas su actividad, teniendo en cuenta esto, para *“el motor de combustión interna requiere una cantidad de combustible el cual es consumido en relación con la energía que este necesita, convirtiéndola en movimiento del vehículo dependiendo de factores como: velocidad, eficiencia del motor, transmisión, aerodinámica del vehículo”* (Escobar, 2022). Hoy en día el consumo de combustible es uno de los factores de suma importancia, por ende el análisis que se han realizado por diferentes investigadores hace que este tome fuerza con el fin de que los procesos se desarrollen con total normalidad.

De igual manera se debe tener un control en *“la medición del consumo de combustible esta tiene por objetivo evaluar el rendimiento de los vehículos con el fin de informar al consumidor cual costo de operación e impacto ambiental tiene cada vehículo y de definir normas de consumo”* (Nunige, 2018). Sin embargo, dentro del desarrollo progresivo productivo los MCI o motores de combustión interna hacen que el ser humano tenga también un confort, aparte de otras funciones que este pueda desarrollar con el impulsar o ser parte de la actualización de un componente principal.

Para tal efecto, *“todos estos factores relacionados con la explotación, mantenimiento y reparación pueden ser medidos y evaluados en correspondencia con los valores dados por el fabricante, determinando las pérdidas de potencia y el exceso de combustible utilizado en los diferentes procesos”* (González & Rodríguez, 2010). En temas del diseño y construcción se debe tener en cuenta la distribución, cámara de combustión entre otros; los cuales impactan en dicho consumo.

Si bien es cierto, en algunas investigaciones “se identifican metodologías encaminadas a la medición del consumo energético y emisiones de los vehículos y se evalúa la conducción eficiente como estrategia de eficiencia energética en Colombia” (Castillo & Restrepo, 2019). En ellas debemos conocer que el combustible para sacarle el mayor provecho no debe contener ni agua e impurezas, con el fin de poder proteger el sistema de inyección.

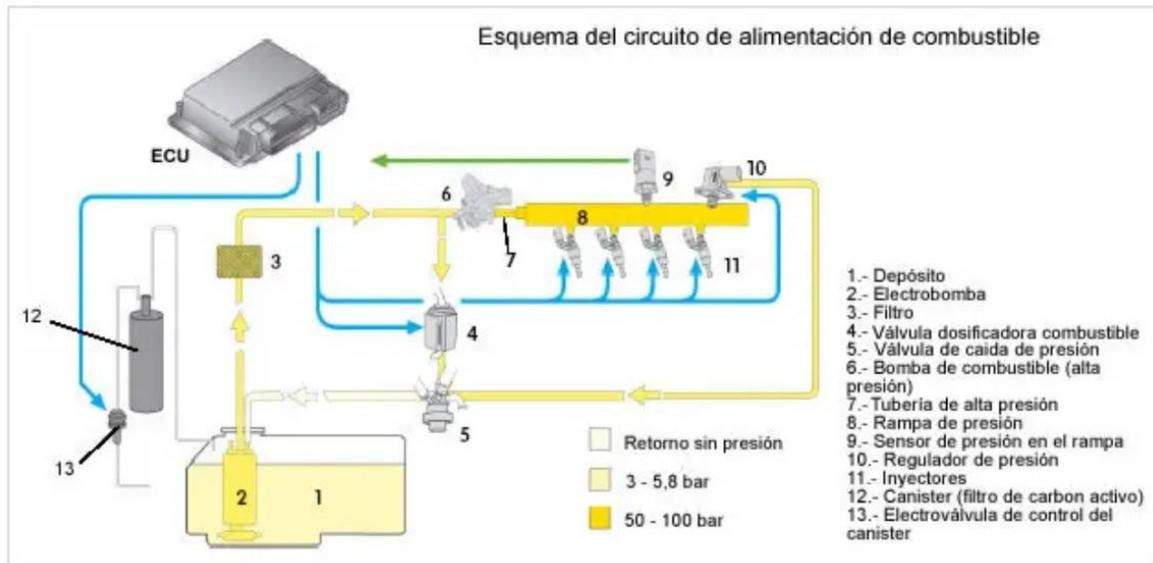
**Ilustración 19** Ciclo de trabajo motor Otto cuatro tiempos.



**Fuente 21** (Sanz, 2007)

Por otro lado, cuando nos enfocamos en la medición del consumo de combustible debemos evaluar su rendimiento, “existen investigaciones que muestran diversos análisis a las señales de los sensores con el fin de relacionarlas a alguna falla o mal funcionamiento en los motores” (Morocho & Nagua, 2019). De esta forma se puede dar un buen análisis e informar al consumidor del costo e impacto que provoca al medio ambiente.

Ilustración 20 Esquema alimentación del combustible.



Fuente 22 (Morocho & Nagua, 2019)

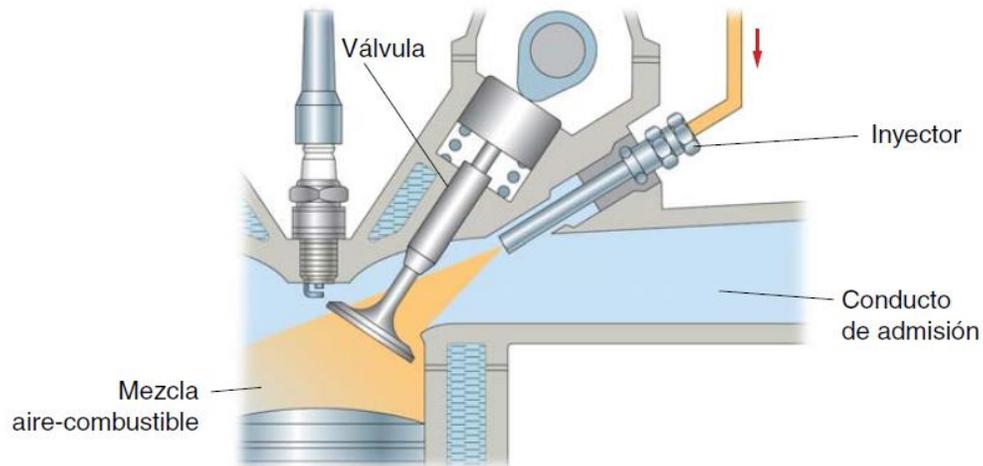
Mientras que *“existe una necesidad cada vez mayor de mejorar la eficiencia del combustible mediante la reducción del peso de las piezas. Los cambios tecnológicos han mejorado el rendimiento y la confiabilidad de los motores controlados electrónicamente”* (Escobar, 2022). Hoy con el esfuerzo que colocan las industrias con el fin de lograr una máxima eficiencia en sus procesos, la confiabilidad da un ambiente seguro y confiable, mejorando la gestión en la corrección de las fallas; garantizando que mejore la productividad con las tácticas estratégicas que van apareciendo.

#### Caracterización de combustibles

Si bien es cierto, *“el motor Diesel consume generalmente gasóleo: un carburante que se obtiene por destilación del petróleo, tiene una densidad de 0,81 a 0,85 kg/L a 15 °C y un poder calorífico de unos 42.000 kJ/kg (10.000 kcal/kg)”* (Sanz, 2007). Gracias a esta información podemos

evaluar el comportamiento del motor, pero al trabajar con una carga estratificada y mezcla pobre, se puede disminuir el consumo y los gases, esto llamado inyección directa.

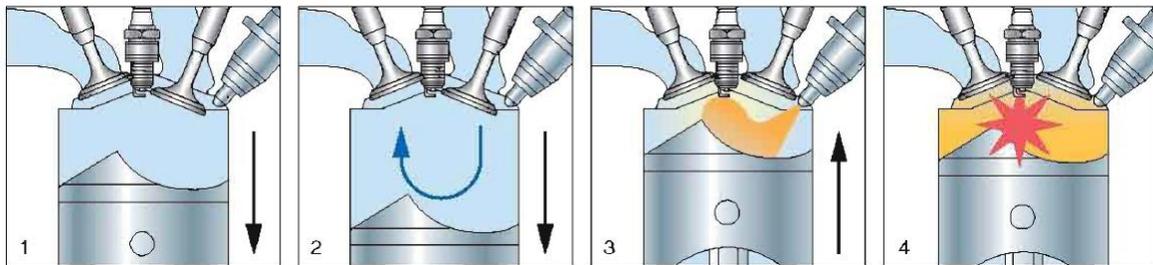
**Ilustración 21 Inyección indirecta.**



**Fuente 23 (Sanz, 2007)**

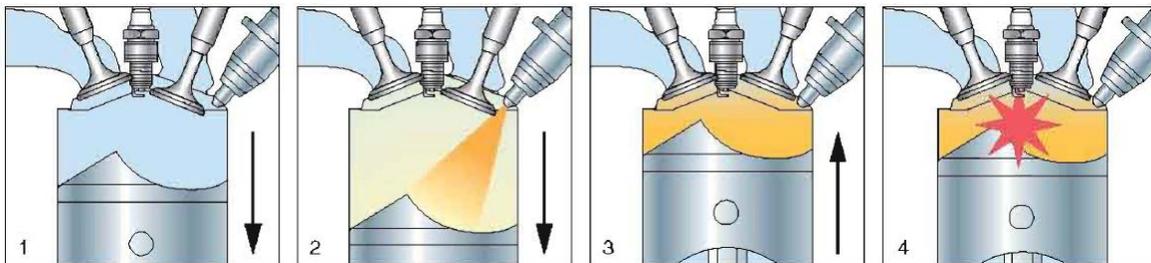
Sin embargo, con esta forma se pueden diferenciar dos modos de funcionamiento, el estratificado produciendo su inyección en la carrera de compresión y el homogéneo en la carrera de admisión.

**Ilustración 22 Modo estratificado pobre. Inyección en compresión.**



**Fuente 24 (Sanz, 2007)**

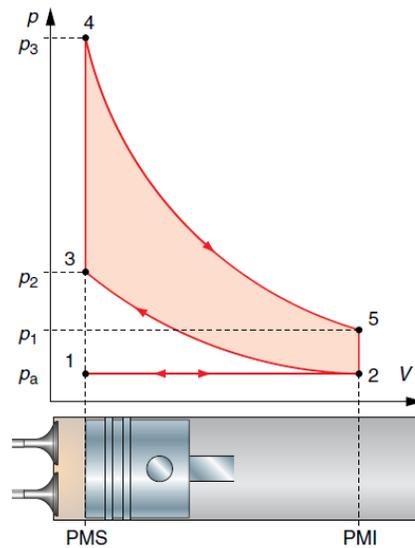
**Ilustración 23 Modo Homogéneo. Inyección en la admisión.**



**Fuente 25 (Sanz, 2007)**

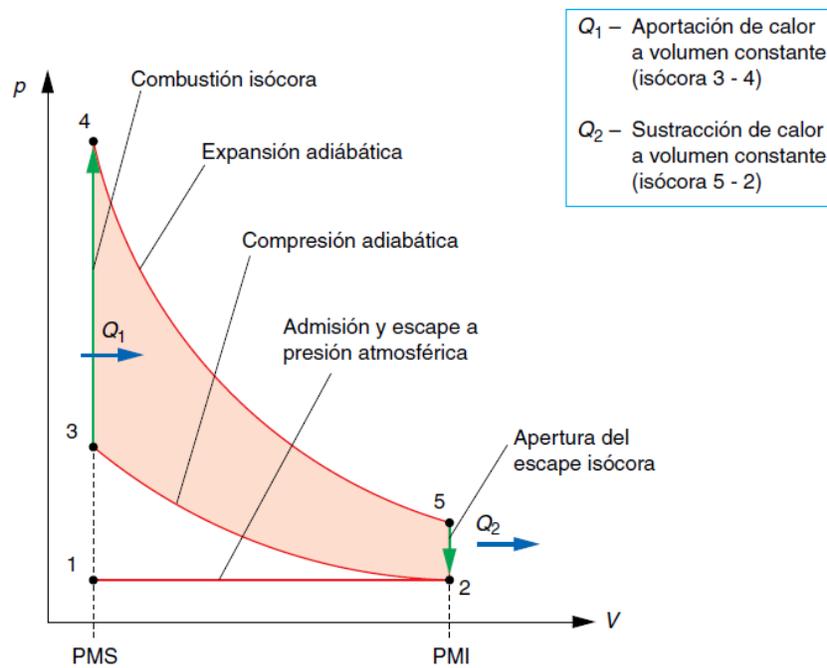
Por otro lado, sabiendo que gracias a un diagrama de trabajo se puede realizar seguimiento del cómo es la evolución en temas de presión y volumen; donde su ciclo de sucesión con repetición rápida, dentro del motor cuatro tiempos, el combustible que se utiliza es muy volátil su gasificación crea un poder de 10.400 kcal/kg de gasolina. Dentro de este combustible presenta una característica basados en su capacidad de soportar altas temperaturas controlado por el índice de octano ese minimiza su riesgo de autoencenderse.

Ilustración 24 Diagrama teórico del ciclo motor Otto.



Fuente 26 (Sanz, 2007)

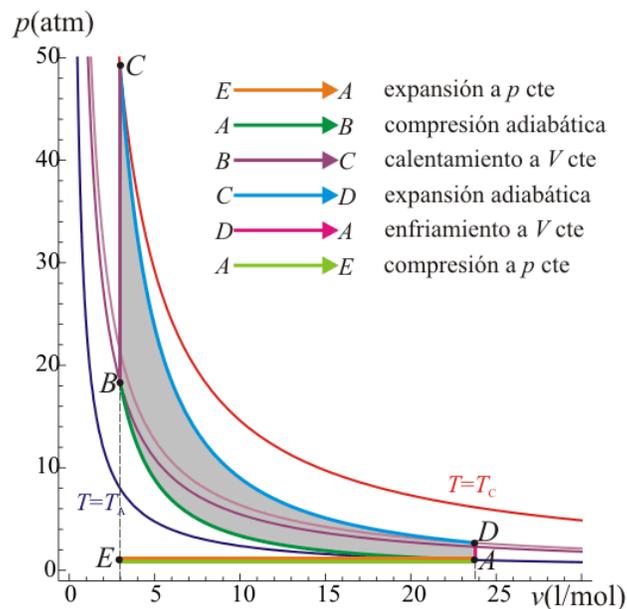
Ilustración 25 Evoluciones teóricas del diagrama de trabajo.



Fuente 27 (Sanz, 2007)

Por otro lado combustibles como el GLP Gas Licuado de Petróleo sus cualidades son similares a la gasolina. Pero cuando hablamos del ciclo ideal Otto con respecto al comportamiento de su explosión la eficiencia en función del calor dentro de su balance la admisión y el escape con una presión constante  $A \rightarrow E$  Y  $E \rightarrow A$  se cancelan entre si intercambiando poder de calor, teniendo en cuenta que en los procesos adiabáticos  $A \rightarrow B$  Y  $C \rightarrow D$ , no intercambian en el proceso, pero en la ignición de la mezcla  $B \rightarrow C$ , notamos que se escapa energía calorífica al aire, donde la expulsión de gases la representamos  $D \rightarrow A$ .

**Ilustración 26** Eficiencia en función del calor

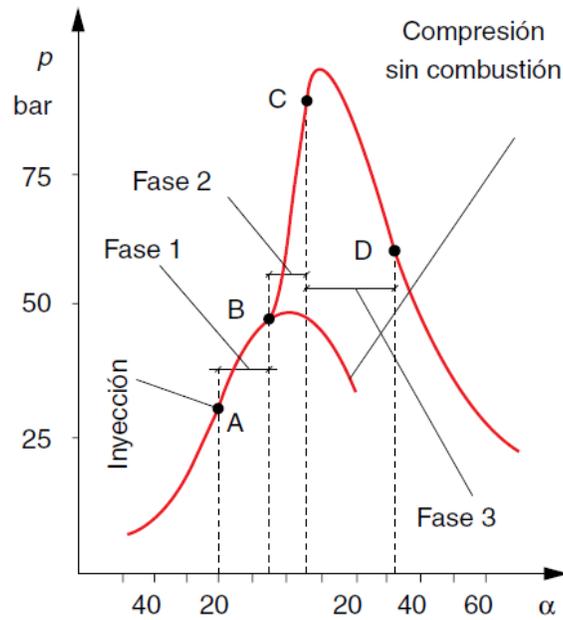


Fuente 28 (laplace.us.es, 2015)

Como resultado cuando inyectamos combustible en la cámara, hay que tener en cuenta debe haber una temperatura adecuadamente alta, gran turbulencia en la compresión del aire, buen oxígeno y buena pulverización. En la fase 1 inicia la inyección se nota la primera reacción de gasificación del combustible (A), cuando se une cierta cantidad de combustible con aire produce la combustión (B). Para el tiempo que hay entre el inicio de inyección y encendido dicha mezcla se llama retraso de encendido (AB). Para la fase 2 con la parte de quema de combustible durante el

retraso (C), donde su velocidad de combustión es alta. Para la fase 3 la temperatura dentro del cilindro sigue la quema a gran proporción llegando al final de la inyección (D).

Ilustración 27 Inyección del combustible.

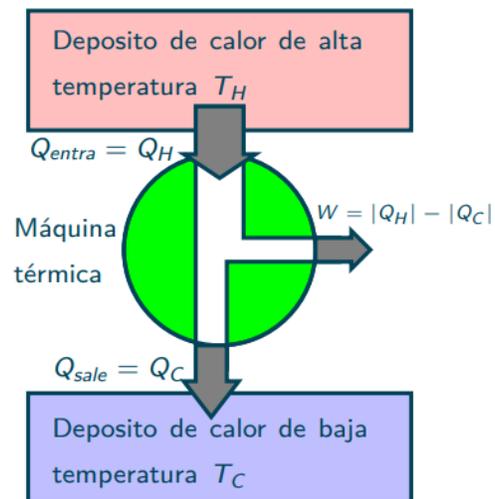


Fuente 29 (Sanz, 2007)

- 5.3. Determinar la curva de eficiencia térmica operacional del motor interna, así como los parámetros térmicos y mecánicos que caracterizan su operación.

Cabe resaltar que la relación entre la compresión, del volumen del cilindro y la cámara de combustión, donde mayor se tenga esta relación mejor tendrá un aumento en potencia y rendimiento; “Esto es debido a que al aumentar la presión en la cámara de combustión el combustible se mezcla mejor con el aire, y al aumentar la presión la expansión de los gases, aportan un impulso mayor al pistón” (Aguilar & Triana, 2019). Teniendo en cuenta que estos tipos de dispositivos convierten energía calorífica en trabajo mecánico. “Todas las máquinas térmicas absorben calor  $Q_H (> 0)$  de un depósito de calor de alta temperatura  $T_H$ , realizan un trabajo mecánico  $W (> 0)$  y desechan algo de calor  $Q_C (< 0)$  en un depósito de calor a temperatura baja  $T_C$ ” (Castillo & Restrepo, 2019).

Ilustración 28 Modelo de calor de alta y baja temperatura



Fuente 30 (Castillo & Restrepo, 2019)

Basados “en la segunda ley de termodinámica donde ciertos procesos no suceden, o que nunca se ha observado que sucedan, aunque sean congruentes con la primera ley” (Escobar, 2022). Algunos enfocados a la fluidez de un cuerpo cuando su espontaneidad cambia de

estado caliente a frío. Por otro lado, propuesto en el ciclo térmico, dicha energía absorbida no se transforma en su totalidad, con eso podemos afirmar que la construcción de una maquina térmica puede trabajar al 100% convirtiendo su calor en totalidad. En resumen la segunda ley da validez a todas las formas de energía.

### Compresión y Combustión

Ciertas características que le importancia es la energía aportante por inercia desde la volanta la cual apoya a la compresión, produciendo calor el cual se combina con la mezcla de aire y combustible, incrementando la energía térmica del combustible, mejorando la gasificación demostrando una combustión integral. *“Por otro lado, se reduce el volumen de la cámara de combustión haciéndose más compacta, por lo que hay menos pérdidas de calor y los gases quemados se evacuan con mayor rapidez”* (Sanz, 2007).

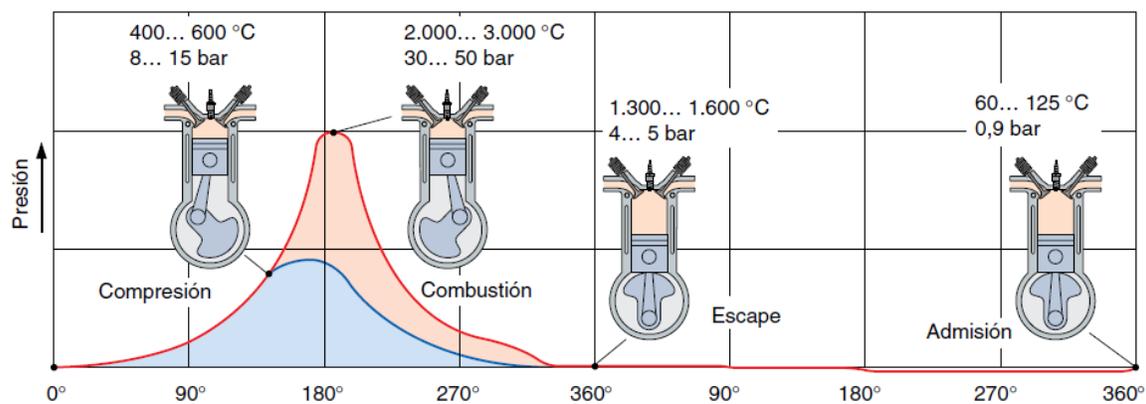
**Ilustración 29** Solicitaciones de presión y temperatura en el motor Otto.

$\eta_t$  = Rendimiento térmico

$R_c$  = Relación de compresión

$\gamma$  = Coeficiente de modificación de los gases, cuyo valor es 1,33 para motores Otto

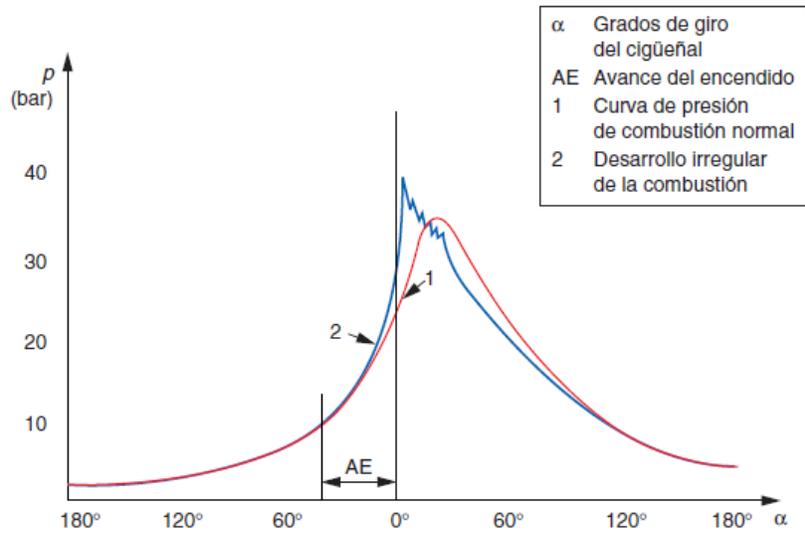
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}}$$



**Fuente 31** (Sanz, 2007)

Cabe resaltar que *“la combustión de la mezcla eleva la temperatura en la cámara de combustión (unos 2.000 °C), y aumento de presión (unos 40 bar). Esta se aplica sobre la superficie de la cabeza del pistón produciéndose la expansión de los gases”* (Sánchez, 2018).

Ilustración 30 Desarrollo de la presión de combustión.



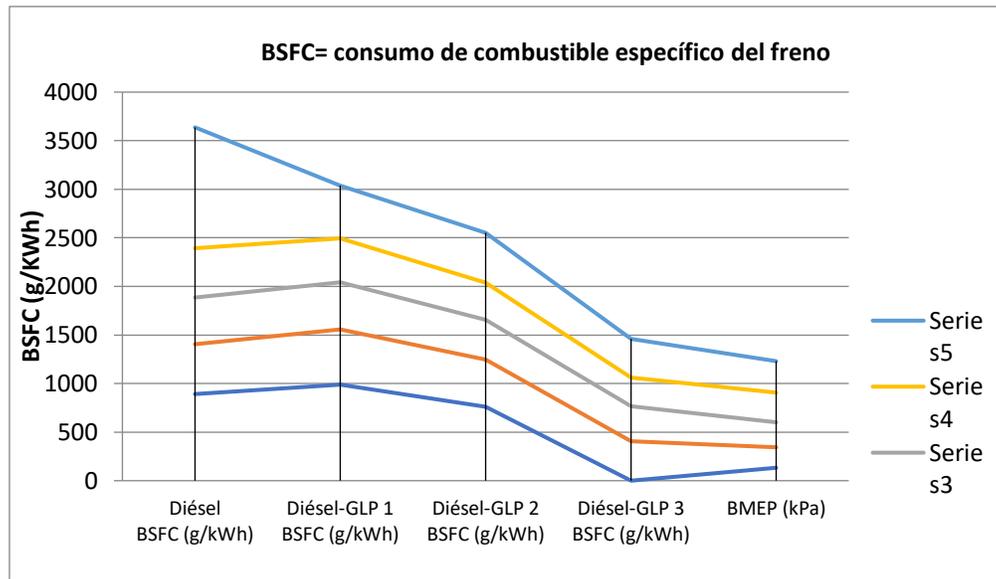
Fuente 32 (Sanz, 2007)

Tabla 7 BSFC= brake specific fuel consumption (consumo de combustible específico del freno)

Diésel BSFC (g/kWh)	Diésel-GLP 1 BSFC (g/kWh)	Diésel-GLP 2 BSFC (g/kWh)	Diésel-GLP 3 BSFC (g/kWh)	BMEP (kPa)
890,8354	988,5204	759,83701		135,24501
514,9832	568,5022	487,51235	403,72721	208,33314
478,7865	485,0912	408,07462	360,72976	257,45356
507,4056	451,8954	382,40241	298,53003	305,54823
1245,2534	543,3784	512,45863	396,22452	323,89191

Fuente 33 Elaboración Propia

Ilustración 31 BSFC= consumo de combustible específico del freno



Fuente 34 Elaboración Propia

Tabla 8 Abreviaturas

Detalle	Sigla	Unidad
Masa inicial	Mi	g - gramos
Masa Final	Mf	g - gramos
Densidad Gasolina	DG	g/l - galones/litros
T2	Compresión	
T3	Combustión	
Volumen Consumido	VC	ml - mililitros

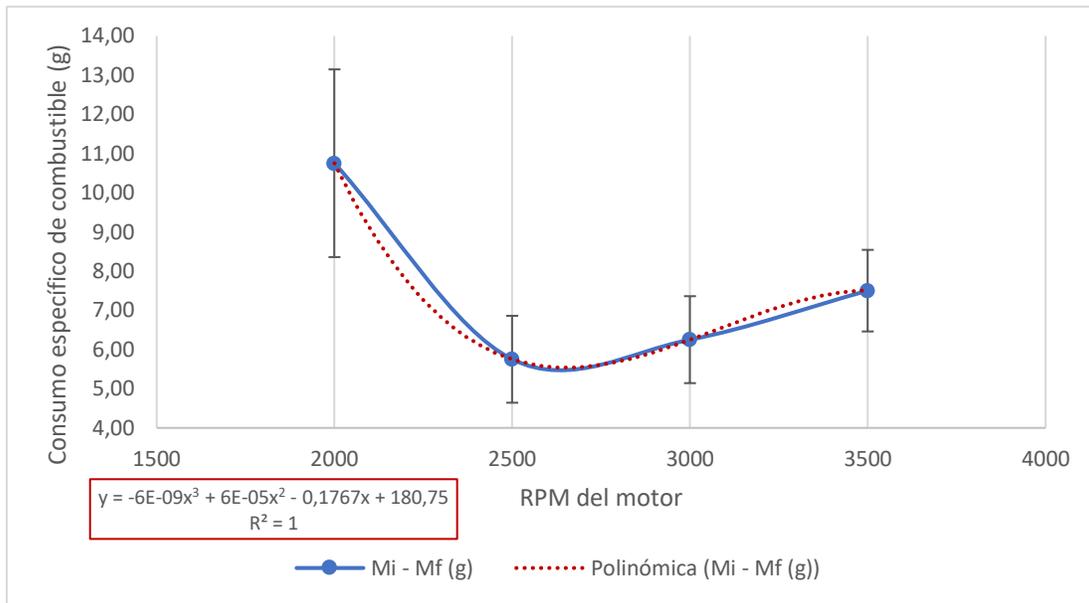
Fuente 35 Elaboración Propia

Tabla 9 Resumen Cálculos del Consumo del Motor Otto

No	RPM	Mi - Mf (g) (promedio)	Mi - Mf (g) (Incertidumbre)	Volumen Consumido (ml) (promedio)	Volumen Consumido (ml) (Incertidumbre)	Qin	Incertidumbre Qin	Qout	Incertidumbre Qout	Eficiencia	Vol. Especifico	Qin - Qout
1	2000	10,75	2,39	15,58	3,47	101,78	1,65	12,94	0,71	0,87	6,51	88,84
2	2500	5,75	1,11	8,33	1,61	108,68	0,20	11,73	0,00	0,89	7,52	96,95
3	3000	6,25	1,11	9,06	1,61	107,99	0,20	12,42	0,00	0,88	8,17	95,565
4	3500	7,5	1,04	10,87	1,51	108,33	0,00	12,42	0,00	0,89	10,44	95,91

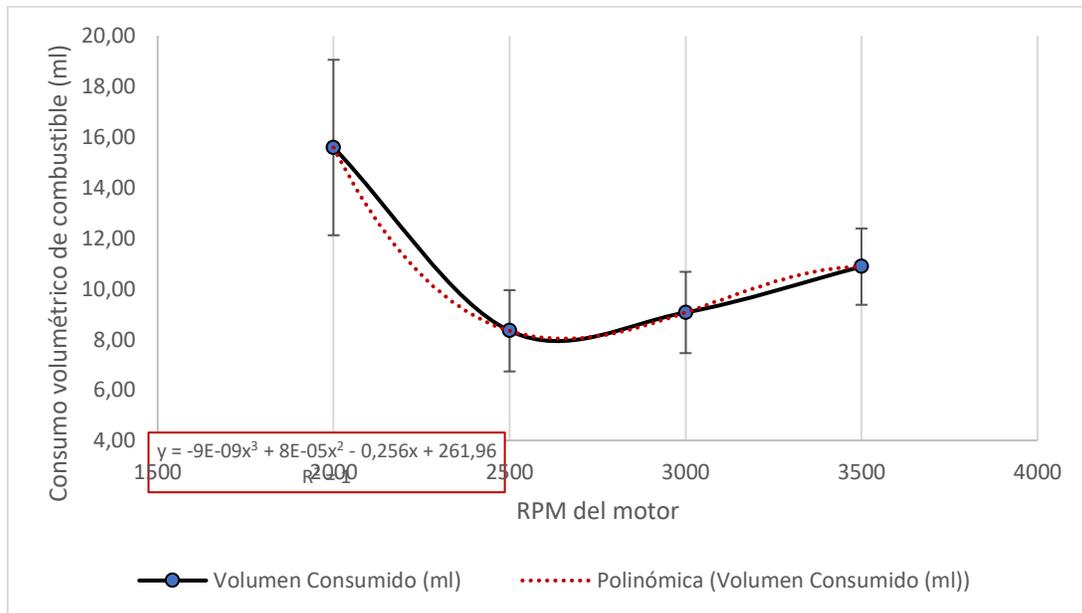
Fuente 36 Elaboración Propia

Ilustración 32 Promedio Masa Inicial y Final



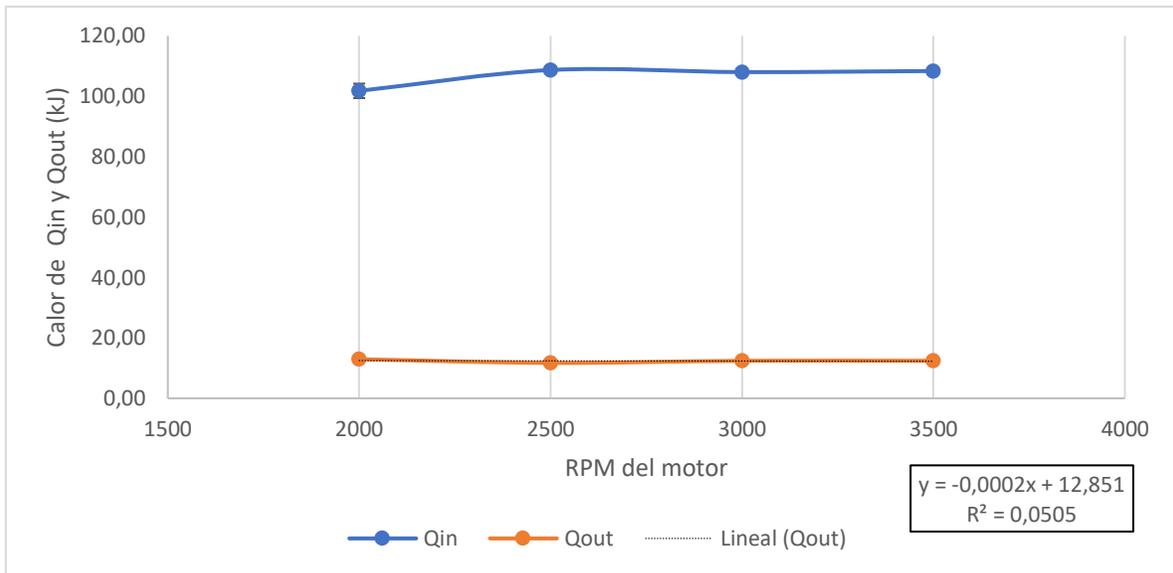
Fuente 37 Elaboración Propia

Ilustración 33 Promedio Volumen Consumido (ml)



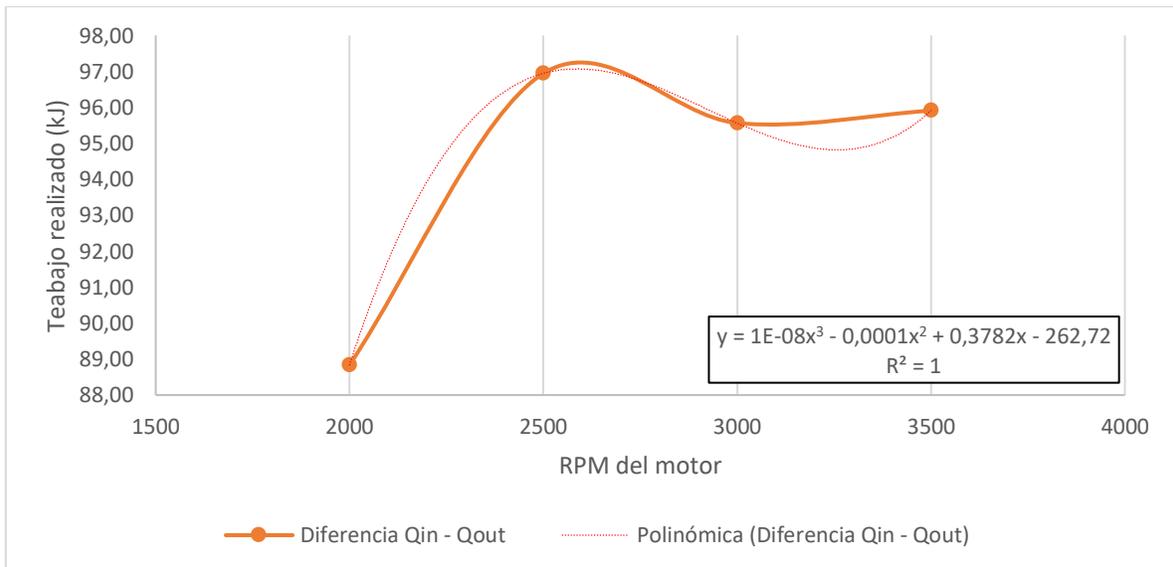
Fuente 38 Elaboración Propia

Ilustración 34 Promedio del Qin



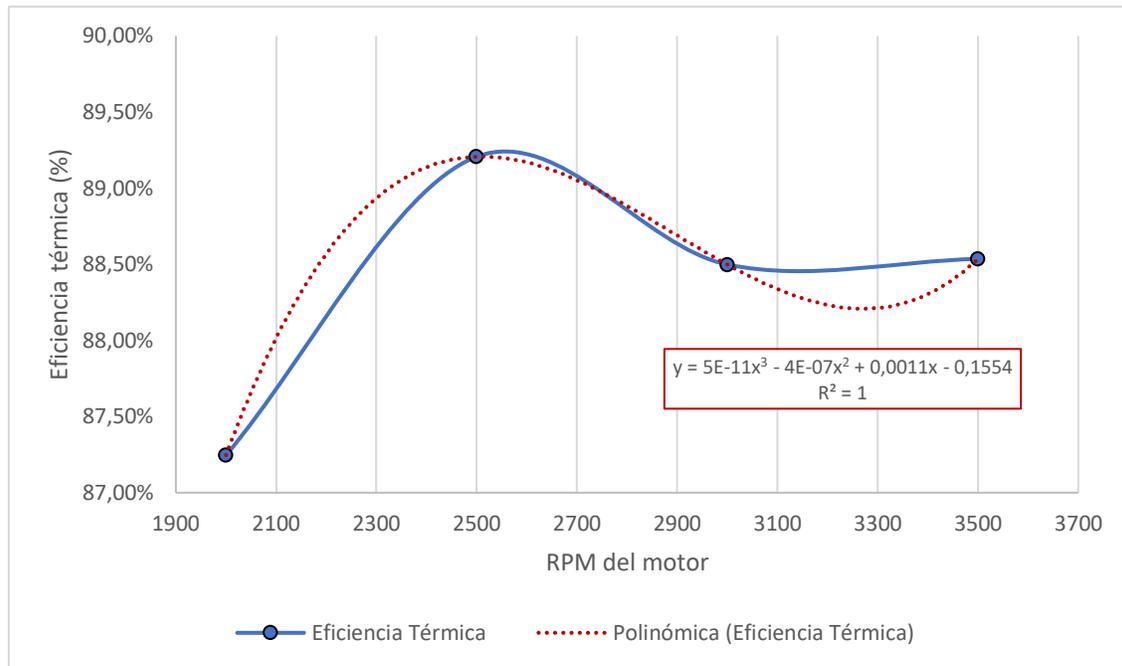
Fuente 39 Elaboración Propia

Ilustración 35 Promedio Qin - Qout



Fuente 40 Elaboración Propia

Ilustración 36 Eficiencia Promedio



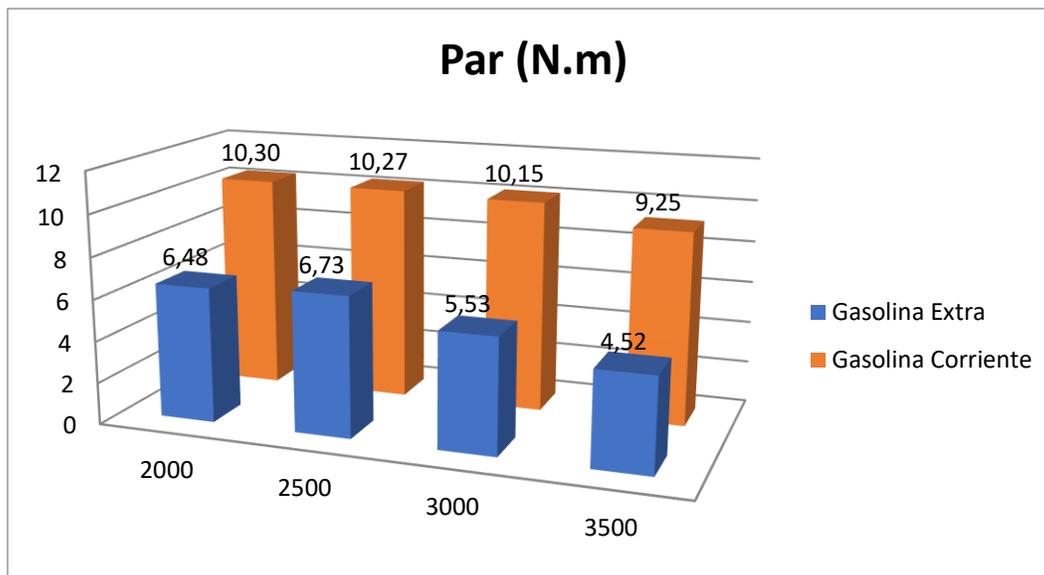
Fuente 41 Elaboración Propia

Tabla 10 Carga, Par y Potencia

Velocidad (rpm)	Carga		Par (N.m)		Potencia (kW)	
	Ángulo de Avance	Apertura de Mariposa (%)	Gasolina Extra	Gasolina Corriente	Gasolina Extra	Gasolina Corriente
2000	20	16	6,48	10,30	0,73	1,24
2500	23	22	6,73	10,27	1,36	2,34
3000	27	25	5,53	10,15	1,39	2,25
3500	33	29	4,52	9,25	1,42	3,19

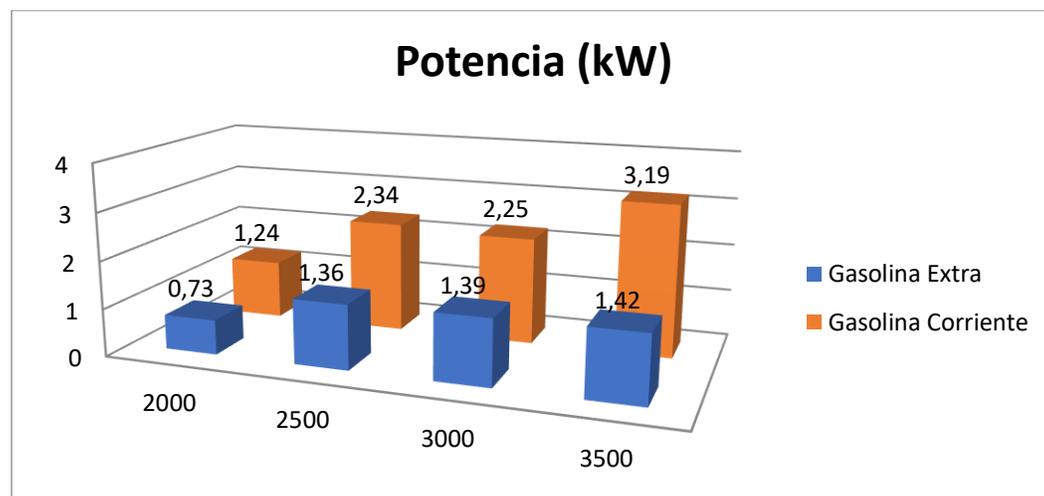
Fuente 42 Elaboración Propia

Ilustración 37 Par (N.m)



Fuente 43 Elaboración Propia

Ilustración 38 Potencia (kW)



Fuente 44 Elaboración Propia

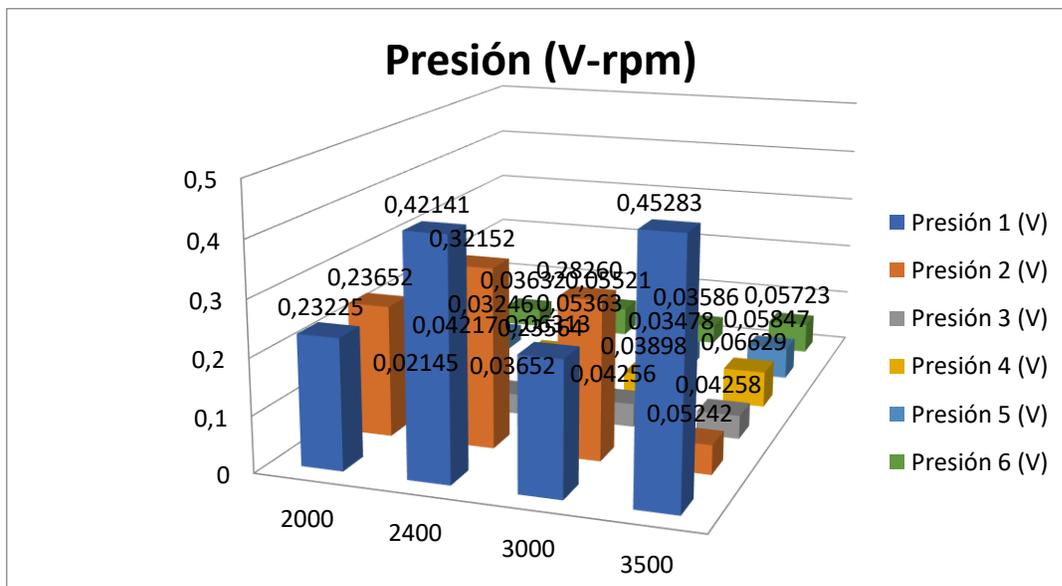
## Cálculo de las presiones del ciclo del motor Otto

Tabla 11 Cálculo de las presiones del ciclo del motor Otto

Velocidad (RPM)	Carga (A)	Presión 1 (V)	Presión 2 (V)	Presión 3 (V)	Presión 4 (V)	Presión 5 (V)	Presión 6 (V)
2000	20	0,23225	0,23652	0,02145	0,04217	0,03246	0,03632
2400	23	0,42141	0,32152	0,03652	0,06313	0,05363	0,05521
3000	27	0,23564	0,28260	0,04256	0,03898	0,03478	0,03586
3500	33	0,45283	0,05242	0,04258	0,06629	0,05847	0,05723

Fuente 45 Elaboración Propia

Ilustración 39 Presión (V-rpm)



Fuente 46 Elaboración Propia

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones.

Este trabajo de investigación permitió conocer la Influencia que tiene el combustible en la eficiencia de una máquina térmica, este afecta su rendimiento. A medida que se va desarrollando dicho trabajo en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño y se va solucionando cada objetivo, se obtienen datos los cuales pueden ser utilizados en investigaciones futuras. Es importante recalcar que las actividades teórica-práctica que desarrolla la UAN, demuestran que se pueden realizar investigaciones de alto potencial académico e investigativo.

En relación al primer objetivo específico se logró cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición de temperatura, gracias a esto se dio la garantía y la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna, por medio de unas tablas que se desarrollaron en Microsoft Excel. Con este nuevo cálculo de desempeño con los diferentes combustibles pudimos notar un rendimiento, permitiendo tomar decisiones para adecuarle a las actividades que se puedan desarrollar con su mejoría.

Por otra parte, gracias a los datos obtenidos anteriormente se pudo dar cumplimiento al segundo objetivo se pudo cuantificar la confiabilidad metrológica del sistema de medición del consumo de combustible, con el fin de garantizar la validez de los resultados experimentales en un motor de combustión interna. A través de ello se logró determinar la curva de eficiencia térmica operacional del motor interna, así como los parámetros térmicos y mecánicos que caracterizan su operación.

## 6.2. Recomendaciones

Cabe resaltar que la importancia que expone este trabajo de investigación se destaca la importancia que tienen estas actividades cuando se desarrolla en el ámbito educativo, al ser aplicado en motores de combustión interna. Para ello el mantenimiento inicial al equipo ya que tenía tiempo down ayudo a que su comportamiento fuera el ideal dentro de la actividad, permitiendo el buen desempeño y funcionalidad del mismo. Así, como muchos experimentos dan frutos y pueden ser bases a investigaciones futuras, para los cuales se recomienda partir de las plantillas de cálculo del archivo de Excel donde se conocen errores y mediciones importantes para su rendimiento.

**Anexo**

En la tabla siguiente se muestra los parámetros iniciales de arranque del motor con el combustible gasolina, se especifican cada sensor y patrones de media y desviación que pueda tener.

**Tabla 12 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente (No Ajustado)**

Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente (No Ajustado)										
Puntos	Temperatura Indicada por Sensor						Temperatura Patrón de Medición			
	S1 - T1 - °C	S2 - T2 - °C	S3 - T3 - °C	S4 - T4 - °C	S5 - T5 - °C	S6 - T6 - °C	M1 - °C	M2 - °C	Media	Desviación
1	7,0	6,9	7,1	6,5	6,4	6,5	6,0	6,2	6,1	0,1416
2	9,3	9,2	9,4	8,7	8,6	8,7	8,4	8,4	8,4	0,0002
3	11,7	11,5	11,7	11,1	11,0	11,1	10,6	10,8	10,7	0,1416
4	14,2	14,0	14,3	13,6	13,5	13,6	13,0	13,2	13,1	0,1416
5	14,6	14,5	14,7	14,0	13,9	14,0	13,7	13,7	13,7	0,0002
6	15,9	15,7	16,0	15,3	15,2	15,3	14,8	14,8	14,8	0,0002
7	16,3	16,2	16,4	15,7	15,6	15,6	15,2	15,3	15,3	0,0709
8	16,4	16,2	16,5	15,8	15,7	15,8	15,3	15,4	15,4	0,0709
9	19,3	19,2	19,4	18,7	18,6	18,7	18,4	18,4	18,4	0,0002
10	21,4	21,3	21,5	20,8	20,7	20,8	20,3	20,4	20,4	0,0709
11	23,2	23,1	23,3	22,6	22,5	22,6	22,0	22,1	22,1	0,0709
12	24,0	23,8	24,1	23,4	23,3	23,3	22,9	23,0	23,0	0,0709
13	26,6	26,4	26,6	25,9	25,8	25,9	26,4	25,5	26,0	0,0709
14	26,6	26,4	26,7	26,0	25,9	25,9	25,5	25,5	25,5	0,0002
15	21,1	30,9	31,1	30,4	30,3	30,4	29,9	29,9	29,9	0,0002
16	30,9	30,8	31,1	30,3	30,2	30,3	29,9	29,9	29,9	0,0002
17	36,1	35,9	36,1	35,4	35,3	35,4	34,8	34,8	34,8	0,0002
18	39,0	38,9	39,1	38,4	38,3	38,4	37,8	37,8	37,8	0,0002
19	41,0	40,9	41,1	40,4	40,3	40,4	39,8	39,8	39,8	0,0002
20	41,0	40,9	41,2	40,4	40,3	40,4	39,8	39,8	39,8	0,0002
21	41,0	40,8	41,1	40,3	40,3	40,3	39,8	39,8	39,8	0,0002
22	46,1	45,9	46,0	45,4	45,3	45,4	44,8	44,8	44,8	0,0002
23	49,1	48,9	49,1	48,4	48,3	48,4	47,8	47,8	47,8	0,0002
24	51,4	51,2	51,4	50,7	50,6	50,6	50,1	50,1	50,1	0,0002
25	51,4	51,2	51,6	50,7	50,6	50,7	50,2	50,2	50,2	0,0002
26	56,4	56,2	56,4	55,7	55,6	55,7	55,1	55,2	55,2	0,0709
27	61,4	61,2	61,4	60,7	60,6	60,7	60,1	60,1	60,1	0,0002
28	61,4	61,2	61,4	60,8	60,7	60,7	60,2	0,2	30,2	0,0002
29	66,5	66,3	66,4	65,7	65,7	65,8	65,2	65,3	65,3	0,0709
30	71,5	71,3	71,3	70,8	70,7	70,7	70,3	70,2	70,3	0,0709

Fuente 47 Elaboración Propia

En la tabla siguiente se muestra el error sistemático que tiene el motor Otto por cada secuencia y temperatura por cada uno de sus sensores.

Tabla 13 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (No Ajustado)

Registro Calibración Motor Otto						
Puntos	Error sistemático (No Ajustado)					
	E1 - S1 - T1 - °C	E2 - S2 - T2 - °C	E3 - S3 - T3 - °C	E4 - S4 - T4 - °C	E5 - S5 - T5 - °C	E6 - S6 - T6 - °C
1	0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
2	0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
3	0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
4	1,0	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
5	0,8	0,7	1,0	0,2	0,1	0,2
6	1,0	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
7	1,0	0,8	1,1	0,3	0,2	0,2
8	1,0	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
9	0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
10	0,9	0,8	1,0	0,2	0,1	0,2
11	1,0	0,9	1,1	0,4	0,2	0,4
12	0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
13	1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,3
14	0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
15	1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,3
16	0,8	0,7	1,0	0,2	0,1	0,2
17	1,1	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
18	1,0	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
19	1,0	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
20	1,0	0,9	1,2	0,4	0,3	0,4
21	1,0	0,8	1,1	0,3	0,3	0,3
22	1,1	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
23	1,1	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
24	1,4	1,2	1,4	0,7	0,6	0,6
25	1,3	1,1	1,5	0,6	0,5	0,6
26	1,4	1,2	1,4	0,7	0,6	0,7
27	1,4	1,2	1,4	0,7	0,6	0,7
28	1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,6
29	1,4	1,2	1,2	0,5	0,5	0,6
30	1,4	1,2	1,2	0,6	0,5	0,5

Fuente 48 Elaboración Propia

Tabla 14 Registro calibración Motor Otto Gasolina Extra (No Ajustado)

Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra										
Puntos	Temperatura Indicada por Sensor						Temperatura Patrón de Medición			
	S1 - T1 - °C	S2 - T2 - °C	S3 - T3 - °C	S4 - T4 - °C	S5 - T5 - °C	S6 - T6 - °C	M1 - °C	M2 - °C	Media	Desviación
1	6,8	6,7	6,9	6,3	6,2	6,3	5,8	6,0	5,9	0,1376
2	9,0	8,9	9,1	8,5	8,4	8,5	8,2	8,2	8,2	0,0002
3	11,4	11,2	11,4	10,8	10,7	10,8	10,3	10,5	10,4	0,1376
4	13,8	13,6	13,9	13,2	13,1	13,2	12,6	12,8	12,7	0,1376
5	14,2	14,1	14,3	13,6	13,5	13,6	13,3	13,3	13,3	0,0002
6	15,4	15,3	15,5	14,9	14,8	14,9	14,4	14,4	14,4	0,0002
7	15,8	15,7	15,9	15,3	15,2	15,2	14,8	14,9	14,8	0,0689
8	15,9	15,7	16,0	15,3	15,3	15,3	14,9	15,0	14,9	0,0689
9	18,7	18,7	18,8	18,2	18,1	18,2	17,9	17,9	17,9	0,0002
10	20,8	20,7	20,9	20,2	20,1	20,2	19,7	19,8	19,8	0,0689
11	22,5	22,4	22,6	22,0	21,9	22,0	21,4	21,5	21,4	0,0689
12	23,3	23,1	23,4	22,7	22,6	22,6	22,2	22,3	22,3	0,0689
13	25,8	25,6	25,8	25,2	25,1	25,2	25,6	24,8	25,2	0,0689
14	25,8	25,6	25,9	25,3	25,2	25,2	24,8	24,8	24,8	0,0002
15	20,5	30,0	30,2	29,5	29,4	29,5	29,0	29,0	29,0	0,0002
16	30,0	29,9	30,2	29,4	29,3	29,4	29,0	29,0	29,0	0,0002
17	35,1	34,9	35,1	34,4	34,3	34,4	33,8	33,8	33,8	0,0002
18	37,9	37,8	38,0	37,3	37,2	37,3	36,7	36,7	36,7	0,0002
19	39,8	39,7	39,9	39,2	39,2	39,2	38,7	38,7	38,7	0,0002
20	39,8	39,7	40,0	39,2	39,2	39,2	38,7	38,7	38,7	0,0002
21	39,8	39,6	39,9	39,2	39,2	39,2	38,7	38,7	38,7	0,0002
22	44,8	44,6	44,7	44,1	44,0	44,1	43,5	43,5	43,5	0,0002
23	47,7	47,5	47,7	47,0	46,9	47,0	46,4	46,4	46,4	0,0002
24	49,9	49,7	49,9	49,3	49,2	49,2	48,7	48,7	48,7	0,0002
25	49,9	49,7	50,1	49,3	49,2	49,3	48,8	48,8	48,8	0,0002
26	54,8	54,6	54,8	54,1	54,0	54,1	53,5	53,6	53,6	0,0689
27	59,7	59,5	59,7	59,0	58,9	59,0	58,4	58,4	58,4	0,0002
28	59,7	59,5	59,7	59,1	59,0	59,0	58,5	0,2	29,3	0,0002
29	64,6	64,4	64,5	63,8	63,8	63,9	63,3	63,4	63,4	0,0689
30	69,5	69,3	69,3	68,8	68,7	68,7	68,3	68,2	68,2	0,0689

Fuente 49 Elaboración Propia

Tabla 15 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (No Ajustado)

Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra						
Puntos	Error sistemático (No Ajustado)					
	E1 - S1 - T1 - °C	E2 - S2 - T2 - °C	E3 - S3 - T3 - °C	E4 - S4 - T4 - °C	E5 - S5 - T5 - °C	E6 - S6 - T6 - °C
1	0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
2	0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
3	0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
4	1,0	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
5	0,8	0,7	1,0	0,2	0,1	0,2
6	1,0	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
7	1,0	0,8	1,1	0,3	0,2	0,2
8	1,0	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
9	0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
10	0,9	0,8	1,0	0,2	0,1	0,2
11	1,0	0,9	1,1	0,4	0,2	0,4
12	0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
13	1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,3
14	0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
15	1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,3
16	0,8	0,7	1,0	0,2	0,1	0,2
17	1,1	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
18	1,0	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
19	1,0	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
20	1,0	0,9	1,2	0,4	0,3	0,4
21	1,0	0,8	1,1	0,3	0,3	0,3
22	1,1	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
23	1,1	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
24	1,4	1,2	1,4	0,7	0,6	0,6
25	1,3	1,1	1,5	0,6	0,5	0,6
26	1,4	1,2	1,4	0,7	0,6	0,7
27	1,4	1,2	1,4	0,7	0,6	0,7
28	1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,6
29	1,4	1,2	1,2	0,5	0,5	0,6
30	1,4	1,2	1,2	0,6	0,5	0,5

Fuente 50 Elaboración Propia

Tabla 16 Registro calibración Motor Otto Mezcla de combustibles para un MCI (No Ajustado)

Mezcla de combustibles para un MCI										
Puntos	Temperatura Indicada por Sensor						Temperatura Patrón de Medición			
	S1 - T1 - °C	S2 - T2 - °C	S3 - T3 - °C	S4 - T4 - °C	S5 - T5 - °C	S6 - T6 - °C	M1 - °C	M2 - °C	Media	Desviación
1	6,7	6,6	6,7	6,2	6,1	6,2	5,7	5,9	5,8	0,1345
2	8,8	8,7	8,9	8,3	8,2	8,3	8,0	8,0	8,0	0,0002
3	11,1	10,9	11,1	10,5	10,5	10,5	10,1	10,3	10,2	0,1345
4	13,5	13,3	13,6	12,9	12,8	12,9	12,4	12,5	12,4	0,1345
5	13,9	13,8	14,0	13,3	13,2	13,3	13,0	13,0	13,0	0,0002
6	15,1	14,9	15,2	14,5	14,4	14,5	14,1	14,1	14,1	0,0002
7	15,5	15,4	15,6	14,9	14,8	14,8	14,4	14,5	14,5	0,0674
8	15,6	15,4	15,7	15,0	14,9	15,0	14,5	14,6	14,6	0,0674
9	18,3	18,2	18,4	17,8	17,7	17,8	17,5	17,5	17,5	0,0002
10	20,3	20,2	20,4	19,8	19,7	19,8	19,3	19,4	19,3	0,0674
11	22,0	21,9	22,1	21,5	21,4	21,5	20,9	21,0	20,9	0,0674
12	22,8	22,6	22,9	22,2	22,1	22,1	21,8	21,9	21,8	0,0674
13	25,3	25,1	25,3	24,6	24,5	24,6	25,1	24,2	24,7	0,0674
14	25,3	25,1	25,4	24,7	24,6	24,6	24,2	24,2	24,2	0,0002
15	20,0	29,4	29,5	28,9	28,8	28,9	28,4	28,4	28,4	0,0002
16	29,4	29,3	29,5	28,8	28,7	28,8	28,4	28,4	28,4	0,0002
17	34,3	34,1	34,3	33,6	33,5	33,6	33,1	33,1	33,1	0,0002
18	37,1	37,0	37,1	36,5	36,4	36,5	35,9	35,9	35,9	0,0002
19	39,0	38,9	39,0	38,4	38,3	38,4	37,8	37,8	37,8	0,0002
20	39,0	38,9	39,1	38,4	38,3	38,4	37,8	37,8	37,8	0,0002
21	39,0	38,8	39,0	38,3	38,3	38,3	37,8	37,8	37,8	0,0002
22	43,8	43,6	43,7	43,1	43,0	43,1	42,6	42,6	42,6	0,0002
23	46,6	46,5	46,6	46,0	45,9	46,0	45,4	45,4	45,4	0,0002
24	48,8	48,6	48,8	48,2	48,1	48,1	47,6	47,6	47,6	0,0002
25	48,8	48,6	49,0	48,2	48,1	48,2	47,7	47,7	47,7	0,0002
26	53,6	53,4	53,6	52,9	52,8	52,9	52,3	52,4	52,4	0,0674
27	58,3	58,1	58,3	57,7	57,6	57,7	57,1	57,1	57,1	0,0002
28	58,3	58,1	58,3	57,8	57,7	57,7	57,2	0,2	28,7	0,0002
29	63,2	63,0	63,1	62,4	62,4	62,5	61,9	62,0	62,0	0,0674
30	67,9	67,7	67,7	67,3	67,2	67,2	66,8	66,7	66,7	0,0674

Fuente 51 Elaboración Propia

Tabla 17 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (No Ajustado)

Mezcla de combustibles para un MCI					
Error sistemático (Ajustado)					
E1 - S1 - T1 - °C	E2 - S2 - T2 - °C	E3 - S3 - T3 - °C	E4 - S4 - T4 - °C	E5 - S5 - T5 - °C	E6 - S6 - T6 - °C
0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,8	0,7	1,0	0,2	0,1	0,2
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,2
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,8	1,0	0,2	0,1	0,2
1,0	0,9	1,0	0,4	0,2	0,4
0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,3
0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
1,0	0,8	1,0	0,3	0,2	0,3
0,8	0,7	1,0	0,2	0,1	0,2
1,0	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
1,0	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
1,0	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
1,0	0,9	1,1	0,4	0,3	0,4
1,0	0,8	1,0	0,3	0,3	0,3
1,0	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
1,0	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,6
1,2	1,0	1,4	0,6	0,5	0,6
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,7
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,7
1,2	1,0	1,2	0,7	0,6	0,6
1,3	1,1	1,1	0,5	0,5	0,6
1,3	1,1	1,1	0,6	0,5	0,5

Fuente 52 Elaboración Propia

Tabla 18 Registro de los datos de la calibración Gasolina Corriente (Ajustado)

Registro de los datos de la calibración Gasolina Corriente (Ajustado)										
Puntos	Temperatura Indicada por Sensor						Temperatura Patrón de Medición			
	S1 - T1 - °C	S2 - T2 - °C	S3 - T3 - °C	S4 - T4 - °C	S5 - T5 - °C	S6 - T6 - °C	M1 - °C	M2 - °C	Media	Desviación
1	6,4	6,3	6,5	5,9	5,9	5,9	5,5	5,7	5,6	0,1295
2	8,5	8,4	8,6	8,0	7,9	8,0	7,7	7,7	7,7	0,0002
3	10,7	10,5	10,7	10,2	10,1	10,2	9,7	9,9	9,8	0,1295
4	13,0	12,8	13,1	12,4	12,3	12,4	11,9	12,1	12,0	0,1295
5	13,4	13,3	13,4	12,8	12,7	12,8	12,5	12,5	12,5	0,0002
6	14,5	14,4	14,6	14,0	13,9	14,0	13,5	13,5	13,5	0,0002
7	14,9	14,8	15,0	14,4	14,3	14,3	13,9	14,0	14,0	0,0649
8	15,0	14,8	15,1	14,5	14,4	14,5	14,0	14,1	14,0	0,0649
9	17,7	17,6	17,7	17,1	17,0	17,1	16,8	16,8	16,8	0,0002
10	19,6	19,5	19,7	19,0	18,9	19,0	18,6	18,7	18,6	0,0649
11	21,2	21,1	21,3	20,7	20,6	20,7	20,1	20,2	20,2	0,0649
12	22,0	21,8	22,0	21,4	21,3	21,3	20,9	21,0	21,0	0,0649
13	24,3	24,2	24,3	23,7	23,6	23,7	24,2	23,3	23,7	0,0649
14	24,3	24,2	24,4	23,8	23,7	23,7	23,3	23,3	23,3	0,0002
15	19,3	28,3	28,5	27,8	27,7	27,8	27,4	27,4	27,4	0,0002
16	28,3	28,2	28,5	27,7	27,6	27,7	27,4	27,4	27,4	0,0002
17	33,0	32,8	33,0	32,4	32,3	32,4	31,8	31,8	31,8	0,0002
18	35,7	35,6	35,8	35,1	35,0	35,1	34,6	34,6	34,6	0,0002
19	37,5	37,4	37,6	37,0	36,9	37,0	36,4	36,4	36,4	0,0002
20	37,5	37,4	37,7	37,0	36,9	37,0	36,4	36,4	36,4	0,0002
21	37,5	37,3	37,6	36,9	36,9	36,9	36,4	36,4	36,4	0,0002
22	42,2	42,0	42,1	41,5	41,4	41,5	41,0	41,0	41,0	0,0002
23	44,9	44,7	44,9	44,3	44,2	44,3	43,7	43,7	43,7	0,0002
24	47,0	46,8	47,0	46,4	46,3	46,3	45,8	45,8	45,8	0,0002
25	47,0	46,8	47,2	46,4	46,3	46,4	45,9	45,9	45,9	0,0002
26	51,6	51,4	51,6	51,0	50,9	51,0	50,4	50,5	50,5	0,0649
27	56,2	56,0	56,2	55,5	55,4	55,5	55,0	55,0	55,0	0,0002
28	56,2	56,0	56,2	55,6	55,5	55,5	55,1	0,2	27,6	0,0002
29	60,8	60,7	60,7	60,1	60,1	60,2	59,6	59,7	59,7	0,0649
30	65,4	65,2	65,2	64,8	64,7	64,7	64,3	64,2	64,3	0,0649

Fuente 53 Elaboración Propia

Tabla 19 Registro calibración Motor Otto Gasolina Corriente Error sistemático (Ajustado)

Registro de los datos de la calibración Gasolina Corriente (Ajustado)					
Error sistemático (Ajustado)					
E1 - S1 - T1 - °C	E2 - S2 - T2 - °C	E3 - S3 - T3 - °C	E4 - S4 - T4 - °C	E5 - S5 - T5 - °C	E6 - S6 - T6 - °C
0,7	0,6	0,8	0,3	0,2	0,3
0,7	0,6	0,8	0,2	0,1	0,2
0,8	0,6	0,8	0,3	0,2	0,3
0,9	0,7	1,0	0,4	0,3	0,4
0,7	0,6	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,7	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
0,9	0,7	1,0	0,4	0,3	0,4
0,7	0,6	0,8	0,2	0,1	0,2
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,8	1,0	0,4	0,2	0,4
0,8	0,6	0,9	0,3	0,2	0,2
0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
0,8	0,6	0,9	0,3	0,2	0,2
0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
0,7	0,6	0,9	0,2	0,1	0,2
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
0,9	0,7	1,0	0,3	0,3	0,3
1,0	0,8	0,9	0,4	0,3	0,4
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
1,3	1,1	1,3	0,6	0,5	0,5
1,2	1,0	1,4	0,5	0,5	0,5
1,3	1,1	1,3	0,6	0,5	0,6
1,3	1,1	1,3	0,6	0,5	0,6
1,2	1,0	1,2	0,6	0,5	0,5
1,3	1,1	1,1	0,5	0,5	0,5
1,3	1,1	1,1	0,5	0,5	0,5

Fuente 54 Elaboración Propia

Sin embargo, al realizar un comparativo de la media inicial y la ajustada se nota una disminución considerable dentro de sus parámetros por cada punto tomado.

**Tabla 20 Comparativo Combustibles Corriente Media Inicial y Ajustado**

<b>Puntos</b>	<b>Media (Inicial)</b>	<b>Media (Ajustada)</b>
1	6,1	5,6
2	8,4	7,7
3	10,7	9,8
4	13,1	12,0
5	13,7	12,5
6	14,8	13,5
7	15,3	14,0
8	15,4	14,0
9	18,4	16,8
10	20,4	18,6
11	22,1	20,2
12	23,0	21,0
13	26,0	23,7
14	25,5	23,3
15	29,9	27,4
16	29,9	27,4
17	34,8	31,8
18	37,8	34,6
19	39,8	36,4
20	39,8	36,4
21	39,8	36,4
22	44,8	41,0
23	47,8	43,7
24	50,1	45,8
25	50,2	45,9
26	55,2	50,5
27	60,1	55,0
28	30,2	27,6
29	65,3	59,7
30	70,3	64,3

Fuente 55 Elaboración Propia

Tabla 21 Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra (Ajustado)

Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra (Ajustado)										
Puntos	Temperatura Indicada por Sensor						Temperatura Patrón de Medición			
	S1 - T1 - °C	S2 - T2 - °C	S3 - T3 - °C	S4 - T4 - °C	S5 - T5 - °C	S6 - T6 - °C	M1 - °C	M2 - °C	Media	Desviación
1	6,6	6,5	6,7	6,1	6,0	6,1	5,7	5,9	5,8	0,1336
2	8,8	8,7	8,9	8,2	8,1	8,2	7,9	7,9	7,9	0,0002
3	11,0	10,9	11,0	10,5	10,4	10,5	10,0	10,2	10,1	0,1336
4	13,4	13,2	13,5	12,8	12,7	12,8	12,3	12,5	12,4	0,1336
5	13,8	13,7	13,9	13,2	13,1	13,2	12,9	12,9	12,9	0,0002
6	15,0	14,8	15,1	14,4	14,3	14,4	14,0	14,0	14,0	0,0002
7	15,4	15,3	15,5	14,8	14,7	14,7	14,3	14,4	14,4	0,0669
8	15,5	15,3	15,6	14,9	14,8	14,9	14,4	14,5	14,5	0,0669
9	18,2	18,1	18,3	17,6	17,6	17,6	17,4	17,4	17,4	0,0002
10	20,2	20,1	20,3	19,6	19,5	19,6	19,2	19,3	19,2	0,0669
11	21,9	21,8	22,0	21,3	21,2	21,3	20,8	20,9	20,8	0,0669
12	22,7	22,5	22,7	22,1	22,0	22,0	21,6	21,7	21,7	0,0669
13	25,1	24,9	25,1	24,4	24,4	24,4	24,9	24,1	24,5	0,0669
14	25,1	24,9	25,2	24,5	24,4	24,4	24,1	24,1	24,1	0,0002
15	19,9	29,2	29,4	28,7	28,6	28,7	28,2	28,2	28,2	0,0002
16	29,2	29,1	29,4	28,6	28,5	28,6	28,2	28,2	28,2	0,0002
17	34,1	33,9	34,1	33,4	33,3	33,4	32,8	32,8	32,8	0,0002
18	36,8	36,7	36,9	36,2	36,1	36,2	35,7	35,7	35,7	0,0002
19	38,7	38,6	38,8	38,1	38,0	38,1	37,6	37,6	37,6	0,0002
20	38,7	38,6	38,9	38,1	38,0	38,1	37,6	37,6	37,6	0,0002
21	38,7	38,5	38,8	38,0	38,0	38,0	37,6	37,6	37,6	0,0002
22	43,5	43,3	43,4	42,8	42,8	42,8	42,3	42,3	42,3	0,0002
23	46,3	46,2	46,3	45,7	45,6	45,7	45,1	45,1	45,1	0,0002
24	48,5	48,3	48,5	47,9	47,8	47,8	47,3	47,3	47,3	0,0002
25	48,5	48,3	48,7	47,9	47,8	47,9	47,4	47,4	47,4	0,0002
26	53,2	53,0	53,2	52,6	52,5	52,6	52,0	52,1	52,1	0,0669
27	58,0	57,8	58,0	57,3	57,2	57,3	56,7	56,7	56,7	0,0002
28	58,0	57,8	58,0	57,4	57,3	57,3	56,8	0,2	28,5	0,0002
29	62,8	62,6	62,7	62,0	62,0	62,1	61,5	61,6	61,6	0,0669
30	67,5	67,3	67,3	66,8	66,7	66,7	66,4	66,3	66,3	0,0669

Fuente 56 Elaboración Propia

Tabla 22 Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra Error sistemático (Ajustado)

Registro de los datos de la calibración Gasolina Extra (Ajustado)					
Error sistemático (Ajustado)					
E1 - S1 - T1 - °C	E2 - S2 - T2 - °C	E3 - S3 - T3 - °C	E4 - S4 - T4 - °C	E5 - S5 - T5 - °C	E6 - S6 - T6 - °C
0,8	0,7	0,8	0,3	0,2	0,3
0,8	0,7	0,8	0,2	0,1	0,2
0,8	0,7	0,8	0,3	0,2	0,3
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,3	0,2	0,2
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,8	0,7	0,8	0,2	0,1	0,2
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,8	1,0	0,4	0,2	0,4
0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,2
0,9	0,8	0,9	0,3	0,2	0,3
0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,2
0,9	0,8	0,9	0,3	0,2	0,3
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,3	0,3	0,3
1,0	0,8	0,9	0,4	0,3	0,4
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,6
1,2	1,0	1,4	0,6	0,5	0,6
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,7
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,7
1,2	1,0	1,2	0,7	0,6	0,6
1,3	1,1	1,1	0,5	0,5	0,6
1,3	1,1	1,1	0,6	0,5	0,5

Fuente 57 Elaboración Propia

Tabla 23 Comparativo Combustibles Gasolina Extra Media Inicial y Ajustado

<b>Puntos</b>	<b>Media (Inicial)</b>	<b>Media (Ajustada)</b>
1	6,1	5,8
2	8,4	7,9
3	10,7	10,1
4	13,1	12,4
5	13,7	12,9
6	14,8	14,0
7	15,3	14,4
8	15,4	14,5
9	18,4	17,4
10	20,4	19,2
11	22,1	20,8
12	23,0	21,7
13	26,0	24,5
14	25,5	24,1
15	29,9	28,2
16	29,9	28,2
17	34,8	32,8
18	37,8	35,7
19	39,8	37,6
20	39,8	37,6
21	39,8	37,6
22	44,8	42,3
23	47,8	45,1
24	50,1	47,3
25	50,2	47,4
26	55,2	52,1
27	60,1	56,7
28	30,2	28,5
29	65,3	61,6
30	70,3	66,3

Fuente 58 Elaboración Propia

Tabla 24 Mezcla de combustibles para un MCI (Ajustado)

Mezcla de combustibles para un MCI (Ajustado)										
Puntos	Temperatura Indicada por Sensor						Temperatura Patrón de Medición			
	S1 - T1 - °C	S2 - T2 - °C	S3 - T3 - °C	S4 - T4 - °C	S5 - T5 - °C	S6 - T6 - °C	M1 - °C	M2 - °C	Media	Desviación
1	6,5	6,4	6,6	6,0	6,0	6,0	5,6	5,8	5,7	0,1317
2	8,6	8,6	8,7	8,1	8,0	8,1	7,8	7,8	7,8	0,0002
3	10,9	10,7	10,9	10,3	10,2	10,3	9,9	10,0	10,0	0,1317
4	13,2	13,0	13,3	12,6	12,6	12,6	12,1	12,3	12,2	0,1317
5	13,6	13,5	13,7	13,0	12,9	13,0	12,7	12,7	12,7	0,0002
6	14,8	14,6	14,9	14,2	14,1	14,2	13,8	13,8	13,8	0,0002
7	15,2	15,1	15,3	14,6	14,5	14,5	14,1	14,2	14,2	0,0659
8	15,3	15,1	15,3	14,7	14,6	14,7	14,2	14,3	14,3	0,0659
9	17,9	17,9	18,0	17,4	17,3	17,4	17,1	17,1	17,1	0,0002
10	19,9	19,8	20,0	19,3	19,3	19,3	18,9	19,0	18,9	0,0659
11	21,6	21,5	21,7	21,0	20,9	21,0	20,5	20,6	20,5	0,0659
12	22,3	22,1	22,4	21,8	21,7	21,7	21,3	21,4	21,3	0,0659
13	24,7	24,6	24,7	24,1	24,0	24,1	24,6	23,7	24,1	0,0659
14	24,7	24,6	24,8	24,2	24,1	24,1	23,7	23,7	23,7	0,0002
15	19,6	28,7	28,9	28,3	28,2	28,3	27,8	27,8	27,8	0,0002
16	28,7	28,6	28,9	28,2	28,1	28,2	27,8	27,8	27,8	0,0002
17	33,6	33,4	33,6	32,9	32,8	32,9	32,4	32,4	32,4	0,0002
18	36,3	36,2	36,4	35,7	35,6	35,7	35,2	35,2	35,2	0,0002
19	38,1	38,0	38,2	37,6	37,5	37,6	37,0	37,0	37,0	0,0002
20	38,1	38,0	38,3	37,6	37,5	37,6	37,0	37,0	37,0	0,0002
21	38,1	37,9	38,2	37,5	37,5	37,5	37,0	37,0	37,0	0,0002
22	42,9	42,7	42,8	42,2	42,1	42,2	41,7	41,7	41,7	0,0002
23	45,7	45,5	45,7	45,0	44,9	45,0	44,5	44,5	44,5	0,0002
24	47,8	47,6	47,8	47,2	47,1	47,1	46,6	46,6	46,6	0,0002
25	47,8	47,6	48,0	47,2	47,1	47,2	46,7	46,7	46,7	0,0002
26	52,5	52,3	52,5	51,8	51,7	51,8	51,2	51,3	51,3	0,0659
27	57,1	56,9	57,1	56,5	56,4	56,5	55,9	55,9	55,9	0,0002
28	57,1	56,9	57,1	56,5	56,5	56,5	56,0	0,2	28,1	0,0002
29	61,8	61,7	61,8	61,1	61,1	61,2	60,6	60,7	60,7	0,0659
30	66,5	66,3	66,3	65,8	65,8	65,8	65,4	65,3	65,3	0,0659

Fuente 59 Elaboración Propia

Tabla 25 Mezcla de combustibles para un MCI Error sistemático (Ajustado)

Mezcla de combustibles para un MCI (Ajustado)					
Error sistemático (Ajustado)					
E1 - S1 - T1 - °C	E2 - S2 - T2 - °C	E3 - S3 - T3 - °C	E4 - S4 - T4 - °C	E5 - S5 - T5 - °C	E6 - S6 - T6 - °C
0,7	0,7	0,8	0,3	0,2	0,3
0,7	0,7	0,8	0,2	0,1	0,2
0,8	0,7	0,8	0,3	0,2	0,3
0,9	0,7	1,0	0,4	0,3	0,4
0,7	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,7	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,7	1,0	0,3	0,2	0,2
0,9	0,7	1,0	0,4	0,3	0,4
0,7	0,7	0,8	0,2	0,1	0,2
0,8	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
0,9	0,8	1,0	0,4	0,2	0,4
0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,2
0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
0,8	0,7	0,9	0,3	0,2	0,2
0,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,3
0,7	0,7	0,9	0,2	0,1	0,2
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
0,9	0,8	1,1	0,4	0,3	0,4
0,9	0,7	1,0	0,3	0,3	0,3
1,0	0,8	0,9	0,4	0,3	0,4
1,0	0,8	1,0	0,4	0,3	0,4
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,6
1,2	1,0	1,4	0,6	0,5	0,6
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,7
1,3	1,1	1,3	0,7	0,6	0,7
1,2	1,0	1,2	0,7	0,6	0,6
1,3	1,1	1,1	0,5	0,5	0,6
1,3	1,1	1,1	0,6	0,5	0,5

Fuente 60 Elaboración Propia

Tabla 26 Comparativo Mezcla de Combustibles para un MCI Inicial y Ajustado.

Puntos	Media (Inicial)	Media (Ajustada)
1	6,1	5,7
2	8,4	7,8
3	10,7	10,0
4	13,1	12,2
5	13,7	12,7
6	14,8	13,8
7	15,3	14,2
8	15,4	14,3
9	18,4	17,1
10	20,4	18,9
11	22,1	20,5
12	23,0	21,3
13	26,0	24,1
14	25,5	23,7
15	29,9	27,8
16	29,9	27,8
17	34,8	32,4
18	37,8	35,2
19	39,8	37,0
20	39,8	37,0
21	39,8	37,0
22	44,8	41,7
23	47,8	44,5
24	50,1	46,6
25	50,2	46,7
26	55,2	51,3
27	60,1	55,9
28	30,2	28,1
29	65,3	60,7
30	70,3	65,3

Fuente 61 Elaboración Propia

Tabla 27 Calculo del Total Volumen consumido (ml)

No	Tiempo (s)	RPM	Masa Total (g)			Total Volumen consumido (ml)	
			Mi (g)	Mf (g)	Mi - Mf (g)	Densidad Gasolina (g/l)	Volumen Consumido (ml)
1	70	2000	3894	3881	13	690	18,84
2	70	2000	3894	3885	9	690	13,04
3	70	2000	3885	3880	5	690	7,25
4	70	2000	3880	3864	16	690	23,19
5	70	2500	3864	3860	4	690	5,80
6	70	2500	3860	3855	5	690	7,25
7	70	2500	3855	3850	5	690	7,25
8	70	2500	3850	3841	9	690	13,04
9	70	3000	3841	3837	4	690	5,80
10	70	3000	3837	3830	7	690	10,14
11	70	3000	3830	3825	5	690	7,25
12	70	3000	3825	3816	9	690	13,04
13	70	3500	3816	3809	7	690	10,14
14	70	3500	3809	3804	5	690	7,25
15	70	3500	3804	3796	8	690	11,59
16	70	3500	3796	3786	10	690	14,49

Fuente 62 Elaboración Propia

Tabla 28 Medición de las Temperaturas

Medición de las Temperaturas					
No	T2	T3	T4	T5	T6
1	48	189	31	33	54
2	49	196	31	33	53
3	49	199	31	33	50
4	50	202	31	33	50
5	50	208	32	33	50
6	50	208	32	33	50
7	50	207	32	33	50
8	51	208	32	33	50
9	51	208	32	33	51
10	51	207	32	33	51
11	51	207	32	33	51
12	51	208	32	33	51
13	52	209	32	33	51
14	52	209	32	33	51
15	52	209	33	33	51
16	52	209	33	33	51

Fuente 63 Elaboración Propia

Tabla 29 Calculo de la Eficiencia Térmica

Calculo de la Eficiencia Térmica							
No	Calculo del Qin			Calculo del Qout		Eficiencia Térmica	Diferencia Qin - Qout
	Cv (aire) [kJ/(kg*K)]	Diferencia T3-T2	Qin	Diferencia T6-T5	Qout		
1	0,69	141	97,29	21	14,49	85,11%	82,80
2	0,69	147	101,43	20	13,80	86,39%	87,63
3	0,69	150	103,50	17	11,73	88,67%	91,77
4	0,69	152	104,88	17	11,73	88,82%	93,15
5	0,69	158	109,02	17	11,73	89,24%	97,29
6	0,69	158	109,02	17	11,73	89,24%	97,29
7	0,69	157	108,33	17	11,73	89,17%	96,60
8	0,69	157	108,33	17	11,73	89,17%	96,60
9	0,69	157	108,33	18	12,42	88,54%	95,91
10	0,69	156	107,64	18	12,42	88,46%	95,22
11	0,69	156	107,64	18	12,42	88,46%	95,22
12	0,69	157	108,33	18	12,42	88,54%	95,91
13	0,69	157	108,33	18	12,42	88,54%	95,91
14	0,69	157	108,33	18	12,42	88,54%	95,91
15	0,69	157	108,33	18	12,42	88,54%	95,91
16	0,69	157	108,33	18	12,42	88,54%	95,91

Fuente 64 Elaboración Propia

## Bibliografía

- Aguilar, W., & Triana, G. (2019). *Evaluación Energética y de Emisiones de un Motor de Combustión Interna de Encendido por Compresión Alimentado con Mezclas de Diesel y Propano sin Precalentar*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria los Libertadores.
- Baez, J., & Suarez, M. (2021). *Análisis térmico de un motor Monocilindrico de 9HP estacionario*. Bogotá, Colombia: Universidad ECCI.
- Bautista, M. (2009). *Manual de Metodología de Investigación*. Caracas: Talitip.
- Buendía, J., & Arias, G. (2020). *Diseño de una herramienta de cálculo para evaluar la confiabilidad metrológica del sistema térmico y gravimétrico del motor de combustión interna de la UAN-Sede Puerto Colombia*. Puerto Colombia, Colombia: Universidad Antonio Nariño.
- Campuzano, S. (2019). *Comparación de Parámetros de Desempeño de un Motor de Ignición por Compresión Con Sustitución de Diésel-Gas Natural a Condiciones Ambientales de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Libre de Colombia.
- Castillo, J., & Restrepo, Á. (2019). Estrategias de eficiencia energética en vehículos livianos del transporte por carretera en Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 129–140.
- Consuegra, F. (2019). *Desarrollo de un modelo predictivo para motores de encendido provocado operando con gasolina, con el fin de predecir potencia de salida, torque y consumo específico*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.
- Cornejo, L., & Velasquez, D. (2020). *Determinación de Ciclos Termodinámicos en Motores de Encendido Provocado de Vehículos de Categoría M1 en Ciclos de Conducción Reales*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Escobar, F. (2022). *Evaluación de un Motor Otto Experimental de Baja Cilindrada Bajo Diferentes Porcentajes de Mezcla Gasolina-Etanol A 2850 MSNM*. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- González, R., & Rodríguez, Y. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24-32.
- laplace.us.es. (2015). Obtenido de [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto)
- Miranda, K. (2020). *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, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Miranda, K. (2020). *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, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

- montes.upm.es. (2018). Obtenido de <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo2p/otto.html>
- Morocho, J., & Nagua, J. (2019). *Análisis del Comportamiento de Motores de Combustión Interna Ciclo Otto y Diésel Durante el Efecto Producido por Averías en el Sistema Electrónico*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- motor.es. (2020). Obtenido de <https://www.motor.es/que-es/ciclo-otto>
- Nunige, O. (2018). *Evaluación y Comparación de Métodos de Medición Consumo de Combustible para Laboratorio y Ruta en un Vehículo Liviano*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Obando, J. (2017). *Diseño del Sistema de Balanceo de un Motor de Combustión Mono-Cilíndrico para Operar con Combustibles Múltiples y de Encendido por Compresión o por Chispa*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Olarte, L. (2023). *Sistema tolerante a fallas para el sensor de oxígeno de un motor de combustión interna*. Morelos, México: Universidad Tecnológica nacional de México.
- Pacheco, A. (2017). *Metodología crítica de la investigación*. Madrid: CECSA.
- Peteraf, T. (2012). *Administración Estratégica*. México: Mc-Graw Hill.
- Quezada, N. (2029). *Metodología de la Investigación*. México: Macro.
- Sanchez, A. (2017). *Técnicas de Mantenimiento Predictivo. Metodología de Aplicación en las Organizaciones*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Sánchez, S. (2018). *Caracterización de Curvas de Presión en Motores de Combustión Interna por medio de ANSYS*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria los Libertadores.
- Sanz, S. (2007). *Motores: Mantenimiento de Vehículos Autopropulsados*. Madrid, España: Editex S.A.
- Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Colombia: Mc-Graw Hill.
- uan.edu.co. (2022). Obtenido de <https://www.uan.edu.co/ingenieria-industrial-plan-de-estudio/presencial>
- Viloria, B., & Melo, D. (2022). *Instrumentación y evaluación termo-mecánica de un motor de combustión interna monocilíndrico para fines investigativos*. Puerto Colombia, Colombia: Universidad Antonio Nariño.
- Yuni, J. (2018). *Técnicas para Investigar*. México: Brujas.