

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:
**“DETERMINACIÓN DE CICLOS TERMODINÁMICOS EN
MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO DE VEHÍCULOS DE
CATEGORÍA M1 EN CICLOS DE CONDUCCIÓN REALES”**

AUTORES:

LUIS ANDRÉS CORNEJO NARVÁEZ
DIEGO FERNANDO VELÁSQUEZ MOROCHO

TUTOR:

ING. CRISTIAN LEONARDO GARCÍA GARCÍA, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Luis Andrés Cornejo Narváez con documento de identificación N° 0105462527 y Diego Fernando Velásquez Morocho con documento de identificación N° 0105764872, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “**DETERMINACIÓN DE CICLOS TERMODINÁMICOS EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO DE VEHÍCULOS DE CATEGORÍA M1 EN CICLOS DE CONDUCCIÓN REALES**”, mismo que ha sido desarrollado para optar el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

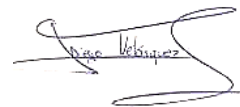
En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero de 2020



.....
Luis Andrés Cornejo Narváez

C.I. 0105462527



.....
Diego Fernando Velásquez Morocho

C.I. 0105764872

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN DE CICLOS TERMODINÁMICOS EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO DE VEHÍCULOS DE CATEGORÍA M1 EN CICLOS DE CONDUCCIÓN REALES”**, realizado por Luis Andrés Cornejo Narváez y Diego Fernando Velásquez Morocho, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero de 2020



.....
Ing. Cristian García García, MsC.

C.I. 0103898318

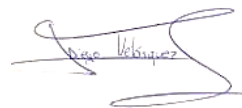
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Luis Andrés Cornejo Narváez con documento de identificación N°. 0105462527 y Diego Fernando Velásquez Morocho con documento de identificación N° 0105764872, autores del trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN DE CICLOS TERMODINÁMICOS EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO DE VEHÍCULOS DE CATEGORÍA M1 EN CICLOS DE CONDUCCIÓN REALES”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero de 2020



.....
Luis Andrés Cornejo Narváez
C.I. 0105462527



.....
Diego Fernando Velásquez Morocho
C.I. 0105764872

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y la oportunidad de culminar esta etapa.

Un sincero y profundo agradecimiento a nuestro tutor de Tesis Ing, Cristian García, por compartir su valioso tiempo, conocimientos y recomendaciones para que este proyecto sea fructuoso.

A mi querida madre, que siempre me ha estado apoyando incondicionalmente y de manera especial en la realización de este trabajo.

A mis queridos abuelitos: Rosa y Luis Sixto que siempre me apoyaron moralmente con sus sabios consejos.

A mis queridas tías y tíos: Patricia, Cecilia, Leandro y Wilson que siempre me apoyaron para terminar mis estudios universitarios.

A mis primos y prima: Patricio, Pedro y Viviana por darme todo el apoyo moral.

A mi compañero de tesis Diego, con quien hemos afrontado muchas dificultades y nuevas oportunidades en la elaboración de este proyecto.

A mis amigos en general, quienes me han brindado todo su apoyo para culminar esta etapa en mi vida.

Luis Andrés Cornejo Narváez

DEDICATORIA

A mi madre y toda mi familia en general por apoyarme todos estos años de estudio.

A la memoria de mi abuelita: Rosa Eumelia Narváez, quien me guio y cuidó de mí desde el cielo.

Luis Andrés Cornejo Narváez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxitos mis metas propuestas.

Un sincero y profundo agradecimiento a nuestro tutor de Tesis Ing. Cristian García, por compartir su valioso tiempo, conocimientos y recomendaciones para que este proyecto sea fructuoso.

Gracias a mis padres, Mauro Velásquez y María Morocho por ser el pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron en el transcurso de todo este tiempo.

A mi hermano Byron Velásquez que siempre confió en mí y me apoyo moralmente.

A mi esposa Jennifer Cáceres y mi hija Emilia Velásquez que siempre me apoyaron moralmente en las instancias finales para terminar mis estudios universitarios.

A mi compañero de tesis Andrés, con quien hemos afrontado muchas dificultades y nuevas oportunidades en la elaboración de este proyecto.

A mis amigos en general, quienes me han brindado todo su apoyo para culminar esta etapa en mi vida.

Agradezco a todos los docentes que, con su sabiduría, conocimientos, incentivaron a desarrollarme con persona y profesional en la Universidad Politécnica Salesiana.

Diego Fernando Velásquez Morocho

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis queridos padres, Mauro Velásquez y María Morocho por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y el privilegio enorme de ser su hijo, son los mejores padres.

Diego Fernando Velásquez Morocho

RESUMEN

El presente proyecto de investigación presenta una metodología para la determinación de ciclos termodinámicos en los motores de combustión para vehículos M1, en función de un análisis termodinámico, utilizando para este efecto la información proporcionada por los sensores que posee el sistema de control electrónico de un motor Otto. Se determinan los parámetros de funcionamiento que influyen de forma directa en el desempeño del motor como son consumo de combustible, temperatura de funcionamiento, entre otros, para lo cual es indispensable adquirir los datos a bordo en vehículos (OBD II) y almacenar los datos, para luego realizar un análisis de estos y también se establece un proceso técnico para realizar las pruebas de manera estándar con el objetivo de obtener las variables necesarias para el cálculo de los parámetros del motor. Se obtiene como resultados de la investigación, una relación entre los parámetros medidos y los que indican la literatura para el motor de explosión interna en el cual se realizaron las pruebas. El proyecto de investigación plantea realizar un análisis de los elementos que influyen en los diagramas de los ciclos termodinámicos del motor en los automóviles de categoría M1.

El fundamento teórico del proyecto se basa en análisis de la información referente al desarrollo de investigaciones sobre el cálculo de los parámetros del motor y de esta forma facilitar el desarrollo del proyecto con la compilación de información desde distintas fuentes como: libros., sitios web artículos científicos entre otros.

Se usa un método descriptivo y científico con la finalidad de determinar los equipos y herramientas de medición que se utiliza en el proyecto, donde se describe el automóvil que se utiliza en la adquisición de datos, los protocolos para realizar las pruebas y la metodología de adquisición de datos tanto para la medición de los diferentes parámetros utilizados.

Palabras claves: *ciclos termodinámicos, motores de combustión, parámetros influyentes, metodología.*

ABSTRACT

This research project presents a methodology for the determination of thermodynamic cycles in combustion engines for M1 vehicles, based on a thermodynamic analysis, using for this purpose the information controlled by the sensors that the electronic control system of an engine has Otto. The operating parameters that directly influence the engine performance are determined, such as fuel consumption, operating temperature, among others, for which it is essential to acquire the data on board in vehicles (OBD II) and control the data, to then carry out an analysis of these and also a technical process is established to perform the tests in a standard way in order to obtain the necessary variables for the calculation of the motor parameters. It is obtained as results of the investigation, a relationship between the measured parameters and those indicated in the literature for the internal combustion engine in which the tests are held. The research project proposes an analysis of the factors that influence the diagrams of the thermodynamic cycles of the engine in cars of category M1.

The theoretical basis of the project is based on the analysis of information regarding the development of research on the calculation of engine parameters and thus facilitate the development of the project with the collection of information from different sources such as: books, websites articles Scientists among others.

A descriptive and scientific method is used in order to determine the measurement equipment and tools used in the project, which describes the car used in the acquisition of data, the protocols for testing and the acquisition methodology. of data for both the measurement of the different parameters used.

Keywords: *thermodynamic cycles, combustion engines, influential parameters, methodology.*

ÍNDICE

Introducción	1
Problema	2
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
CAPÍTULO I	4
<i>Estudio computarizado de un sistema matemático para obtener de manera exacta valores de pérdidas de calor y trabajo en el motor de combustión.</i>	4
1.1 Antecedentes	5
1.2 Termodinámica	6
1.3 Ciclos Termodinámicos	7
1.4 Creación de la mezcla en MCI	11
1.5 Encendido provocado en los motores combustión.	12
1.6 Ciclos de manejo	16
1.7 Sistema de diagnóstico a bordo OBD II	17
1.8 Sensores Automotrices	17
1.9 Parámetros de identificación (PIDs)	18
1.10 Categoría de Vehículos M	19
1.11 Investigaciones Previas	20
1.12 Unidad de pruebas	22
1.13 Adquisición y almacenamiento de los datos OBD II mediante Freematics One+	22
1.14 Pruebas	28
CAPÍTULO II	33
<i>Modelo matemático general para determinar los valores de trabajo, pérdida de calor en tiempos reales de conducción.</i>	33
2.1 Estimación de los parámetros indicados del motor.	34
CAPÍTULO III	47
<i>Causas que provocan las pérdidas de calor y de trabajo en motor de</i>	

<i>combustión interna.</i>	47
3.1 Incidencia de las condiciones atmosféricas en el trabajo de un motor.	48
3.2 Incidencia de la temperatura sobre el trabajo del motor.	51
<i>Conclusiones</i>	54
<i>Recomendaciones</i>	55
<i>Bibliografía</i>	56
ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Diagramas p–V de un MCIA (izquierda) y de una máquina de vapor (derecha).</i>	6
<i>Figura 1.2. Ciclo de Carnot dibujado en un diagrama T-s (izquierda) y p-V (derecha)</i>	7
<i>Figura 1.3. Ciclo aire a volumen constante</i>	8
<i>Figura 1.4. Ciclo teórico aire combustible</i>	10
<i>Figura 1.5. Ciclo real aire combustible.</i>	10
<i>Figura 1.6. Sistema de admisión de aire</i>	12
<i>Figura 1.7. Fases de funcionamiento del motor</i>	14
<i>Figura 1.8. Ciclo de conducción en una ciudad de Latinoamérica</i>	16
<i>Figura 1.9. Freematics One +</i>	23
<i>Figura 1.10. Conexión de Freematics One +</i>	23
<i>Figura 1.11. Parámetros evaluados en el vehículo usando Freematics One +</i>	28
<i>Figura 1.12: Esquema de flujo para el muestreo.</i>	29
<i>Figura 1.13: Flujograma prueba dinámica de potencia.</i>	31
<i>Figura 1.14. Datos obtenidos del software Matlab.</i>	32
<i>Figura 2.1: Declaración de las variables.</i>	40
<i>Figura 2.2: Comportamiento de las rpm en función del % de apertura y presión. Fuente : Autores.</i>	41
<i>Figura 2.3: Esquema volumen -presión del ciclo ideal del motor.</i>	43
<i>Figura 2.4: Esquema volumen-presión del ciclo real del motor.</i>	44
<i>Figura 2.5: Comparación de potencia.</i>	45
<i>Figura 2.6. Programa para calcular los parámetros del motor .</i>	46
<i>Figura 3.1: Esquema del % de humedad relativa.</i>	49
<i>Figura 3.1.2: Potencia con diferentes IAT.</i>	51
<i>Figura 1.3: Calor disipado por el refrigerante.</i>	53

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Modo de operación</i>	18
<i>Tabla 1.2: Ejemplos PIDs utilizados</i>	19
<i>Tabla 1.3. Características del vehículo de pruebas</i>	22
<i>Tabla 1.4. Propiedades del Freematics One+.</i>	24
<i>Tabla 1.5. Conceptos de ajustes de combustible SFT y LFT.</i>	27
<i>Tabla 1.6. Parámetros de electrónica del motor.</i>	28
<i>Tabla 2.1: Variables del motor Chevrolet Aveo</i>	34
<i>Tabla 2.2: Datos obtenidos de la prueba dinámica en ruta</i>	34
<i>Tabla 2.3: Parámetros del motor con diferentes IAT</i>	44
<i>Tabla 2.4: Resultados de las pruebas</i>	46
<i>Tabla 3.1: Resultados eficiencia volumétrica.</i>	50
<i>Tabla 3.2: Condiciones del motor.</i>	52

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los avances en automoción han tenido un gran impacto positivo en el desarrollo de nuevas tecnologías, con el objeto de adquirir mayor confiabilidad y mejorar las prestaciones de los motores de explosión reduciendo la emisión de gases contaminantes. También se han desarrollado tecnologías que faciliten el diagnóstico del automóvil con la implementación de nuevos sistemas electrónicos de control.

La implementación de nuevas tecnologías en el vehículo permite monitorear en tiempo real los elementos que intervienen en el motor y los diferentes sistemas auxiliares, como el diagnóstico a bordo (OBD II) que es un sistema que permite obtener la señal de funcionamiento de los sensores que influyen para que el motor tenga un buen desempeño, facilitando el diagnóstico y con esto acortando los tiempos de reparación

Este proyecto se fundamenta en utilizar los datos provenientes del sistema OBD II y mediante un análisis determinar los diferentes sensores que poseen mayor influencia en el desempeño del motor al realizar diferentes recorridos por la ciudad de Cuenca, Ecuador. Los datos que proporciona el sistema OBD II pueden ser utilizados para diversos resultados como, por ejemplo, se puede analizar comportamiento del automóvil de acuerdo a la forma de conducir de una persona.

Ciclo Termodinámico: Se denomina ciclo termodinámico a cualquier serie de procesos termodinámicos tales que, al transcurso de todos ellos, el sistema regresa a su estado inicial; es decir, que la variación de las magnitudes propias del sistema se anula.

Pérdidas de Calor: la pérdida de calor es la energía térmica que se transfiere entre dos sistemas que contienen distinta temperatura al entran en contacto.

Trabajo Generado: El trabajo generado del motor es el sistema que entra en la compresión y el que sale en la expansión, a partir del cambio en la energía interna en esos procesos adiabáticos.

Vehículos M1: Son vehículos que se utilizan en el transporte de pasajeros y no contienen más de ocho asientos sin incluir el del asiento del conductor.

Eficiencia térmica: en una máquina térmica la eficiencia térmica es la razón entre el calor absorbido en el transcurso del ciclo y el trabajo neto que realiza la máquina.

PROBLEMA

Un motor de combustión tiene la característica de cumplir cuatro tiempos de trabajo que son: la admisión (1er), la compresión (2do), la explosión (3er) y el ultimo escape (4to). Los motores de los vehículos han tenido mejoras en varios aspectos, es así que la eficiencia de estos ha llegado a obtener valores desde el 10% que lograban los primeros motores, hasta hoy en día el 35% o hasta 40% (Villegas, 2007) (Payri, 2011).

El rendimiento de los motores no es el único aspecto que se ha mejorado, sino también el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas, diversas aplicaciones electrónicas, mejoras en los combustibles, materiales más ligeros y resistentes han conseguido potencias elevadas en estos motores, para lo cual es necesario adquirir los datos a bordo en vehículos (OBD II) y registrar dichos datos con una velocidad de muestreo de 50 Hz o mayor, a través de un técnica de adquisición de datos que debe incluir un dispositivo embebido conjuntamente con programación predeterminada. (Villegas, 2007) (HEM, 2009).

Las pérdidas de trabajo y calor en un vehículo son muy comunes, pero estas pueden ser analizadas para obtener diferentes métodos de análisis y observar cómo repercute en el vehículo y cuanto es el valor de pérdida en el trabajo y calor del vehículo en tiempos reales de conducción.

Para mejorar el desarrollo de la eficacia térmica de los motores de explosión interna, el motor ideal sería aquel que fuera perfectamente adiabático, esto es, que no exista intercambio de calor entre el sistema “motor” y el exterior para incrementar la efectividad en el gasto de combustible.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar los ciclos termodinámicos en tiempos reales de conducción.

Objetivos Específicos

- Estudio computarizado de un sistema matemático para obtener de manera exacta valores de pérdidas de calor y trabajo en el motor de combustión
- Realizar un modelo matemático general para determinar los valores de trabajo, pérdida de calor en tiempos reales de conducción.
- Establecer cuáles son las causas que provocan las pérdidas de calor y de trabajo en motor de combustión interna.

CAPÍTULO I

ESTUDIO COMPUTARIZADO DE UN SISTEMA MATEMÁTICO PARA OBTENER DE MANERA EXACTA VALORES DE PÉRDIDAS DE CALOR Y TRABAJO EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN.

El presente capítulo tiene como objetivo principal ofrecer los resultados del análisis bibliográfico elaborado con el objetivo de determinar la fundamentación teórica y práctica, que constituye el sustento teórico de la investigación. Para lo cual se consultó minuciosamente la literatura especializada y actualizada tanto nacional como internacional de acuerdo con un análisis lógico-secuencial previamente establecido para el desarrollo del presente marco teórico, haciendo énfasis sobre las definiciones principales, características relevantes y tendencias con respecto a los MCIA (Motores de Combustión Interna Alternativos) de los vehículos M1 y los ciclos termodinámicos.

1.1 Antecedentes

La mecánica de los motores ha tenido una gran evolución desde sus inicios dando lugar a los complejos motores actuales tal y como se conocen hoy en día. Los sistemas modernos de inyección, encargados de aportar el combustible al motor, son los encargados de variar la cantidad del combustible necesario en cada combustión en función de ciertos parámetros de trabajo del motor y el aumento del número de inyecciones por cada ciclo de trabajo. Esto ha originado que los motores tengan una mayor potencia y un mayor rendimiento, como pueden ser los de los automóviles. Además de esto, los complejos sistemas electrónicos contribuyen a este aumento de rendimiento. Existen además otros sistemas dentro del motor, que se ajustan a cada régimen de giro del motor atendiendo a parámetros como al reglaje de las emisiones de gases producidos por la combustión, fiabilidad e incluso confortabilidad.

Los MCIA al igual que las máquinas de vapor, desarrolladas en el siglo XVIII tienen en común algunas características, que consiste en ser máquinas volumétricas o de desplazamiento positivo, significando que el fluido de trabajo está en el interior un recinto delimitado por paredes móviles que, al desplazarse, modifican el volumen de la masa de fluido que se desplaza por los cilindros del motor (Figura 1). Los motores de explosión son ampliamente utilizados en la industria, la agricultura, la comunicación y transporte. Es la principal fuente de energía de automóviles, tractores, maquinaria agrícola, maquinaria de ingeniería, transporte marítimo, locomotoras, vehículos militares, movimiento y estaciones eléctricas de emergencia.

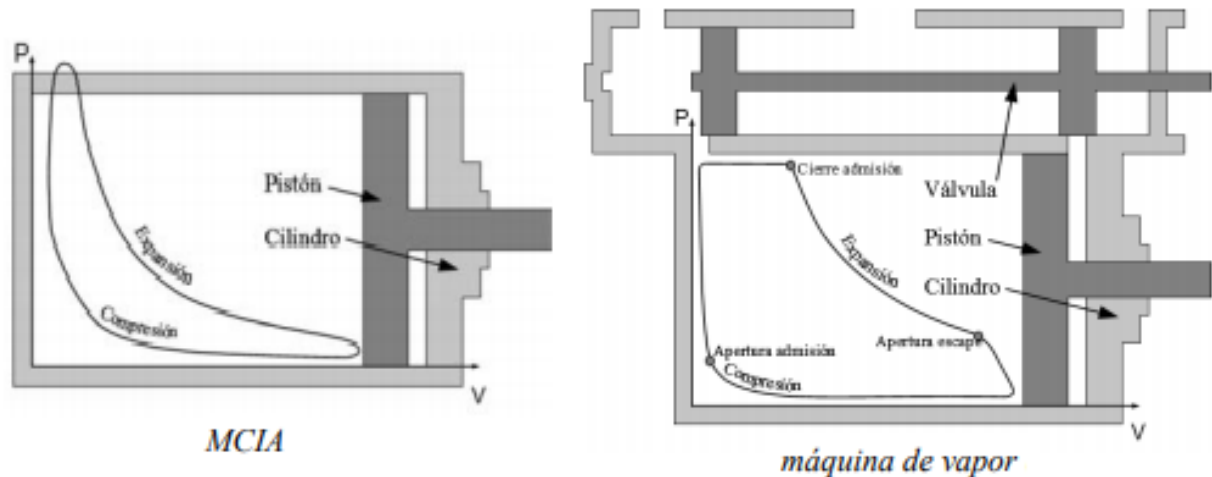


Figura 1.1. Diagramas p - V de un MCIA (izquierda) y de una máquina de vapor (derecha).

Fuente: Adaptado de (Payri, 2011)

A lo largo de la historia diferentes mejoras se produjeron, originados, por los avances en los materiales y en los dispositivos mecánicos, pero hasta bien avanzado el siglo XIX no se tenía una idea clara de la naturaleza de los procesos que permitían la obtención de energía mecánica, sino hasta cuando se desarrolla la Termodinámica.

La gestión térmica de los sistemas modernos en automoción se ha convertido en una tecnología transversal cuyo futuro tiende a trascender los límites del sistema de potencia y a convertirse, nombrándolos con un término más amplio, en sistemas de gestión energética (Romero, 2009).

1.2 Termodinámica

Para relacionar y determinar los conceptos termodinámicos, hay un gran número de trabajos en los que se ha realizado un análisis minucioso de acuerdo con el enfoque y nivel académico tratados. Por ejemplo, la utilización de los conceptos de energía y calor podemos encontrar en algunos textos, que se han originado de una gran cantidad de investigaciones (Quílez, 2014).

Por consiguiente, este punto es significativo dentro del rendimiento de los motores y se considera fundamental el estudio de la termodinámica y sus procesos relacionados con el funcionamiento del motor. La termodinámica es una ciencia fundamental en ingeniería que se ha desarrollado mediante diferentes métodos de observación empírica como de

experimentación. La definición más completa estudia el calor y todo tipo de formas de energía (mecánica, eléctrica, química, nuclear, etc.) (Müller, 2002).

A la par del avance de la tecnología los ingenieros se hallan en constante búsqueda de crear nuevos diseños y efectuar mejoras que permitan conseguir un aumento de rendimiento y eficiencia de los procesos, reduciendo el consumo y el impacto ambiental. Para alcanzar estos objetivos los principios termodinámicos tienen una gran importancia (Morán, 2004).

1.2.1 Procesos termodinámicos del modelo Otto:

Una sustancia se encuentra en equilibrio termodinámico al no experimentar cierto cambio en su estado, al verse sometida a condiciones de su alrededor. Una sustancia experimenta un proceso cuando una o más propiedades de un sistema varían, es decir, pasa de un estado a otro. Al analizar los procesos reales se determina que se ocasionan cambios en mayor parte de las propiedades, pero gracias a la termodinámica se estudian los procesos a través de modelos ideales, es decir, considerando que al menos una de las propiedades permanece constante (Faires, 1983).

1.3 Ciclos Termodinámicos

En este punto se hace reflexiones interesantes, para un estudioso de motores, las relacionadas con la descripción que se conoce como el ciclo de Carnot (Figura 2), que es la sucesión de una compresión isoterma (1--2), una compresión isotrópica (2--3), una expansión isoterma (3--4) y una expansión isotrópica (4--1) (Payri, 2011).

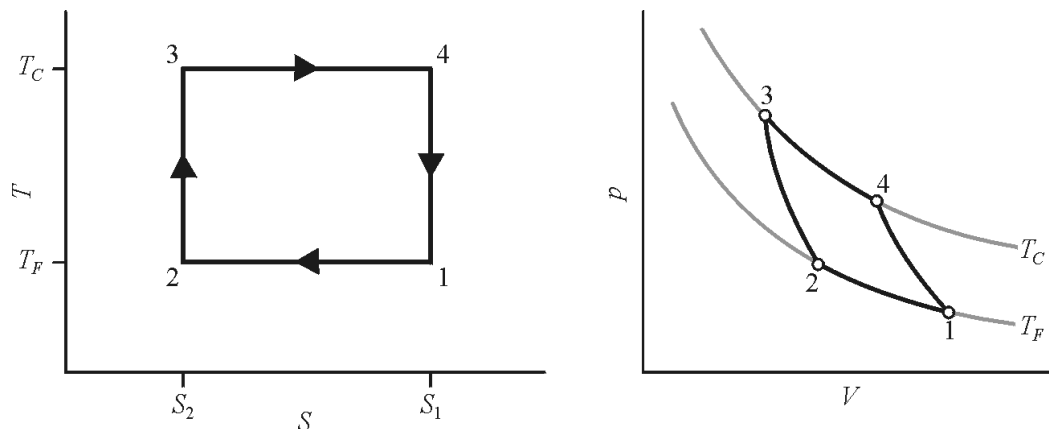


Figura 1.2. Ciclo de Carnot dibujado en un diagrama T-s (izquierda) y p-V (derecha)

Fuente: Payri P. F. & Desantes J. M. (2011)

1.3.1 Ciclo teórico

Es considerado como ciclo termodinámico elemental debido a que se realizan varias hipótesis para simplificar y facilitar el cálculo (Taylor, 1982); este ciclo es útil para realizar una comparación o tomar una referencia.

En el ciclo teórico aire-combustible se toma en consideración para el cálculo las propiedades del fluido más cercanas a la realidad, el rendimiento se calcula con ayuda de métodos numéricos, a diferencia del ciclo real que se estudia a partir del esquema de trabajo indicado (medidas de presión en el cilindro).

1.3.2 Ciclo aire a volumen constante

La adición de calor al fluido se realiza de forma instantánea cuando el pistón está en la parte superior al final del movimiento que comprime la mezcla.

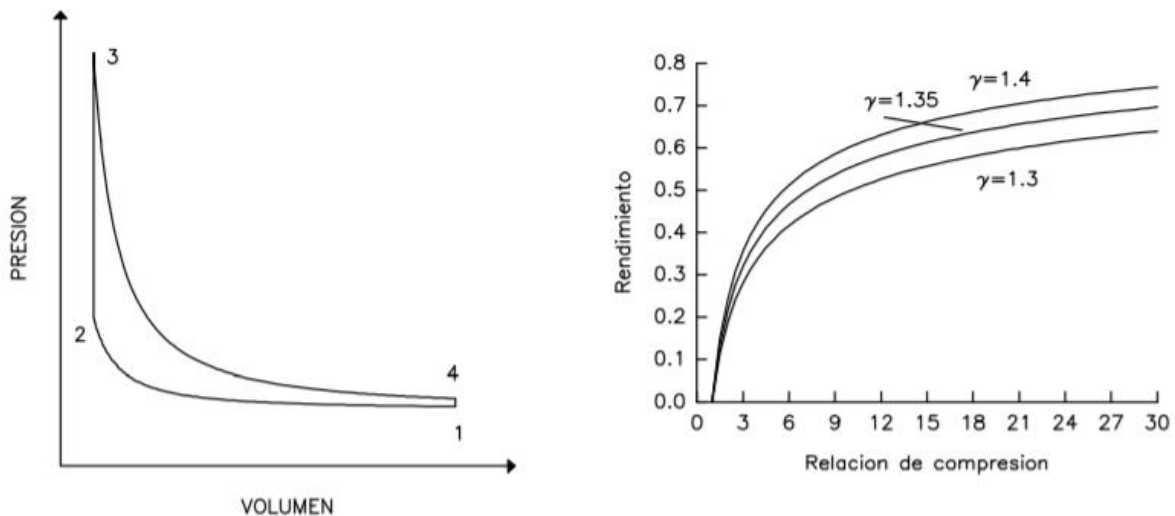


Figura 1.3. Ciclo aire a volumen constante

Fuente: (Taylor, 1982)

Para el cálculo se toma en consideración las siguientes hipótesis:

1. Se mantiene constante el calor específico del fluido.
2. La continuación de procesos es similar a las del motor real.
3. La relación de compresión es la misma.
4. La aportación de energía por unidad de masa tiene igual valor que en el proceso real.

5. La temperatura y presión son iguales al empezar la compresión en el proceso real.
Con las hipótesis antes mencionadas se puede obtener la eficiencia térmica con la ecuación 4.1

$$\eta = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}} \quad \text{Ec.(1.1)}$$

Donde:

η : Eficiencia térmica, %.

r_c : relación de compresión.

γ : índice adiabático.

1.3.3 Ciclo teórico aire combustible

La temperatura en este tipo de ciclo tiene influencia en el aumento del calor específico, lo cual es perjudicial para el rendimiento; es así que si a volumen constante el calor específico del gas se incrementa contribuyendo el mismo calor se adquiere una menor temperatura final con lo cual el rendimiento se disminuye.

$$Q = C_v(T_f - T_i) \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Donde:

Q : Calor del ciclo.

C_v : Calor específico a volumen constante.

T_f : Temperatura final

T_i : Temperatura inicial

$$C_v \text{ cte.} < C_v \text{ aire} < C_v \text{ aire-combustible}$$

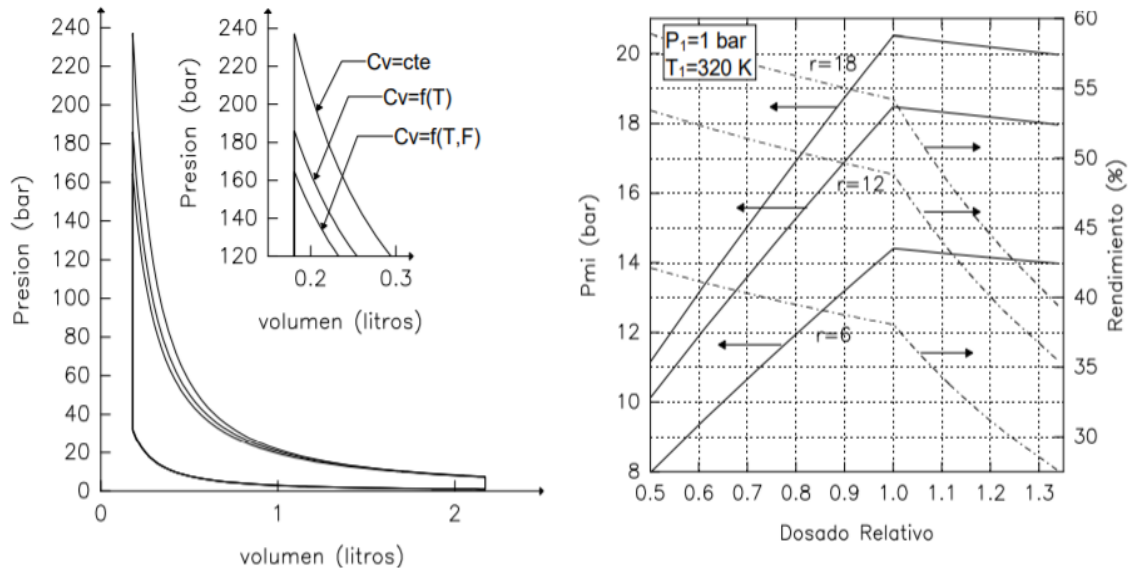


Figura 1.4. Ciclo teórico aire combustible

Fuente: (Salamea, 2017)

1.3.4 Ciclo real aire-combustible.

El ciclo aire-combustible refleja las condiciones de funcionamiento de un motor. Estas condiciones pueden ser representadas en un esquema P-V, el cual también se lo conoce como diagrama de funcionamiento indicado que se muestra en la figura 1.5.

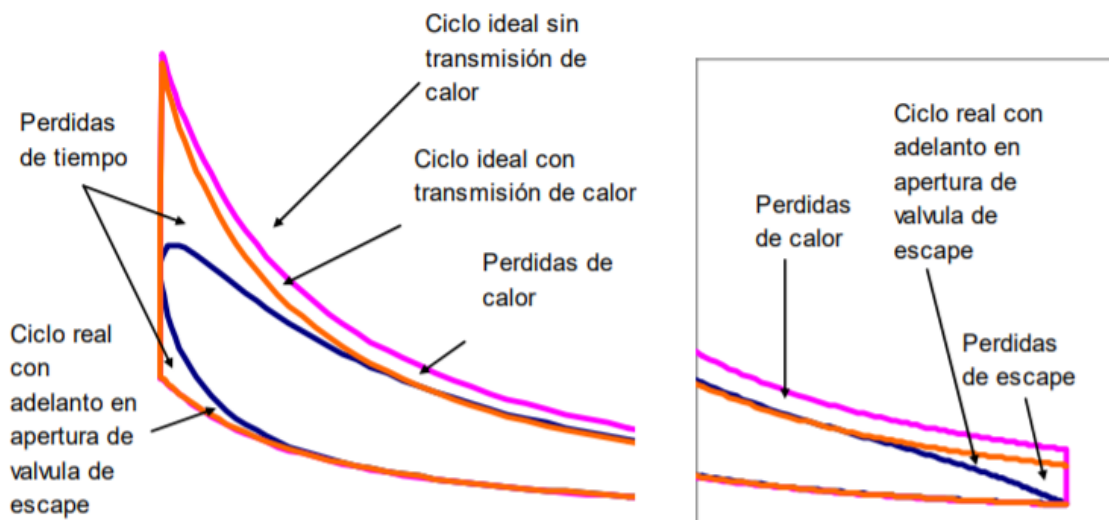


Figura 1.5. Ciclo real aire combustible.

Fuente: (Villegas, 2007)

1.3.5 Diferencias del ciclo teórico y ciclo real aire-combustible. Las discrepancias que hay entre el ciclo indicado con el ciclo teórico, tanto en los motores MCIA, son originadas por:

- **Pérdidas de calor.**_ las cuales son muy significativas en el ciclo real, ya que, al mantenerse el cilindro refrigerado, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del pistón la mayor parte de calor se transfiere a las paredes durante el proceso de combustión y escape siendo muy menor a lo que se produce durante la compresión. Sin embargo, cuando se realiza la admisión el calor se transfiere de forma inversa las paredes transfieren el calor al fluido.

- **Pérdidas por bombeo.**_ se supone que tanto en el escape como en la admisión se efectúan a presión constante, tomando en consideración que el fluido activo se desplaza por los conductos de admisión y escape sin ninguna restricción, en el ciclo real se generan pérdidas de carga debido al coeficiente de fricción, que causa una pérdida considerable de energía.

- **Pérdidas de tiempo.**_ estas dependen de diversos factores que influyen en el tiempo que, recorrido de la cámara, se toma en consideración las propiedades del combustible, el dosado, el tamaño y forma de la cámara de combustión, la ubicación de las bujías, número de bujías por cilindro y parámetros de operación del motor.

- **Combustión progresiva.**_ como la inflamación que se produce en la cámara no es de forma uniforme y progresiva la temperatura y presión varían durante el periodo de combustión, de esta forma el rendimiento también varía, generando una pérdida.

- **Fugas,** en motores nuevos bien calibrados son muy bajas y en los motores usados su presencia puede deberse a un mal cerrado de las válvulas de admisión o escape o también a un desgaste entre anillos, pistones y cilindros

- **Combustión incompleta,** originada por la detención de HC en uniformidades, depósitos o por falta de progresión en la llama.

1.4 Creación de la mezcla en MCIA

La manera en que se introduce un combustible líquido en los motores de ignición ha

ido evolucionando constantemente y, aunque para mucha gente es desconocido, el desarrollo del carburador y de los distintos sistemas de inyección de combustible se ha perpetrado de manera paralela desde los inicios de fabricación del motor.

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 variables de funcionamiento del motor, su rendimiento ha sido mucho mejor.

Para regular el caudal de aire se utiliza una válvula de mariposa, que está en el colector de admisión, y es accionada a voluntad del conductor por medio del pedal del acelerador. Esta mariposa ocasiona una pérdida de carga variable, de modo que aguas arriba la presión existente es aproximadamente la atmosférica, mientras que aguas abajo será siempre menor

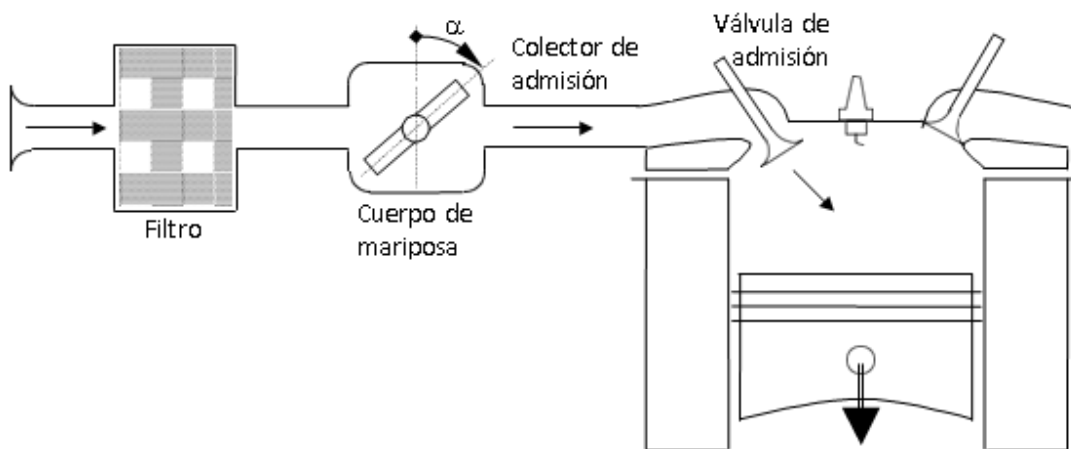


Figura 1.6. Sistema de admisión de aire

Fuente: (Salamea, 2017)

1.5 Encendido provocado en los motores combustión.

Los motores térmicos donde el movimiento del pistón se da por reacción que producen los gases durante el proceso de explosión que hace que el embolo se desplace en el interior del cilindro y este a su vez produzca el movimiento de rotación del cigüeñal se los denomina motores de combustión.

El encendido del motor es un sistema que produce y se encarga de distribuir de forma sincronizada la chispa de alta tensión hacia la bujía para generar el encendido provocado en un motor de chispa, tanto para motores de cuatro y dos tiempos (Payri, 2011).

1.5.1 Fases de encendido provocado.

El funcionamiento de un motor se basa en cuatro etapas, es decir necesita cuatro desplazamientos del émbolo (equivalente a dos vueltas completas del cigüeñal) para efectuar el ciclo termodinámico de combustión. Estas cuatro etapas son: admisión, compresión, combustión o explosión y escape.

Primer etapa o admisión: al descender el pistón aspira tanto el aire como el combustible en los motores de chispa. La válvula de admisión está abierta esta etapa a diferencia de la de escape que se mantiene cerrada.

Segunda etapa o compresión: cuando el pistón termina culmina la carrera de admisión se cierra la válvula de admisión, para comprimir el gas contenido en el cilindro esto se produce por el ascenso del embolo. En esta etapa el cigüeñal ya se da una vuelta completa (360°), además cabe mencionar que las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas.

Tercer etapa explosión/expansión: en el instante que el embolo llega al final de la carrera superior el gas alcanza su presión máxima, la combustión de la mezcla en la cámara es provocada por chispa de la bujía. Iniciado el frente de llama este se desplaza de manera instantánea aumentando la presión y temperatura al interior del cilindro, esto genera el desplazamiento del pistón. Esta es la única etapa en la que se consigue trabajo.

Cuarta etapa o escape: El pistón empieza a subir lo que hace que los gases producto de la combustión salgan expulsados por válvula de escape que está abierta. Al llegar el pistón al final de carrera de ascenso la válvula de escape se cierra y se repite el ciclo abriendo la válvula de admisión, (Salamea, 2017)

1.5.2 Balance térmico del motor.

Por lo general los balances de energía en los motores se efectúan bajo condiciones estacionarias estabilizadas, con lo que se avalan condiciones estables y la repetibilidad de los resultados. Pero hay que considerar que los motores de automóvil siempre están funcionando en condiciones variables de operación, lo que difiere de una secuencia de puntos de operación estabilizados.

Así mismo, al efectuar un balance térmico del motor partiendo de pruebas puntuales, aún representativas de condiciones de operación bajo ciclo de conducción, no resultan ser muy exactas y no consideran las fluctuaciones causadas por los procesos transitorios. De forma paralela se sabe que los ciclos normalizados son representativos de la utilización media que se les da a los vehículos por parte de los usuarios. Las mediciones registradas durante el ciclo permiten profundizar más en los caminos tomados por la energía, en comparación con las valoraciones realizadas mediante las mediciones efectuadas en los puntos de operación discretos y estabilizados .

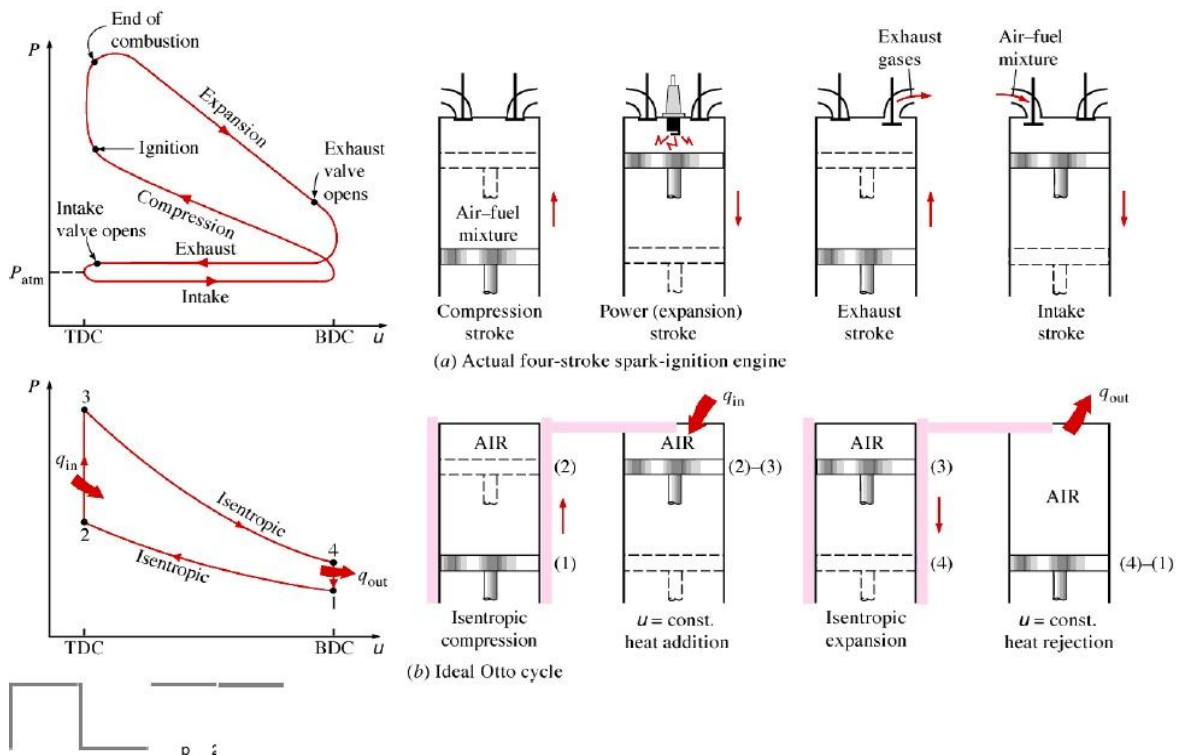


Figura 1.7. Fases de funcionamiento del motor

Fuente: (Villegas, 2007)

1.5.3 Energía interna.

La suma de las diversas formas de energía que tiene una molécula es la energía interna molecular “U”, “u”, o simplemente, energía interna. La cantidad de energía absoluta que un cuerpo tiene nunca se conoce, sin embargo, esto no tiene mayor importancia porque se pueden calcular los cambios de esta energía o medirla con respecto a un valor de referencia conveniente (FAIRES, y otros, 1983).

$$Q_{\text{entr}} + W_{\text{entr}} = Q_{\text{sal}} + W_{\text{sal}} \quad \text{Ec.(1.3)}$$

Donde:

Q_{entr} : Calor de entrada.

W_{entr} : Trabajo de entrada.

Q_{sal} : Calor de salida.

W_{sal} : Trabajo de salida.

La energía interna específica se representa mediante la letra “u” (para 1 unid. de masa)

$$\Delta_u = u_2 - u_1 \quad \text{Ec.(1.4)}$$

Donde:

Δ_u : Incremento de energía.

u_2 : Energía interna final.

u_1 : Energía interna inicial

La energía interna total se representa como “U” o “mu” (energía para m unidades de masa)

$$\Delta_U = U_2 - U_1 \quad \text{Ec.(1.5)}$$

Donde:

Δ_U : Incremento de energía total.

U_2 : Energía interna total final.

U_1 : Energía interna total inicial

1.5.4 Calor específico a volumen constante

En un gas ideal el calor es el cambio de energía interna (U) por unidad de masa y por grado de temperatura, cuando los estados finales son estados de equilibrio del mismo volumen (Faires, 1983).

Las unidades de C_v pueden ser: $[kcal/kg \cdot K]$ y $[kcal/kmol \cdot K]$, o $[BTU/lb \cdot R]$ y $[BTU/lbmol \cdot R]$

$$C_v = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v \quad \text{Ec.(1.6)}$$

Donde:

C_v : Calor específico a volumen constante.

v : Volumen del gas

1.6 Ciclos de manejo

Se define como ciclo de manejo a una serie de velocidades producidas en un plano tiempo -velocidad, que simula una forma representativa de conducir en una avenida o autopista, tomando en consideración la tecnología del vehículo, las condiciones del tráfico, de la calzada, condiciones climáticas, características geográficas como la altitud y características de los conductores (Dávalos, 2017).

Debido a la variabilidad de las condiciones de tráfico presentes durante el tránsito en una ciudad, se generan una gráfica diferente en cada recorrido. Por eso para este fin se emplean ciclos de conducción desarrollados internacionalmente. Estos ciclos permiten estandarizar las condiciones de la prueba, además de la repetición de una manera más precisa. Entre los ciclos más utilizados están: el FTP-75(USA), el ciclo europeo, el IM240 (Japón) y el 505MT.

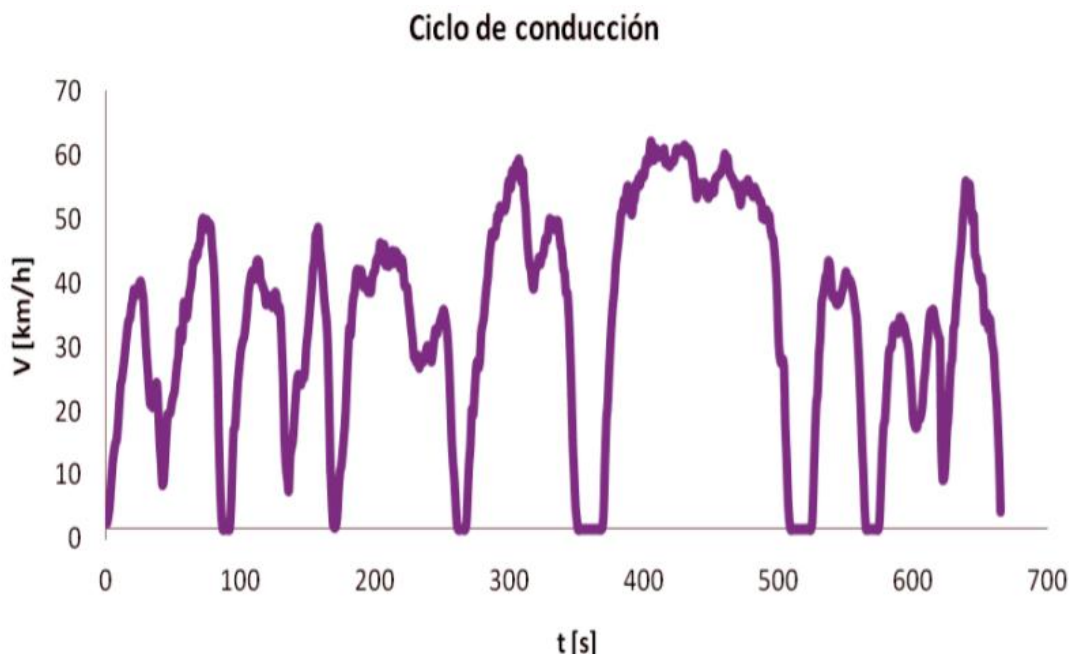


Figura 1.8. Ciclo de conducción en una ciudad de Latinoamérica

Fuente: (Restrepo, 2007)

1.7 Sistema de diagnóstico a bordo OBD II

Se OBD II es un mecanismo que refleja las variables que influyen en el desempeño del motor de forma continua, de esta manera se puede evaluar el correcto funcionamiento del automóvil mediante los distintos sensores que este posee.

El sistema OBD se encarga también de verificar la funcionalidad de los distintos sistemas con la gestión electrónica y no únicamente se encarga del motor, esto facilita el diagnóstico de fallos que pueden generarse en sistemas mecánicos y electrónicos del vehículo (Blasco, 2014).

Una adecuada interacción entre el sistema abordo y la unidad de control electrónico se efectúa por medio del protocolo, SAE-J1850 VPW; el cual basa su funcionamiento por medio de un ancho de pulso que es variable.

En la actualidad la mayoría de los automóviles disponen del sistema OBD II, que nos brinda algunas ventajas como: poder visualizar y registrar los datos de funcionamiento del automóvil e incluso realizar pruebas dinámicas de los diferentes actuadores, además de poder ver los códigos de fallos, borrarlos, entre otras.

1.8 Sensores Automotrices

Los sensores tienen algunas funciones como:

- Se encargan de controlar las condiciones de funcionamiento del automóvil
- Mediante diferentes mecanismos transforman una operación mecánica en una señal eléctrica y esta se transmite hacia la unidad de control.
- Son indispensables para que la ECU procese la información y realice la comparación con los valores de referencia predeterminados en su memoria, si los datos obtenidos están dentro del rango la ECU emite las señales a los actuadores para que estos realicen su operación cuando se requiera.
- Los sensores del auto son los que captan las diferentes magnitudes cuando este se encuentra en funcionamiento como: velocidad, número de rpm, posición del pedal de aceleración, temperatura del refrigerante, carga del motor, entre otras.
- Los sensores transforman de forma proporcional la magnitud detectada y luego la pasan

a una señal eléctrica según su principio de origen (Dávalos, 2017).

1.9 Parámetros de identificación (PIDs)

Representan los valores provenientes del estado de trabajo de los diferentes sensores que influyen el funcionamiento del automóvil. El estándar OBD-II SAE J1979 determina diez formas de operación que se pueden ver en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Modo de operación

Modo (hex)	Descripción
01	Detalla los parámetros disponibles.
02	Detalla los datos almacenados por evento.
03	Detalla los códigos de averías de diagnóstico. (Diagnostic Trouble Codes, DTC)
04	Elimina todos los datos que estén almacenados, incluyendo los códigos de averías. (DTC)
05	Datos de la prueba de sensores de oxígeno.
06	Datos de la prueba de componentes/sistema
07	Detalla los códigos de fallas (DTC) detectados durante el último ciclo de manejo o el actual.
08	Operación de control de los componentes/sistema a bordo.
09	Solicitud de información del automóvil.
0A	Códigos de averías permanentes (DTC).

Fuente: (SAE, 2014)

Según la SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) y de acuerdo estándar J1939 cada fabricante tiene la libertad de agregar todos los modos de operación o, también pueden añadir sus propios códigos de acuerdo con sus necesidades.

En la Tabla 1.2 se muestra algunos PIDs que pertenecen al modo 01 de operación, que pueden ser utilizados para obtener información de la ECU del motor, según las exigencias de las pruebas a realizar.

El escáner de uso automotriz sirve para comunicarse con el sistema OBD-II, lo cual permite

al técnico adquirir información o borrar los códigos de averías. Hay varios tipos de escáneres, los cuales tienen interfaces muy amigables y de fácil manipulación, usando descripciones y gráficos.

Tabla 1.2: Ejemplos PIDs utilizados

PI D	Byte s	Detalle	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad de medida	Fórmula de cambio
0B	1	Presión absoluta	0	255	kPa	A
0C	2	Revoluciones por minuto del motor	0	16,383.75	Rpm	(256A+B) /4
0D	1	Velocidad del auto	0	255	km/h	A
0F	1	Temperatura del aire de entrada	-40	215	°C	A-40
5	1	Temperatura del motor	-40	215	°C	A-40
6	1	Ajuste a corto plazo del combustible.	-100	99.2		
7	1	Ajuste a largo plazo del combustible.	Reducción de combustible	Aumento de combustible	%	A/1.28-100

Fuente: (SAE, 2014)

1.10 Categoría de Vehículos M

La clasificación de los vehículos según el Mercado Común del Sur (MERCOSUR), tomando en consideración las RESOLUCIONES DEL GRUPO MERCADO COMUN emite lo siguiente:

MERCOSUR/GMC/RES N° 35/94 - ANEXO: Reglamento Armonizado Clasificación de Vehículos, de donde se obtiene la clasificación de los vehículos tipo M (Sice.oas.org, 2019).

Categoría M: Vehículo automotor que tiene por lo menos 4 ruedas o que tiene 3 ruedas cuando el peso máximo excede 1 tonelada métrica, y es utilizado para transportar pasajeros.

Categoría MI: Vehículos que son utilizados para transportar pasajeros y que no disponen de más de 8 asientos sin incluir el asiento del conductor.

Categoría M1 (a): En esta categoría se hallan los vehículos que poseen de 3 o 5 puertas con ventanas laterales detrás del conductor, y estos no pueden exceder un peso máximo con carga de 3,5 toneladas, aunque son diseñados y contruidos especialmente para transportar pasajeros, se pueden transformar e utilizar para transportar carga.

Categoría M1 (b): son vehículos que se utilizan para el transporte de carga, pero pueden ser modificados con asientos fijos o replegables detrás del asiento del conductor para transportar pasajeros, además pueden ser equipados para suministrar viviendas móviles -en ambos casos- no se puede exceder un peso máximo 3.5. ton. con carga.

Categoría M2: Los vehículos que se utiliza en el transporte de pasajeros a partir de ocho asientos más el asiento del conductor, y que no excedan el peso máximo de 5 toneladas.

Categoría M3: Son vehículos que se usan en el transporte de pasajeros que contiene más de ocho sin incluir el asiento del conductor, y que contienen un peso máximo de 5 toneladas

1.11 Investigaciones Previas

Las pérdidas de calor y la transferencia de calor en los motores de combustión son un problema de gran interés por los efectos que tienen las pérdidas de calor hacia las paredes sobre la eficiencia termodinámica del proceso de transformar la energía, el incremento de temperatura tiene influencia sobre la conducta tribológica y la durabilidad de los componentes de la cámara de combustión y de manera particular el grupo pistón-cilindro (Kreith, 2012).

El ciclo de Otto es un modelo que se rige al motor de combustión a gasolina consta de cuatro desplazamientos del pistón, y comienza con la aspiración del aire y el combustible, luego se comprime la mezcla y se produce la combustión por chispa de ignición de manera inmediata manteniéndose el volumen constante y elevándose la presión. Una vez terminada la combustión los productos de esta se expanden y la presión y temperatura tienden a disminuir. Debido a los diversos factores que involucra el ciclo de potencia, los ingenieros han visto la necesidad de idealizar algunos procesos para facilitar el trabajo y obtener aproximaciones, que se las conoce como suposiciones de aire estándar. Tomando en cuenta las suposiciones de trabajo se considera al aire que circula como un gas ideal.

- Los procesos que conforman el ciclo son reversibles en su totalidad.
- La adición térmica desde una fuente externa reemplaza el proceso de combustión
- La eliminación térmica reemplaza el proceso de escape

En la rama de la termodinámica existen dos áreas elementales de aplicación como:

- La generación de potencia
- La refrigeración.

El estudio de estas aplicaciones se realiza a través de ciclos termodinámicos, los cuales se dividen en ciclos de refrigeración y potencia entre estos están el ciclo de Otto, Diesel, Stirling, Carnot, Brayton, Dual, Rankine y Ericsson (Alomá, 2007).

También los ciclos termodinámicos se pueden catalogar como ciclos abiertos y cerrados.

Ciclos abiertos

Si la sustancia de trabajo recircula, donde los productos de combustión escapan hacia el medio exterior.

Ciclos cerrados

Se denominan si la sustancia de trabajo regresa al estado de inicio.

Los motores de explosión que pertenece al grupo de las máquinas térmicas funcionan de modo que los gases producidos durante la combustión salen y son reemplazados por una nueva mezcla aire-combustible al terminar cada ciclo. La operación estándar de los motores de ignición se da de dos formas a volumen limitado o a presión limitada (Moran, 2004). Los motores de combustión interna a gasolina y Diesel están diseñados para trabajar en el modo de volumen limitado (Cengel, 2006).

Un punto importante para el diagnóstico de motores es conocer en tiempo real los parámetros de funcionamiento del vehículo es por eso que existe interés nacional e internacional en desarrollar proyectos que permitan ver y registrar el comportamiento de las variables que influyen el desempeño del motor como lo indica (Montero & Abril, 2012) se diseñó un dispositivo capaz de registrar la información del recorrido y el consumo que tiene.

También se puede adquirir los datos mediante STM32 (STM32 es una familia de circuitos integrados de microcontroladores de 32 bits de STMicroelectronics) como lo indica Xie en 2017 que todos los datos de comunicación para las redes CAN se pueden obtener con el interfaz OBD II, posterior al registro se analizan de forma preliminar los datos tomando en

cuenta el protocolo referente y luego se muestran en una pantalla led.

1.12 Unidad de pruebas

Para realizar las pruebas necesarias del proyecto se utiliza un vehículo Chevrolet Aveo 1.6, cuyos rasgos se indican en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Características del vehículo de pruebas

Descripción	Valor
Tipo	Sedán
Serie	LS
Potencia máx	103CV @ 5800 rpm
Torque máx	145 Nm @3600 rpm
Cilindraje	1598 cm ³
N° de cilindros	4
Relación de compresión	9.5
Sistema de distribución	DOHC
Válvulas por cilindro	4

Fuente: Autores.

1.13 Adquisición y almacenamiento de los datos OBD II mediante Freematics One+

El dispositivo Freematics ONE + funciona mediante algoritmos preestablecidos de Arduino y se enchufa al puerto OBD de un automóvil. Este dispositivo tiene la ventaja de funcionar de manera independiente y gracias a sus protocolos de conexión accede a los datos de la unidad de control del vehículo. Además, posee un sensor de movimiento con nueve grados de libertad y pueden conectarse algunos sensores externos. El registro de datos puede realizarse en tiempo real en una tarjeta microSD y también pueden ser transmitidos a través de Wifi, Bluetooth o se puede usar una red celular. En la figura 1.9 se puede observar el Freematics ONE + con sus elementos.



Figura 1.9. Freematics One +
Fuente: (Restrepo, 2007)

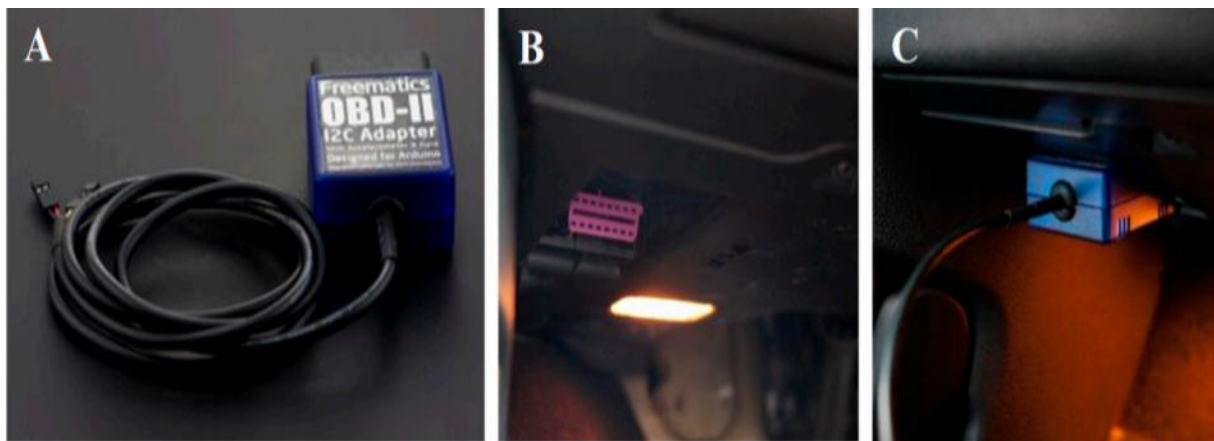


Figura 1.10. Conexión de Freematics One +
Fuente: (Restrepo, 2007)

Las propiedades técnicas del *Freematics ONE* + se detallan en la Tabla 1.4:

Tabla 1.4. Propiedades del Freematics One+.

Características del Freematics ONE +	
Procesador principal	Espressif ESP32
Transceptor	Construido HT40
Red inalámbrica	Bluetooth, dual
Suplemento	Co - procesador STM – 32
Sensor de movimiento	MPU – 9250
Módulo GPS	M8030 10Hz
Comunicación inalámbrica	SIM800L o SIM5360 de red móvil
Potencia del dispositivo	80 MHz: 20 mA (Wifi desactivado) 80 MHz: 50 mA (Wifi Funcionando) 80 MHz: 180 mA (3G Funcionando)

Fuente: (Gárate, 2018)

En el mercado existen dispositivos con similares características como el Ulbotech 102 o ELM 327, pero sin embargo el Freematics posee algunas ventajas:

- Programación de lenguaje libre (Arduino).
- Una frecuencia de muestreo considerable de 50 a 60 Hz.
- Se pueden registrar los datos de forma externa.
- Visualización de datos en tiempo real.
- Este dispositivo soporta algunos protocolos conexión, lo cual lo hace accesible a una gran cantidad de vehículos que circulan en el país.

En particular para el desarrollo del proyecto se programa el dispositivo de tal forma que solo registre los datos que serán de utilidad en el cálculo de los parámetros del motor y también con la finalidad de optimizar los recursos

Las señales que se obtienen del dispositivo Freematics One + son las que se indican a continuación.

1.13.1 Velocidad del auto

El sensor VSS (Vehicle Speed Sensor) es el que se encarga de registrar la velocidad del automóvil gracias a un receptor magnético que posee en su interior, este sensor a su vez informa al control electrónico del vehículo (ECU) para que realice los cálculos y muestre la velocidad en el odómetro.

Generalmente los valores de la velocidad de los vehículos que circulan por el país oscilan de 0 a 240 km/h, sin embargo, los entes de regulación han establecido el rango de 0 a 120 km/h que sería el máximo para registrar.

1.13.2 Revoluciones del motor (RPM)

El sensor CKP (Crankshaft Position Sensor) se encarga de registrar las revoluciones del motor mediante el movimiento de una rueda dentada que posee uno o más dientes perdidos, esta rueda se encuentra montada en el cigüeñal, y de esta forma captar la posición de los pistones cuando se desplazan dentro de los cilindros. La ECU puede realizar el cálculo de las revoluciones por minuto del motor con la señal proporcionada por sensor CKP.

1.13.3 Temperatura del refrigerante (ECT)

La temperatura del refrigerante es un factor crucial para el funcionamiento del motor y esta se controla por el sensor ECT (Engine Coolant Temperature), el cual posee una resistencia que varía su valor debido a la temperatura que se encuentre y puede ser de tipo NTC (Negative Temperature Coefficient). El sensor de temperatura tiene un rango de 0 a 5 v en su señal, la misma que es enviada a la ECU y está transformada la señal de voltaje en valores correspondientes de temperatura.

1.13.4 Temperatura de aire de admisión (IAT)

La temperatura del aire que ingresa al colector de admisión del motor se obtiene gracias al sensor IAT (Intake Air Temperature). La señal que entrega el IAT es una variación de voltaje que es enviada a la ECU para establecer las correcciones en el tiempo de inyección debido a que la densidad del aire cambia si existe variaciones en la temperatura.

1.13.5 Presión absoluta del múltiple (MAP)

El valor de la presión del múltiple se adquiere gracias al sensor MAP (Manifold Absolute Pressure), el mismo se encarga de medir el vacío que genera el motor mediante un piezoeléctrico, de acuerdo con el valor que entregue el MAP la ECU se encarga de dosificar la cantidad de combustible suministraran los inyectores . El voltaje de la señal del sensor MAP puede variar de 0.2 hasta 5 V y en valores de presión de 0 a 100 kPa.

1.13.6 Flujo de masa del aire (MAF)

Algunos modelos de vehículos poseen un sensor de flujo de masico en lugar del sensor MAP, el cual tiene la función de cuantificar la cantidad de masa de aire que entra al motor y con esto la ECU puede establecer la cantidad del volumen de aire que entra. El sensor está compuesto por un termistor y un alambre de platino que son controlados de forma electrónica.

1.13.7 Reajuste de Combustible.

Método que necesita la ECM para regular el tiempo de duración de la inyección con la facilidad obtener un mayor desempeño en las emisiones. Cuando la ECU se encuentra en lazo cerrado, modifica el tiempo de inyección final basado en la la señal del sensor de oxígeno. Se realizan estas correcciones para mantener la relación de mezcla estequiométrica aire-combustible. Sin embargo, si la corrección que se requiere sobrepasa los umbrales normales la ECU utiliza el reajuste de combustible para poder compensar la mezcla.

FT Corto.

Se da cuando se produce una adición o sustracción temporal en el tiempo de inyección. El FT Corto se depende del sensor de oxígeno y, por lo tanto, este sólo funcionaria en bucle cerrado. Si el valor del FT Corto se encuentra alrededor de 0%, se requiere una corrección mínima o nada en cambio cuando el valor del FT Corto es positivo, se incrementa el tiempo de inyección de combustible al contrario si el valor es negativo significa la ECU ha disminuido la inyección de combustible.

FT Largo.

Este no tiene una respuesta rápida y solo se utiliza cuando la ECU toma la decisión de utilizar el FT Corto para cambiar el FT Largo y este se guarda en la memoria porque es parte

del cálculo del tiempo de la inyección y este no se elimina cuando la llave de encendido está en off. Un porcentaje positivo significa que la ECM añade combustible, un porcentaje negativo, significa que está restando combustible.

La forma de trabajar del sistema es conocida como un “Close Loop” o “Lazo Cerrado”, que es cuando el sistema por si solo se autocorrigie.

Tabla 1.5. Conceptos de ajustes de combustible SFT y LFT.

SFT	Ajuste de combustible de corto alcance (%).
LFT	Ajuste de Combustible de largo alcance (%).

Fuente: Autores.

El *ajuste a corto plazo del combustible* (Short Term Fuel Trim), sirve para adecuar la mezcla aire_combustible de acuerdo con la señal que entrega el sensor de oxígeno. (Calderón, 2012)

La variación del ajuste se representa mediante porcentaje (%) que puede ser positivo o negativo. El rango de variación por lo general está entre + o - 10 %, sin embargo, cuando se producen grandes variaciones en el funcionamiento del motor el ajuste puede llegar a tener valores de +- 25 %, que es el límite antes de que se genere un código de falla.

Por otra parte, los valores del LTFT indican una advertencia de que el motor presenta un problema en su desempeño.

Una vez establecidas las limitaciones para la adquisición y el diseño del algoritmo que se encargara de registrar los datos del automóvil se procede a trabajar con las librerías del Arduino que podrían ser de utilidad y facilitar el trabajo con el Freematics One +, se definen los parámetros a identificar mediante programación en el IDE de Arduino y posteriormente se carga en el Freematics One +.

Los parámetros que se obtienen del motor se muestran en la tabla 1.6 donde se describe el parámetro y su magnitud.

Tabla 1.6. Parámetros de electrónica del motor.

PARÁMETRO	UNIDAD
RPM. Número de rpm del motor	r.p.m.
ECT. Temperatura del motor	Grados
IAT. Temperatura de aire de entrada al motor	Grados
MAP. Valor de la presión absoluta	mm Hg
TPS. Posición de mariposa	%
MAF. Medidor de flujo de aire	g/s
O2S. Sensor de oxígeno	Vóltios
VSS. Velocidad del automóvil	km/h

Fuente: Autores.

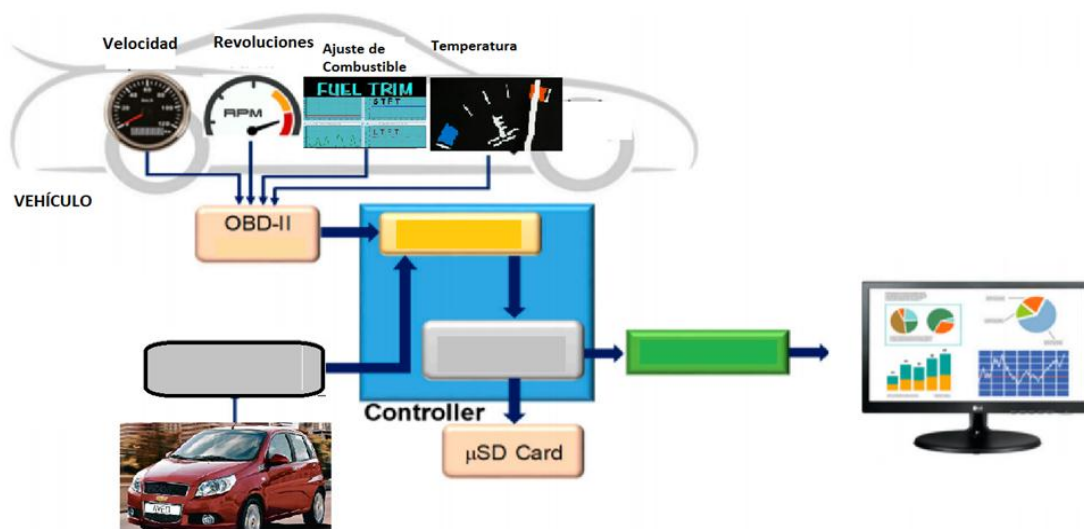


Figura 1.11. Parámetros evaluados en el vehículo usando Freematics One +

Fuente: Adaptado de (Boada, 2007)

1.14 Pruebas

Para efectuar el desarrollo de este proyecto de investigación, es necesario realizar dos tipos de pruebas: la primera etapa consiste en pruebas dinámicas en ruta, que se realizarán en diferentes recorridos preestablecidos; la segunda etapa consiste en pruebas dinámicas de banco, que se realizan en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS 3000. A continuación, se detallan las dos pruebas.

1.14.1 Prueba dinámica en carretera

Para registrar los datos de la prueba dinámica en carretera se utiliza el Freematics siguiendo el esquema de flujo que se indica en la figura 1.12.

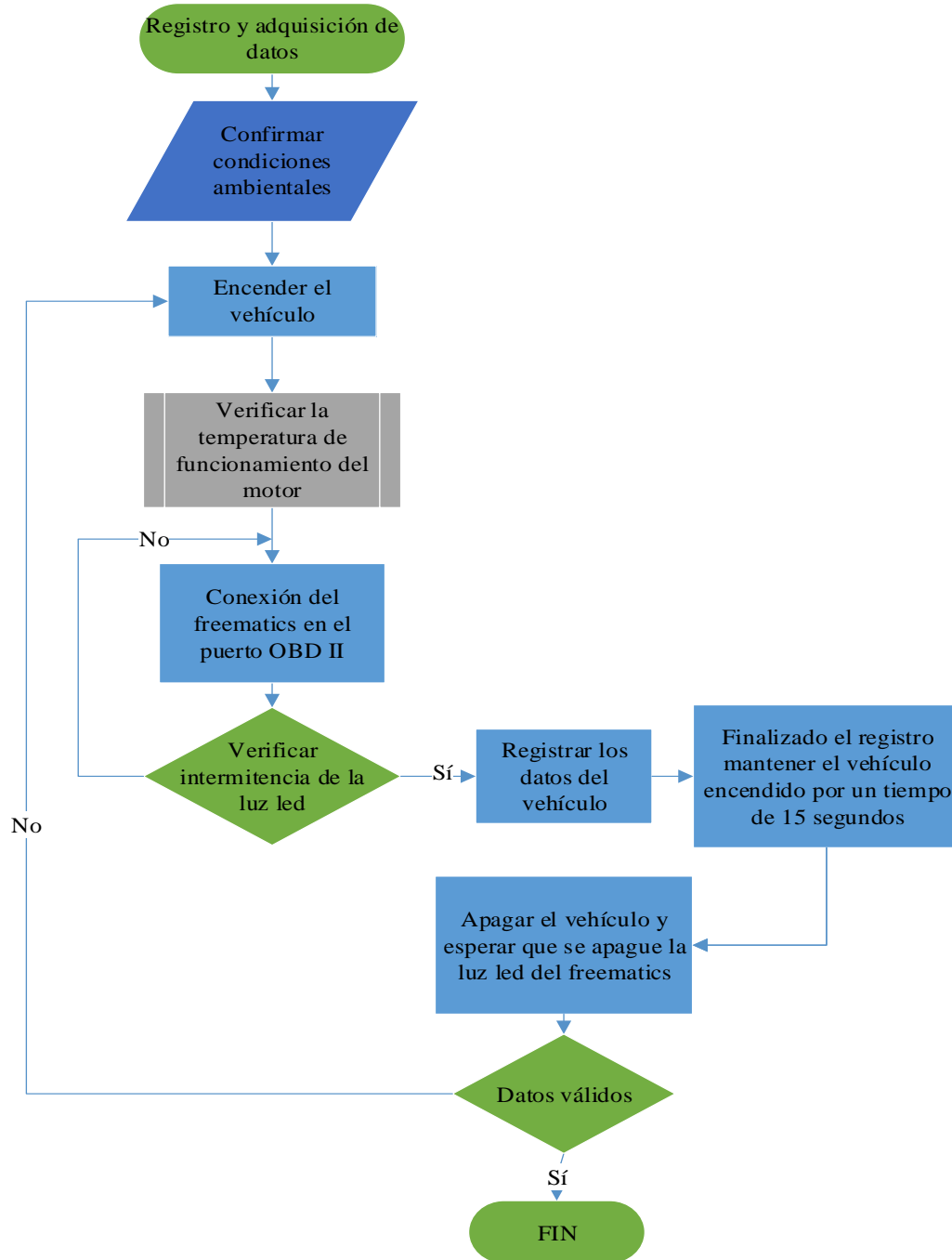


Figura 1.12:Esquema de flujo para el muestreo.

Fuente: Autores

1.14.2 Datos del Freematics One +

Los datos obtenidos con el dispositivo Freematics One + se guardan en archivo de texto delimitado por comas (.CSV) debido a que de esta forma resulta sencillo intercambiar la información con una variedad de softwares, para extraer los datos en este caso se utiliza el software de ingeniería Matlab.

Respecto al método de registro de datos, los vehículos fueron implementados con sistemas de adquisición de datos (datalogger) para guardar:

- a) La temperatura de aire de entrada del motor
- b) La velocidad del vehículo
- c) Régimen de giro (rpm)
- d) Presión de vacío en el colector de admisión
- e) La temperatura del refrigerante
- f) Posición de la válvula de mariposa de aceleración
- g) Los datos del acelerómetro
- h) El reajuste corto de combustible
- i) El reajuste largo de combustible.

1.14.3 Prueba dinámica en el banco

Esta prueba consiste en determinar la potencia y torque real que genera un motor con la ayuda del banco de pruebas MAHA LPS 300. Esta prueba se realiza bajo la dirección del personal autorizado para el uso de este equipo, se sigue el esquema de flujo del protocolo que se detalla en la figura 1.13.

Como resultado de esta prueba se obtiene las gráficas de torque y potencia real del motor.

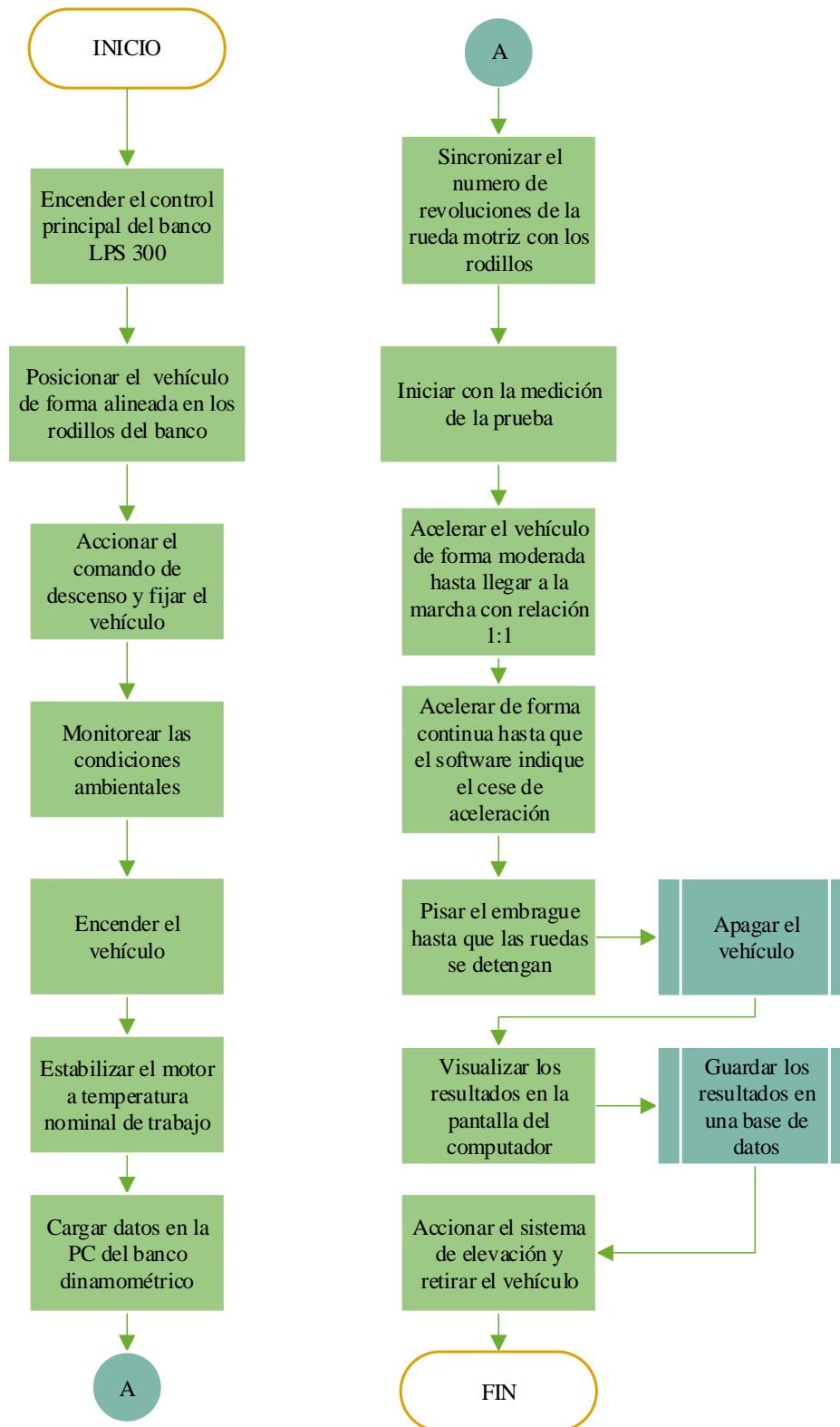


Figura 1.13: Flujograma prueba dinámica de potencia.

Fuente: Autores.

1.14.4 Resultados obtenidos con el software Matlab

Una vez ejecutada la adquisición de los datos con el dispositivo Freematics One +, se procede a efectuar la importación de los valores de los sensores para la verificación y su posterior análisis, debido a que los datos se almacenan de manera alfanumérica. Para esto se utiliza programación desarrollada en el software de Matlab por (Gárate, 2018) , dicho programa permite extraer los valores de los diferentes sensores en distintos vectores que pueden ser guardados en un archivo de Excel.

TPS	MAP	O2	ECT	IAT	AX	AY	AZ	STFT	LTFT	VSS	RPM
0.00	29.00	0.45	20.00	16.00	-2.20	3.30	-9.30	0.00	-5.00	0.00	958.00
0.00	29.00	0.44	20.00	16.00	-2.30	3.10	-9.20	0.00	-5.00	0.00	961.00
0.00	29.00	0.44	20.00	16.00	-2.10	3.30	-9.50	0.00	-5.00	0.00	958.67
0.00	29.00	0.44	20.00	16.00	-2.20	3.30	-9.50	0.00	-5.00	0.00	953.33
0.00	29.00	0.44	20.33	16.00	-2.10	3.20	-9.40	0.00	-5.00	0.00	953.00
0.00	29.00	0.44	20.67	16.00	-2.20	3.30	-9.30	0.00	-5.00	0.00	956.67
0.00	29.00	0.44	21.00	16.00	-2.10	3.20	-9.40	0.00	-5.00	0.00	958.67
0.00	29.00	0.44	21.00	16.00	-2.10	3.30	-9.40	0.00	-5.00	0.00	955.33
0.00	29.00	0.44	21.00	16.00	-2.20	3.30	-9.70	0.00	-5.00	0.00	951.33
0.00	29.00	0.44	21.00	16.00	-2.10	3.30	-9.50	0.00	-5.00	0.00	948.00
0.00	29.00	0.44	21.33	16.00	-2.20	3.20	-9.30	0.00	-5.00	0.00	948.67
0.00	29.00	0.44	21.67	16.00	-2.20	3.30	-9.30	0.00	-5.00	0.00	948.33
0.00	29.00	0.44	22.00	16.00	-2.10	3.30	-9.70	0.00	-5.00	0.00	946.33
0.00	29.00	0.44	22.00	16.00	-2.10	3.20	-9.30	0.00	-5.00	0.00	937.00
0.00	29.00	0.44	22.00	16.00	-2.20	3.30	-9.30	0.00	-5.00	0.00	939.33
0.00	29.00	0.44	22.00	16.00	-2.20	3.20	-9.30	0.00	-5.00	0.00	942.00
0.00	29.00	0.44	22.00	16.00	-2.20	3.30	-9.30	0.00	-5.00	0.00	946.00
0.00	29.00	0.44	22.33	16.00	-2.00	3.40	-9.50	0.00	-5.00	0.00	935.33
0.00	31.00	0.44	22.67	16.00	-1.80	3.10	-9.30	0.00	-5.00	0.00	931.33
0.00	30.00	0.44	23.00	16.00	-2.10	2.70	-9.60	0.00	-5.00	0.00	926.33

Figura 1.14. Datos obtenidos del software Matlab.

Fuente: autores

CAPÍTULO II

**MODELO MATEMÁTICO GENERAL PARA DETERMINAR
LOS VALORES DE TRABAJO, PERDIDA DE CALOR EN TIEMPOS
REALES DE CONDUCCIÓN.**

En esta sección se desarrollará el modelo matemático para la obtención del trabajo del motor de combustión mediante aproximación a un ciclo otto estándar ideal que define los parámetros indicados del motor, las variables necesarias para el modelo serán las magnitudes adquiridas a través de las herramientas tecnológicas empleadas en el vehículo seleccionado para el desarrollo del proyecto.

2.1 Estimación de los parámetros indicados del motor.

Se realiza el cálculo de los parámetros del motor del vehículo utilizado para realizar la prueba con las variables del motor que muestran en tabla 2.1.

Tabla 2.1: Variables del motor Chevrolet Aveo

Variable	Valor
Cilindrada del motor	1598
N° de cilindros	4
Relación de compresión	9.5:1

Fuente: Autores.

Tabla 2.2: Datos obtenidos de la prueba dinámica en ruta

Variable	Valor
Presión de entrada	29 kPa
Temperatura	16 °C

Fuente: Autores.

Como lo indica la Tabla 2.1, la cilindrada del motor es 1598 cm^3 , por lo tanto, cada cilindro tendrá el siguiente volumen calculado con la ecuación 2.1:

$$V_D = \frac{V_T}{4} [m^3] \quad \text{Ec.(2.1)}$$

En donde:

V_D : Volumen de cada cilindro en m^3

V_T : Volumen total del motor en m^3

$$V_D = \frac{0,001598}{4} = 0,0003995 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_D + V_C}{V_C} \quad \text{Ec.(2.2)}$$

Donde :

V_D : Volumen de cada cilindro en m^3

r_c : relación de compresión

V_C : Volumen comprimido en cada cilindro en m^3

$$r_c = 9.5 = \frac{0,0003995 + V_C}{V_C}$$

$$V_C = 0,000047 \text{ m}^3$$

Etapa 1: Para establecer las condiciones de entrada del aire se hace con los valores registrados en la prueba dinámica en ruta

$$T_1 = 16 \text{ °C} = 289 \text{ K}$$

La presión absoluta en el colector es 29 kPa y la presión atmosférica en la ciudad de Cuenca es 73 kPa. Para los cálculos pertinentes se utilizará la presión absoluta como P1.

$$P_{\text{abs}} = P_1 = 29 \text{ kPa}$$

Continuando con el cálculo se obtiene V_1 que es el resultado de sumar el volumen comprimido y el volumen del cilindro.

$$V_1 = V_D + V_C \quad \text{Ec.(2.3)}$$

$$V_1 = 0,0004465 \text{ m}^3$$

La masa de mezcla que ingresa al cilindro se mantiene constante y puede ser calculada de acuerdo al ecuación 2.4.

$$\dot{m}_a = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} \quad \text{Ec.(2.4)}$$

En donde:

\dot{m}_a : Masa de entrada del aire, kg

P_1 : Presión dentro del cilindro cuando el embolo está en el PMI, kPa

V_1 : Volumen que contiene el cilindro cuando el embolo está en el PMI, m³

R : Constante de los gases, igual a un valor de 287 J/kg.K

T_1 : Temperatura de entrada de aire, K

$$\dot{m}_a = \frac{29 \times 10^3 P \cdot 4,465 \times 10^{-4} m^3}{287 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 289}$$
$$\dot{m}_a = 1,56 \times 10^{-4} kg$$

Etapa 2: Corresponde a la carrera de compresión 1-2 y es isentrópica, por lo tanto, se utilizan las ecuaciones 2.5 y 2.6 para calcular la presión y temperatura en el punto 2:

$$P_2 = P_1 (r_c)^k \quad \text{Ec.(2.5)}$$
$$P_2 = 29 kPa (9,5)^{1,35}$$
$$P_2 = 605,7938 kPa$$

Para la temperatura 2 tenemos:

$$T_2 = T_1 (r_c)^{k-1} \quad \text{Ec.(2.6)}$$
$$T_2 = T_1 (r_c)^{1,35-1}$$
$$T_2 = 289 * (9.5)^{0,35}$$
$$T_2 = 635,47 K$$

$$V_2 = (1,56 \times 10^{-4} kg) \cdot \left(287 \frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot 635,47 K / 605,7938 kPa$$

$$V_2 = 0,000047 \text{ m}^3$$

Se considera una relación estequiométrica de 14,7 y un valor de lambda de 1 para encontrar la masa de combustible con la ecuación 2.7.

$$m_f = \frac{\dot{m}_a}{14,7 \cdot \lambda} \quad \text{Ec.(2.7)}$$

Donde:

\dot{m}_a : masa de aire en el cilindro, kg

m_f : masa de combustible en el cilindro, kg

λ : factor lambda

$$m_f = 1,06236 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

Etapa 3: Corresponde a la explosión y se procede con el cálculo del calor de entrada utilizando la ecuación 2.8.

$$Q_{in} = m_f \cdot Q_{HV} \cdot n_c = V_2 \cdot \frac{P_3 - P_2}{k - 1} = m_m \cdot C_V \cdot (T_3 - T_2) \quad \text{Ec.(2.8)}$$

Donde:

Q_{in} : Calor entrante, kJ

Q_{HV} : poder calorífico del combustible, kJ/kg

n_c : eficiencia de combustión, %

m_m : masa de la mezcla, kg

C_V : calor específico a volumen constante, kJ/kg

$$Q_{in} = 1,06236 \times 10^{-5} \text{ kg} (45002,59 \text{ kJ/kg}) (0,95) = 0,454 \text{ kJ}$$

Con la misma ecuación se obtiene la temperatura 3, T_3

$$Q_{in} = m_m \cdot C_V \cdot (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = \frac{Q_{in}}{m_m \cdot C_V} + T_2$$

$$T_3 = \frac{454,19 \text{ J}}{1,5617 \times 10^{-4} \text{ k} \cdot 718 \text{ J/kg}} + 635,47 \text{ K} = 4686,08 \text{ K} = T_{m\acute{a}x}$$

Con el uso de la fórmula de un gas ideal para un volumen constante se obtiene el valor de la presión máxima.

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$P_3 = 605,7938 \text{ kPa} \left(\frac{4686,08 \text{ K}}{635,47 \text{ K}} \right) = 4467,1787 \text{ kPa} = P_{m\acute{a}x}$$

Etapa 4: Utilizando las ecuaciones 2.9 y 2.10 se obtienen la presión y temperatura de la carrera de trabajo.

Ec.(2.9)

$$T_4 = T_3 (r_c)^{1-k}$$

$$T_4 = 4686,08 \text{ K} (9,5)^{-0,35} = 2131,1 \text{ K}$$

Ec.(2.10)

$$P_4 = P_3 (r_c)^{-k}$$

$$P_4 = P_3 (r_c)^{-1,35}$$

$$P_4 = 4467,1787 \text{ kPa} (9,5)^{-1,35} = 213,84 \text{ kPa}$$

$$V_4 = \frac{\dot{m}_a R T_4}{P_4}$$

$$V_4 = \frac{1,56 \times 10^{-4} \text{ kg} \left(287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right) 2131,1 \text{ K}}{213,84 \text{ kPa}} = 0,0004465 \text{ m}^3$$

El valor del volumen 4 concuerda con el V1.

Para calcular el trabajo durante la carrera del trabajo del motor se utiliza la ecuación 2.11.

$$W_3^4 = \frac{-m_m \cdot C_V \cdot (T_4 - T_3)}{(1 - k)} \quad \text{Ec.(2.11)}$$

$$W_3^4 = \frac{-1,5617 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot 718 \text{ J/kg} (2131,1 \text{ K} - 4686,08 \text{ K})}{(1 - 1,35)} = 286,48 \text{ J}$$

El trabajo del desplazamiento de compresión se calcula con la ecuación 2.12.

$$W_1^2 = \frac{-m_m \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)}{(1 - k)} \quad \text{Ec.(2.12)}$$

$$W_1^2 = \frac{-1,5617 \times 10^{-4} \text{ kg} \left(718 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \cdot (635,47 \text{ K} - 289 \text{ K})}{(1 - 1,35)} = -38,8501 \text{ J}$$

El trabajo neto correspondiente a un cilindro durante un ciclo se calcula con la ecuación 2.13.

$$W_{neto} = W_1^2 + W_3^4 \quad \text{Ec.(2.13)}$$

$$W_{neto} = -38,8501 \text{ J} + 286,48 \text{ J} = 247,6 \text{ J}$$

Después de calcular el trabajo neto se procede a obtener la eficiencia térmica

$$\eta_{ter} = \frac{W_{neto}}{Q_{Entrada}} \quad \text{Ec.(2.14)}$$

$$\eta_{ter} = \frac{247,6 \text{ J}}{454,19}$$

$$\eta_{ter} = 0.545$$

$$\eta_{ter} = 54,5\%$$

A continuación, se calcula la presión media indicada con la ecuación 2.15.

$$P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_D} \quad \text{Ec.(2.15)}$$

Donde:

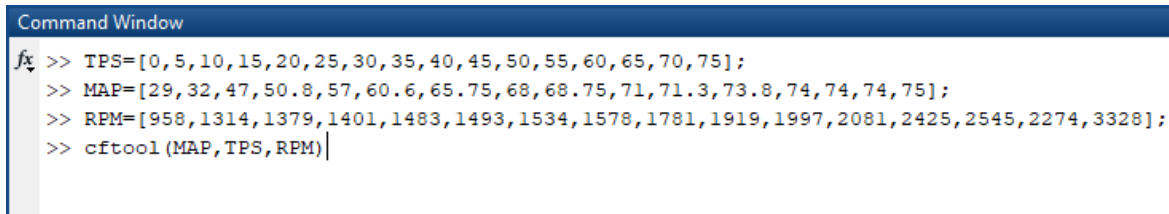
P_{mi} : Presión media indicada

W_{neto} : Trabajo neto

V_D : Volumen del cilindro

$$P_{mi} = \frac{247,6 \text{ J}}{0,0003995 \text{ m}^3} = 619860,12 \text{ Pa}$$

Para realizar el cálculo de la potencia es necesario conocer las revoluciones del motor, por lo cual se procede a realizar el cálculo de estas con los parámetros de: presión del colector admisión y porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración. Se obtiene una función de las rpm con ayuda del software Matlab y su función “*cftool*”, primero se ingresan las variables necesarias para la aproximación en el command window con se enseña en la figura 2.1.



```
Command Window
fx >> TPS=[0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75];
>> MAP=[29, 32, 47, 50.8, 57, 60.6, 65.75, 68, 68.75, 71, 71.3, 73.8, 74, 74, 74, 75];
>> RPM=[958, 1314, 1379, 1401, 1483, 1493, 1534, 1578, 1781, 1919, 1997, 2081, 2425, 2545, 2274, 3328];
>> cftool(MAP, TPS, RPM)|
```

Figura 2.1: Declaración de las variables.

Fuente: Autores.

Una vez ingresadas las variables, con la ayuda del *cftool* que sirve para realizar regresiones se adquiere la función de las rpm y además se puede observar cómo se comportan las rpm en función de la presión y el porcentaje de apertura de la mariposa como se detalla en la figura 2.2.

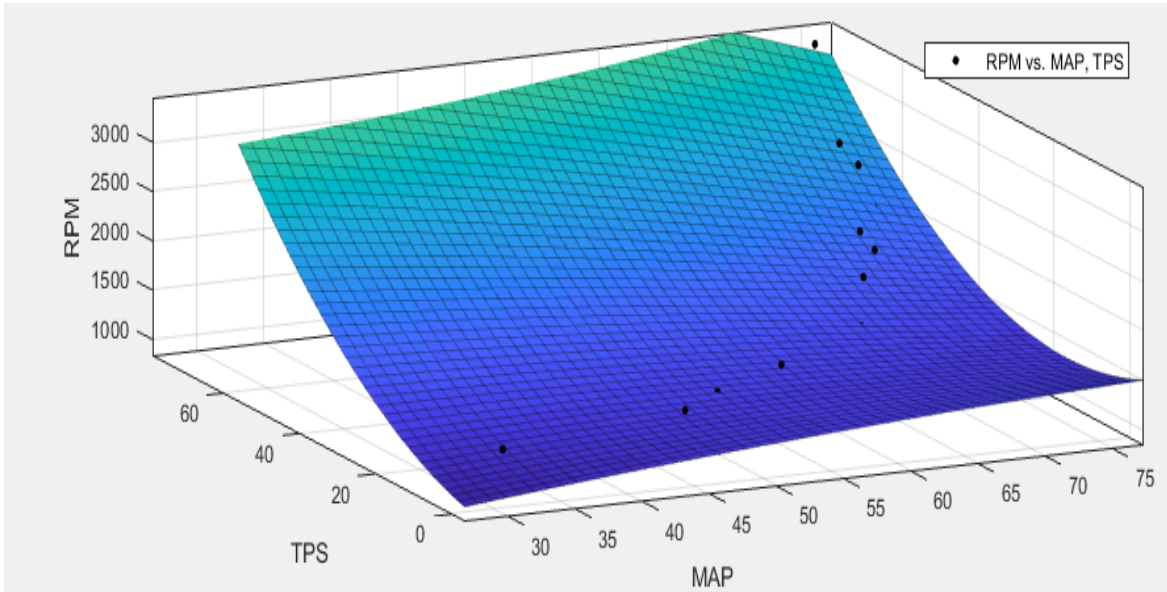


Figura 2.2: Comportamiento de las rpm en función del % de apertura y presión. Fuente : Autores.

La función para obtener las revoluciones del motor es la siguiente.

$$f_{rpm}(x, y) = -621 + 91,25x - 6.515y - 1,15x^2 + 0.6522xy$$

Donde:

x: presión del múltiple de admisión

y: % de apertura de la aleta de aceleración

Con la función de las rpm se puede obtener el cálculo de potencia del motor a diferentes revoluciones del motor.

La potencia indicada a 4642 rpm se calcula con la ecuación 2.16.

$$W_i = W_{neto} \cdot i \cdot n \tag{Ec.(2.16)}$$

Donde:

W_i: potencia indicada, Kw

i: número de ciclos por vuelta

n: régimen de giro del motor , rpm

$$W_i = 647,6 \text{ J}(0,5) \cdot \left(\frac{4805 \text{ rpm}}{60}\right) \cdot (4) = 39,66 \text{ Kw} = 53,18 \text{ Hp}$$

La densidad a una altitud de 2550 msnm se obtiene con la ecuación 2.17 y para calcular la eficiencia volumétrica se utiliza la ecuación 2.18

$$\rho = \frac{3,4848 P_{\text{atm}} - 0,009h_r(\exp(0,061T))}{273,15 + T} \quad \text{Ec.(2.17)}$$

Dónde:

ρ : densidad del aire, kg/m³

P_{atm} : presión atmosférica, kPa

h_r : humedad relativa

T : temperatura del aire, K

$$\rho = \frac{3,4848 (73) - 0,009(0,60) \cdot \exp(0,06(16))}{273,15 + 16} = 0,8797 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo tanto, la eficiencia volumétrica del motor es:

$$n_v = \frac{\dot{m}_a}{\rho V_D} \quad \text{Ec.(2.18)}$$

$$n_v = \frac{0,000156 \text{ kg}}{\left(0,8797 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot (0,003995 \text{ m}^3)} = 0,44388 = 44,388 \%$$

En la Figura 2.3 se indica el diagrama de presión vs volumen ideal del ciclo de trabajo del motor, donde se presenta cada una de las etapas del motor.

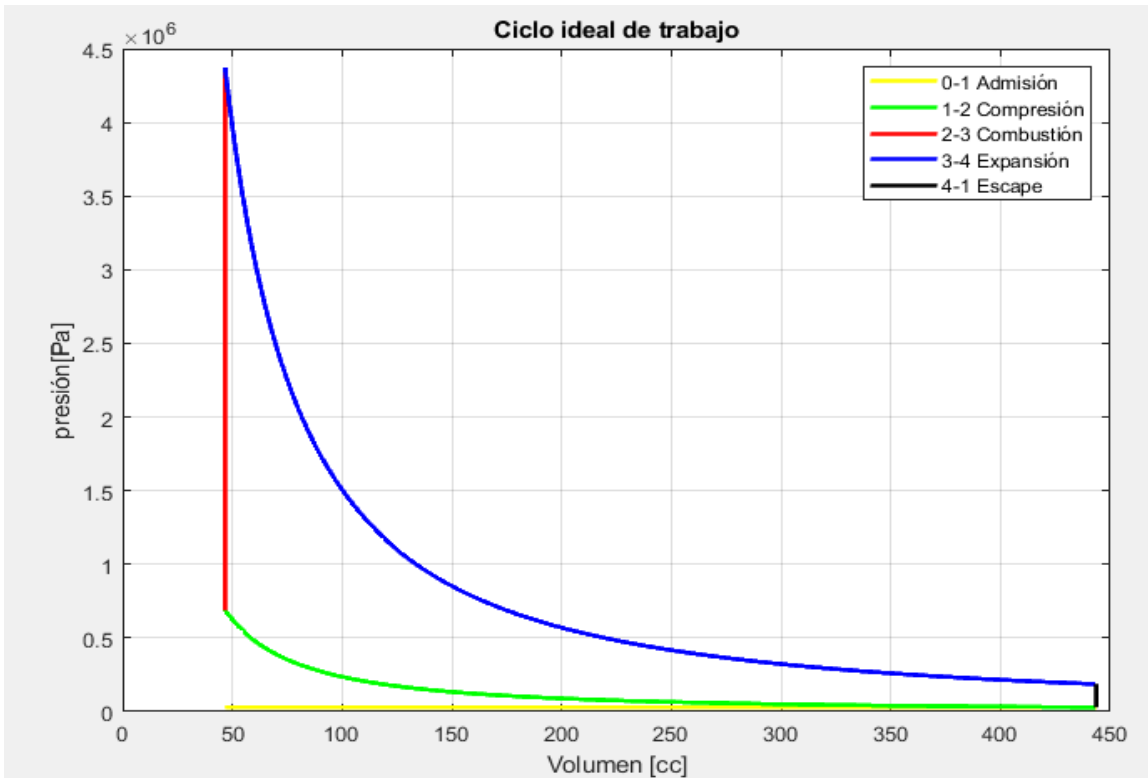


Figura 2.3: Esquema volumen -presión del ciclo ideal del motor.

Fuente: Autores.

Sin embargo, el comportamiento del motor ante condiciones reales se muestra en la figura 2.4 donde existe variaciones en cada fase debido a las correcciones que hace por las pérdidas en el ciclo termodinámico del motor.

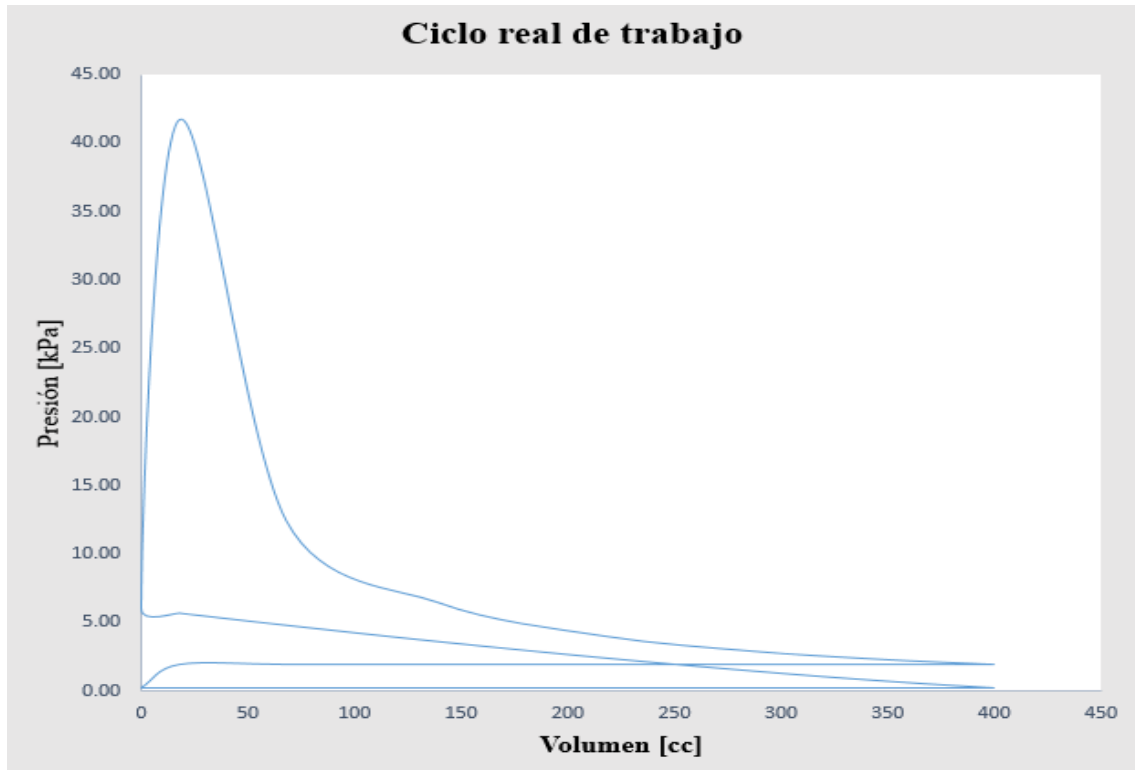


Figura 2.4: Esquema volumen-presión del ciclo real del motor.

Fuente : Autores.

En la Tabla 2.3 se puede observar los parámetros indicados del motor con diferentes valores de temperatura de entrada del aire de admisión, con estos valores se puede evaluar el efecto que tiene la temperatura en el trabajo del motor

Tabla 2.3: Parámetros del motor con diferentes IAT

IAT (°C)	Velocidad del motor (rpm)	Potencia (hp)	Trabajo (J)	Presión Media Indicada (kPa)	Eficiencia Volumétrica (%)	Eficiencia Térmica (%)
16	4805	53,18	247,6	619,858	44,4	54,52
20	4805	52,4	244,3	611,396	43,8	54,52
25	4805	51,6	240,15	601,138	43	54,52
30	4805	50,7	236,2	591,218	42,38	54,48
35	4805	49,9	232,35	581,620	41,7	54,32
40	4805	49,1	228,64	572,329	41	54,32

Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados de la tabla 2.3 al incrementarse la temperatura del aire de entrada se disminuye la eficiencia volumétrica y esta a su vez hace que exista un decremento en la potencia del motor.

La figura 2.5 muestra la potencia obtenida mediante los cálculos y la que se obtuvo en el banco dinamométrico, donde se evidencia que a bajas revoluciones del motor el modelo se adapta a la potencia real obtenida.

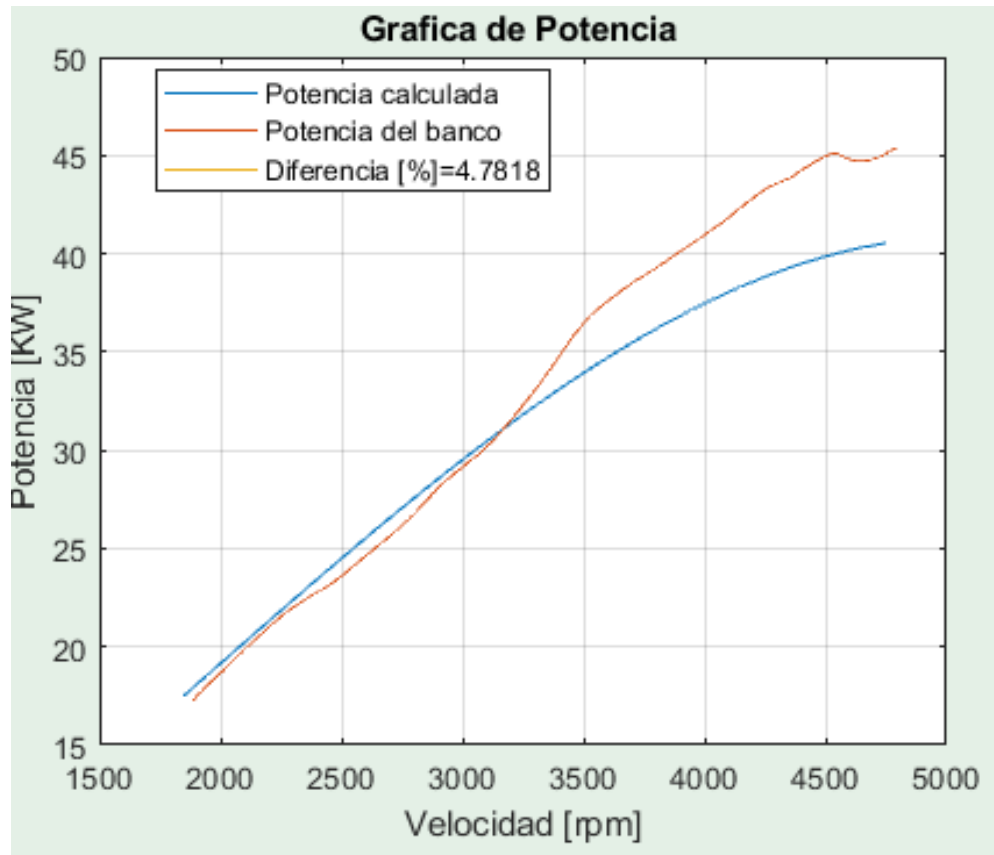


Figura 2.5: Comparación de potencia.

Fuente: Autores.

La figura 2.5 muestra que existe una diferencia de 4.78 % entre la potencia calculada con el modelo matemático y la prueba realizada en el banco dinamométrico

Los resultados obtenidos de los parámetros de trabajo del motor se comparan con los datos obtenidos en la prueba dinámica del banco dinamométrico, para corroborar si existe diferencia significativa, estos resultados se muestran en la tabla 6.4, donde se puede

evidenciar la potencia y el torque máximos del motor, teniendo una diferencia del 10,7 % entre las potencias y de 5.8 % en el torque máximo.

Tabla 2.4: Resultados de las pruebas

	Potencia en ruta calculada	Potencia del banco
Velocidad motor	4805 rpm	4805 rpm
Potencia	40,5 kW	45.4 kW
Par	94 Nm	99,7 Nm

Fuente: Autores

A continuación, se indica la ventana principal del programa donde se realizó el cálculo de los parámetros indicados del motor.

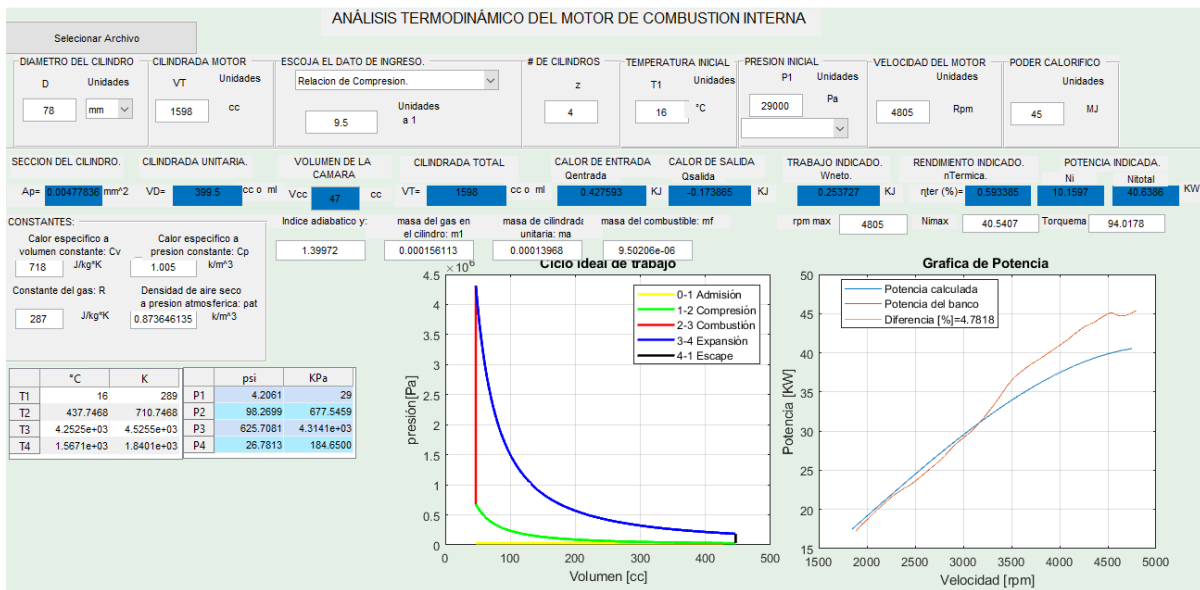


Figura 2.6. Programa para calcular los parámetros del motor .

Fuente: Autores

CAPÍTULO III

CAUSAS QUE PROVOCAN LAS PÉRDIDAS DE CALOR Y DE TRABAJO EN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

El motor de explosión al ser una máquina térmica que posee diferentes superficies limitadas de diversos fluidos como: gases de admisión, gases de escape, refrigerante, lubricante y aire ambiente, tiene diferentes procesos de transferencia de calor convirtiéndose en una máquina muy compleja y dependiente de las circunstancias de operación del motor. Los principales factores que limitan la mejora de la potencia específica del motor es la estructura y temperatura de los fluidos por esto se deben controlar estas temperaturas con el fin de perfeccionar el proceso de combustión y a su vez disminuir las emisiones contaminantes.

3.1 Incidencia de las condiciones atmosféricas en el trabajo de un motor.

Las condiciones atmosféricas juegan un papel importante en el desempeño mecánico de los motores de chispa, es así que la temperatura del aire, la humedad relativa y la presión atmosférica del lugar donde funciona el motor actúan directamente sobre la eficiencia volumétrica del llenado de los cilindros y esto conlleva a pérdidas de potencia, impidiendo que el motor tenga un óptimo funcionamiento.

Los parámetros del desempeño del motor como: la potencia, el par y la presión media efectiva dependen de las condiciones atmosféricas por lo tanto se analiza el efecto que estas tienen en el rendimiento del trabajo del motor.

3.1.1 Efectos de la humedad atmosférica relativa.

Los efectos de la humedad en el desempeño de un motor de ignición son significativos debido a que la humedad afecta los siguientes parámetros:

- La densidad del aire de entrada.
- Relación de la mezcla aire – combustible
- La eficiencia térmica del motor
- La eficiencia volumétrica

Con la relación a la ecuación 2.17 que se utiliza para calcular la densidad del aire la humedad relativa, se puede decir que mientras mayor sea el % porcentaje de humedad la eficiencia volumétrica será menor. La figura 3.1 detalla cómo se comporta la densidad del aire con

relación a la temperatura y la humedad relativa.

$$\rho = \frac{3,4848 \text{ Patm} - 0,009h_r * \exp(0,061T)}{273,15 + T}$$

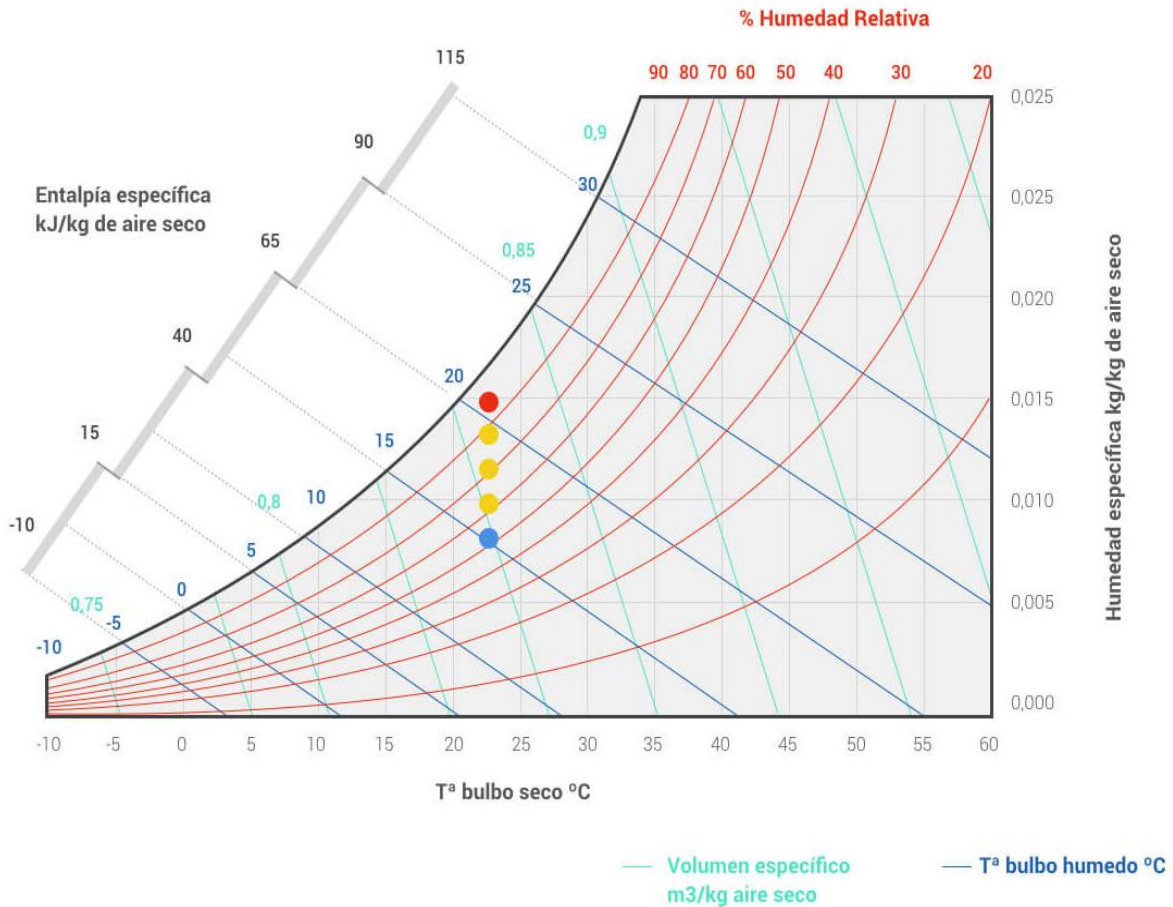


Figura 3.1: Esquema del % de humedad relativa.

Fuente: (S&P,2018).

3.1.2 Efectos de la temperatura del aire de entrada.

Los cambios de la temperatura del aire de entrada al motor afectan los parámetros que se indican a continuación:

- Densidad del aire de entrada.
- Eficiencia volumétrica.
- Relación de la mezcla aire – combustible.

- Presión media indicada.

Al cambiar la densidad del aire de entrada se afecta la eficiencia volumétrica del motor como lo muestra la tabla 3.1. la eficiencia se reduce alrededor del 3% por cada 10 °C de incremento en la temperatura de entrada del aire de admisión.

Tabla 3.1: Resultados eficiencia volumétrica.

IAT (°C)	Eficiencia Volumétrica (%)	Reducción Eficiencia (%)
16	44,4	--
20	43,8	1.35
30	42.3	3.42
40	41	3.1
50	39,75	3.05
60	38,56	2.99

Fuente: Autores.

Al tener efecto la temperatura del aire de entrada sobre la presión media indicada se disminuye la potencia del motor como lo muestra la figura 3.2 donde se puede observar que mientras mayor sea la temperatura de entrada el aire mayor será la pérdida de potencia llegando a tener pérdidas de 15.2249 %. La potencia se reduce de forma gradual en un 3,5% por cada 5 °C de incremento en la temperatura del aire de entrada.

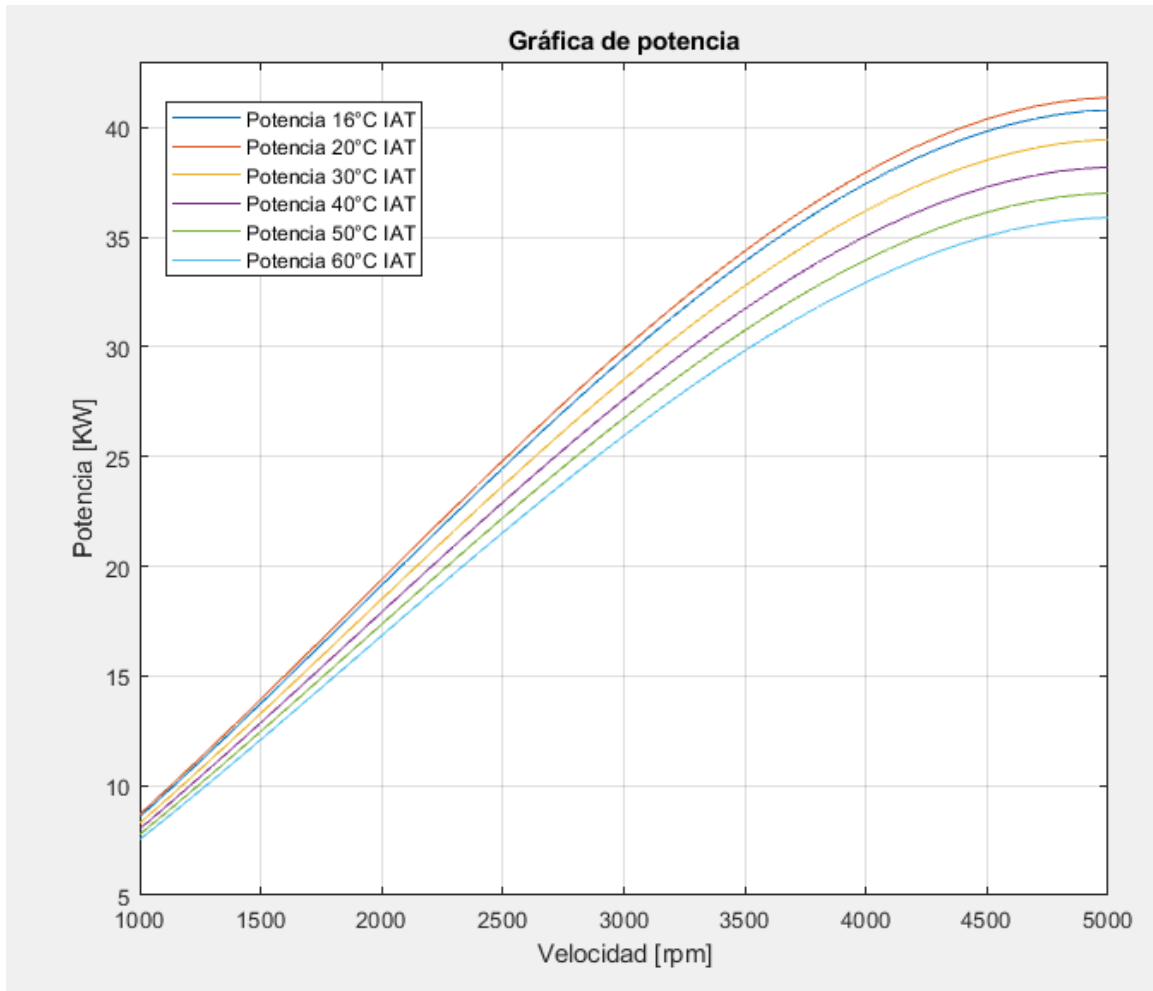


Figura 3.2: Potencia con diferentes IAT.

Fuente: Autores.

3.2 Incidencia de la temperatura sobre el trabajo del motor.

Las pérdidas producidas por el calor constituyen más del 30% de la energía suministrada por el combustible, debido a que las temperaturas de la estructura y de los fluidos son las principales causas que limitan el aumento de potencia del motor. Para poder garantizar el buen funcionamiento del motor, hay que mantener en niveles seguros la temperaturas, según las limitaciones térmicas de los materiales estructurales (Romero, 2009).

3.2.1 Calor disipado por el refrigerante.

Según Romero, el calor que disipa el refrigerante se puede correlacionar con la presión media

(P_{mi}) ,temperatura media del motor (T_{ref} °C) y las revoluciones por minuto (n rpm) del punto de trabajo del motor. El calor que se disipa por el refrigerante se calcula con la fórmula 3.1 que se detalla a continuación.

$$Q_{ref} = 14370,82 + 1759,05 * P_{mi} + 6,07 * n - 225,31 * T_{ref} \quad \text{Ec.(3.1)}$$

Para realizar la estimación del calor que disipa el refringente se utiliza los datos que se hallan en de la tabla 3.2

Tabla 3.2: Condiciones del motor.

Presión media indicada (bar)	Revoluciones del motor (rpm)
6	1000
7	1500
8	2000
9	2500
10	3000
11	3500
12	4000
13	4500
14	5000

Fuente: Autores.

Los resultados del calor que es disipado por el refrigerante, en función de la carga y régimen del motor se muestran en la gráfica de superficies de la figura 3.3, con la que se concluye la importancia que tiene la temperatura sobre las pérdidas de calor el funcionamiento del motor, es decir mientras el motor se encuentre mayor temperatura mayor será la perdida.

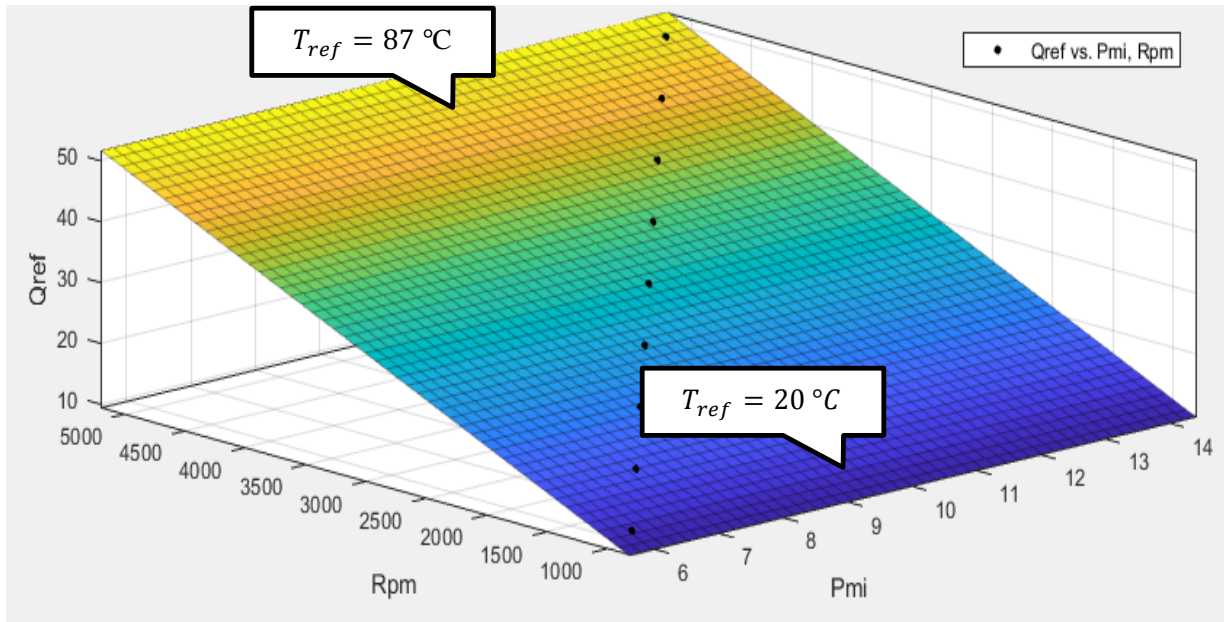


Figura 3.3: Calor disipado por el refrigerante.

Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

- Con el análisis de los procesos termodinámicos que influyen en el funcionamiento del motor de combustión interna de encendido provocado se logró obtener los parámetros reales del ciclo Otto con base en la señal de los sensores que intervienen en el trabajo del motor.
- La herramienta tecnológica Freematics One+ permitió obtener las magnitudes de los diferentes sensores del vehículo gracias a sus protocolos de conexión y al contar con una plataforma de programación libre se pueden seleccionar los datos a registrar.
- La temperatura de entrada del aire ejerce efectos sobre la eficiencia volumétrica, lo cual disminuye de manera notable la potencia indicada del motor, los resultados obtenidos de las pruebas indican que existe una pérdida de 3.5 % por cada 5 °C de incremento en la temperatura de entrada del aire.
- Se obtuvieron resultados semejantes al determinar los parámetros del motor mediante el modelo matemático 40,5 kW en comparación con los resultados obtenidos de la prueba dinámica realizada en el banco dinamométrico que se obtuvo 45,4 kW a 4800 rpm, considerando condiciones atmosféricas similares a las que fueron tomados los datos en ruta.
- El motor de ignición al ser una máquina que recibe energía térmica en forma de calor y la transforma en energía mecánica, posee pérdidas considerables por el efecto de altas temperaturas, transfiriendo hasta un 30% de energía al refrigerante del sistema.
- Para poder garantizar el buen funcionamiento del motor, hay que mantener la temperatura de trabajo en niveles seguros, debido a que, si un motor se encuentra a mayor temperatura mayor será la pérdida y de esta forma no afectará el desarrollo de la potencia del motor.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio para establecer la correlación entre la prueba en ruta y la prueba dinámica en el banco, y con esta correlación determinar los parámetros de trabajo del motor sin la necesidad de una prueba de banco.
- Con el propósito de ampliar el estudio se recomienda realizar un estudio bajo condiciones controladas, haciendo que las variables de humedad relativa y la temperatura del aire de entrada se mantengan estables con el fin de mantener la densidad del aire y corroborar si se obtiene mejores resultados de trabajo del motor.
- Se recomienda realizar un análisis termodinámico en vehículos con motores Diésel considerando las variables de una misma cilindrada, la disposición y número de cilindros

BIBLIOGRAFÍA

- Alomá, E. &. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(3), 387-400.
- Blasco, V. (2014). Sistema de diagnóstico OBD II.
- Boada, L. E. (2007). Diseño de un emulador de la señal del sensor de oxígeno para la repotenciación del automotor Chevrolet Corsa Evolution 1.4 MPFI. (Bachelor's thesis).
- Dávalos, D. S. (2017). Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay (Master's thesis, Universidad del Azuay).
- Faires, L. M. (1983). Intra-alkali matrix effects in the inductively coupled plasma. *Applied Spectroscopy*, 37(6).
- Gárate, D. A. (2018). Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II. Cuenca: UPS.
- González-Oropeza, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 6(3), 147-162.
- Kreith, F. B. (2012). *Principles of heat transfer*. Cengage Learning Editores.
- Moran, M. J. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Reverté.
- Müller, E. (. (2002). *Termodinámica básica*. Kemitechnik.
- Payri P. F. & Desantes J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia, España: Reverté.
- Payri, F. &. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Colección Académica. Editorial UPV.
- Quílez, J. &. (2014). Definición y unidades de las constantes de equilibrio en los libros de texto de Química general preuniversitarios y universitarios. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*.
- Restrepo, A. H. (2007). Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira. *Scientia et technica*, 1(37).

- Romero, C. A. (2009). Contribución al conocimiento del comportamiento térmico y la gestión térmica de los motores de combustión interna alternativos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Salamea, J. M. (2017). Tesis, Desarrollo de un ciclo de conducción en sustitución del NEDC. Obtenido de Universidad Pontificia Comillas: <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/538854c53583e.pdf>
- Sice.oas.org. (2019).
- Taylor, C. F. (1982). The Internal Combustion Engine in Theory and Practice. . The MIT Press.
- Villegas, A. M. (18 de Enero de 2007). Motores de Combustión Interna. Obtenido de <https://google.com/url?sad=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwibqYCu8N7hAhVKs1kKHRLuA5oQFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fkimerius.com%2Fapp%2Fdownload%2F5783856817%2FMotores%2Bde%2Bcombusti%25C3%25B3n%2Binterna.pdf&usg=AOvVaw1F4Hd>

ANEXOS

ANEXO 1

Tipo de motor	Cilindrada	Válvulas
Atmosférico	1598 cc	16
Alimentación	Combustible	# de cilindros
Inyección electrónica	Gasolina	4
Modelo	Potencia	Relación de compresión
Año 2011	115 CV	9.,5:1

FICHA DEL VEHÍCULO AVEO



VEHÍCULO UTILIZADO PARA REALIZAR LAS PRUEBAS.

ANEXO 2



BANCO MAHA LPS 300

ANEXO 3



FREEMATICS