



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LOS
PARAMETROS DE TORQUE, POTENCIA, CONSUMO Y
EMISIONES DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS,
MONOCILINDRICO DE 200cc, AL VARIAR LA
GEOMETRÍA DE LA CAMARA DE COMBUSTIÓN”**

**FERNANDO JAVIER TOALA JIMÉNEZ
DANIEL STALIN VISTÍN CASTILLO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2019**

©2019, Fernando Javier Toala Jiménez & Daniel Stalin Vistín Castillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Nosotros, FERNANDO JAVIER TOALA JIMÉNEZ & DANIEL STALIN VISTÍN CASTILLO declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos que constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal de los contenidos de este trabajo de titulación;
El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 19 de noviembre de 2019



Fernando Javier Toala Jiménez
Cédula de Identidad: **060357600-0**



Daniel Stalin Vistín Castillo
Cédula de Identidad: 060378270-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: -----, **ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE TORQUE, POTENCIA, CONSUMO Y EMISIONES DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS, MONOCILINDRICO DE 200cc, AL VARIAR LA GEOMETRÍA DE LA CAMARA DE COMBUSTIÓN** realizado por los señores: FERNANDO JAVIER TOALA JIMÉNEZ & DANIEL STALIN VISTÍN CASTILLO, ha sido minuciosamente revisados por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, el tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		19/11/2019
Ing. Vicente Romero Hidalgo DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION		19/11/2019
Ing. Milton Quinga Morales MIEMBRO DE TRIBUNAL		19/11/2019

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis, a dos personas fundamentales en mi vida y que sin ellas en realidad no sería nada. En primer lugar, a la memoria de mi madre Anita Jiménez Sánchez quien me dio la vida y su ejemplo para luchar contra la adversidad, sé que ella desde el cielo cuida y bendice mis pasos. También dedico esta Tesis a mi segunda madre Liliana Jiménez Sánchez, quien me cobijo en su hogar cuando más lo necesité, brindándome su apoyo y amor incondicional para lograr cumplir mis metas de vida.

Fernando Javier Toala Jiménez

A mis padres, que durante toda mi vida estudiantil me han apoyado incondicionalmente, en especial en la ejecución del presente proyecto; a todas aquellas personas que de cualquier manera han aportado en mi formación académica; a mis maestros que con su esfuerzo y dedicación han logrado impartirme sus conocimientos.

Daniel Stalin Vistín Castillo

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por bendecirme y colocara a tantas personas especiales en mi vida que han sido un apoyo incondicional para lograr cumplir este culminar esta etapa de mi vida.

A mis Padres Anita Jiménez (+) y Pedro Toala, por darme la vida e inculcarme por el camino del bien.

A mis hermanas Paty y Silvia, que fueron y son un pilar fundamental en mi vida, ayudándome a superar los momentos más difíciles de mi vida, apoyándome incondicionalmente.

A Liliana Jiménez, Patricio Villacres, Dennys, Andrea y Anita Villacres, por permitirme ser parte de su familia, llenando ese vacío inmenso que se hizo con la partida de mi madre, haciéndome sentir nuevamente el calor de un hogar, la caricia de una madre, el ejemplo de un padre y el amor de hermanos, los cuales son el pilar fundamental de mi vida.

A mi amigo, hermano y confidente, Vicente (Vichi) que durante 19 años hemos compartido bueno y malos momento junto a mí, además de ser un ejemplo, dando lecciones de vida como, si uno quiere lo puede lograr y que el límite para ser feliz lo pone uno.

A Yesenia Chávez mi compañera de vida, que ha sido el apoyo incondicional y fundamental para lograr alcanzar este paso, gracias por creer en mí.

**Fernando Javier Toala
Jiménez**

Agradezco a Dios y a la Virgen Dolorosa, quienes me han guiado y bendecido constantemente durante cada paso que he dado en este arduo sendero, ayudándome así, a salir victorioso de cada infortunio que se me ha presentado.

De manera muy especial a mis padres, Vicente Vistín Arregui y Cecilia Castillo Vallejo que nunca escatimaron su apoyo para que sea posible mi formación académica y personal.

A mis hermanos, Eduardo y María Cecilia por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. A ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento.

Para finalizar, quiero extender mis más profundos sentimientos de consideración y admiración hacia mis maestros; Ing. Vicente Romero e Ing. Milton Quinga, director y asesor de tesis respectivamente, por su noble labor y apoyo para que este objetivo sea posible.

Daniel Stalin Vistín Castillo

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE -GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Problematización.....	1
1.3. Justificación	2
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2. <i>Justificación práctica</i>	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Introducción	4
2.1.1. <i>Motor</i>	6
2.2. Motor de combustión Interna	7
2.3. Motor de 2T	8
2.3.1. <i>Funcionamiento</i>	8
2.3.2. <i>Partes del Motor</i>	9
2.4. Motor de 4T	13
2.4.1. <i>Funcionamiento</i>	13
2.4.2. <i>Sincronización de válvulas</i>	15

2.5.	Diferencias entre motores 2T y 4T	17
2.6.	Medidas características de un motor.....	18
2.6.1.	<i>Potencia</i>	18
2.6.2.	<i>Potencia Indicada</i>	19
2.6.3.	<i>Potencia efectiva</i>	19
2.6.4.	<i>Potencia absorbida</i>	20
2.7.	Rendimiento.....	20
2.7.1.	<i>Rendimiento mecánico</i>	20
2.7.2.	<i>Rendimiento termodinámico</i>	20
2.7.3.	<i>Rendimiento volumétrico</i>	21
2.8.	Emisiones de escape	21
2.8.1.	<i>Hidrocarburos</i>	21
2.8.2.	<i>Monóxido de Carbono</i>	21
2.8.3.	<i>Dióxido de Carbono</i>	22
2.8.4.	<i>Oxígeno</i>	22
2.8.5.	<i>Óxidos de Nitrógeno</i>	22
CAPÍTULO III		
3.	METODOLOGÍA	24
3.1.	Metodología Aplicada	24
3.2.	Adquisición de Señales.....	26
3.3.	Desarrollo del algoritmo	27
3.4.	Adquisición de datos	28
3.4.1.	<i>Instalación del sensor de voltaje y lecturas</i>	28
3.5.	Pruebas Dinámicas.....	31
3.6.	Procesamiento de señales.....	33
CAPÍTULO IV		
4.	CÁLCULO DEL TORQUE, POTENCIA Y GASES DE ESCAPE	36
4.1.	Calculo del torque	36
4.2.	Diagrama del torque	41
4.3.	Calculo de la potencia	42
4.3.1.	<i>Diagrama de la potencia</i>	44

4.4.	Comparación del torque y potencia del motor, con modificación de la geometría de la cámara de combustión y sin modificación de la misma.....	45
4.5.	Síntesis de las variables que intervienen en el proceso	46
4.6.	Gases de escape.....	47
4.6.1.	<i>Analizador de Gases</i>	49
4.6.2.	<i>Resultados</i>	51
CAPÍTULO V		
5.	COSTOS	54
5.2.	Detalle costos directos	54
5.3.	Detalle costos indirectos	55
5.4.	Costo Total.....	55
CONCLUSIONES		56
RECOMENDACIONES		57
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0-1: Diferencias entre motor 4T y 2T.....	30
Tabla 3-1: Velocidades de la motocicleta en las distintas pruebas dinámicas.....	42
Tabla 3-2: Valores de voltaje y presión del sensor.....	44
Tabla 4-1: Voltaje del motor medido a las distintas velocidades de prueba.....	46
Tabla 4-2: Presión media efectiva calculada en función del voltaje.....	47
Tabla 4-3: Fuerza calculada en función de la presión que ejerce el pistón dentro del cilindro, en las tres pruebas.....	48
Tabla 4-4: Potencia del motor a cada una de las velocidades de prueba.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-2: Partes del motor Yamaha 400cc.....	5
Figura 2-3: Aumento del diámetro del cilindro motor Yamaha 400.....	6
Figura 2-4: Motor de combustión interna.....	7
Figura 2-5: Ciclo de funcionamiento del motor en su zona superior.....	9
Figura 2-6: Carter de separación vertical de un motor de 2 tiempos	10
Figura 2-7: Cárceres de separación horizontal de un motor de 2 tiempos.....	10
Figura 2-8: Cilindro motor 2T.....	11
Figura 2-9: Culata y bujía de un motor de 2T.....	12
Figura 2-10: Cigüeñal de motor de 2T.....	13
Figura 2-11: Diagrama p-V motor 4T.....	14
Figura 2-12: Sincronización de válvulas motor 4T.....	17
Figura 2-13: Formación de gases a diferentes niveles de mezcla aire-combustible	23
Figura 3-1: Ciclo de Investigación científica de Salkind.....	36
Figura 3-2: Ciclo de Investigación aplicado al presente estudio.....	37
Figura 3-3: Esquema general de adquisición de señales.....	38
Figura 3-4: Algoritmo para la adquisición de la señal de voltaje.....	39
Figura 3-5: Acople, sensor de presión, sistema de refrigeración.....	40
Figura 3-6: Sensor de presión acoplado a la motocicleta.....	40
Figura 3-7: Motocicleta: Ranger; modelo: 200-5.....	41
Figura 3-8: Ficha técnica RANGER 200-5.....	41
Figura 3-9: Presión-voltaje del sensor.....	44
Figura 3-10: Gráfica presión-voltaje del sensor.....	44
Figura 4-1: Flujo de las variables que intervienen en el cálculo del torque y potencia.....	55
Figura 4-2: límites máximos emisiones de gases contaminantes permitidos para motocicletas.....	56
Figura 4-3: Prueba de emisiones de gases.....	57
Figura 4-4: KANE AUTO PLUS 4-2.....	57
Figura 4-5: KANE AUTO PLUS 4-2.....	58
Figura 4-7: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 1500 rpm.....	59
Figura 4-7: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 3000 rpm.....	60
Figura 4-8: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 1500 rpm.....	60

Figura 4-9: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 1500 rpm.....60

ÍNDICE DE -GRÁFICOS

Grafico 4-1: Torque (Nm) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 sin modificación.....	51
Grafico 4-2: Torque (Nm) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 con modificación.....	51
Grafico 4-3: Potencia (W) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 sin modificación.....	53
Grafico 4-4: Potencia (W) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 con modificación.....	53
Grafico 4-5: Cuadro comparativo del torque (Nm) del motor de la motocicleta RANGER 200-5.....	54
Grafico 4-6: Cuadro comparativo de la potencia (W) del motor de la motocicleta RANGER 200-5.....	55

SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD
F	Fuerza	N
P	Presión	Pa
A	Área	m ²
D	Distancia	mm
v	Velocidad	km/h
T	Torque	Nm
P	Potencia	W
V	Voltaje	V

LISTA DE ABREVIACIONES

SAE	Society Automotive Engineering
CNC	Control Numérico Computarizado
2T	Dos Tiempos
4T	Cuatro Tiempos
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
O ₂	Oxígeno
HC	Hidrocarburos
NO	Óxido de Nitrógeno
DAQ	Data Acquisition

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Ilustraciones

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de titulación fue modificar la geometría de la cámara de combustión de un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico de 200cc, empleando una fresa CNC para determinar los mejores parámetros de torque, potencia, consumo y emisiones, para lo cual se aborda un estudio siguiendo el método experimental, mediante el cual se trabajará bajo condiciones controladas (protocolos, lógica empírica y decisiones fundamentadas), modificando la geometría de la cámara de combustión de un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico de 200cc, empleando una fresa CNC y su influencia directa en el cálculo de los parámetros: torque, potencia, consumo y emisiones, para lo cual se diseñó y construyó un sensor para obtener la presión media efectiva del cilindro, con la ayuda de un simplex incorporado en la bujía motor y este a su vez conectado a un sensor piezoeléctrico, logrando que la señal análoga del voltaje del motor, por medio de una tarjeta de adquisición de datos DAQ transforme la señal análoga que emite el sensor a una señal digital, mediante la utilización de un software DAQExpress, se realizaron tres pruebas a varias velocidades de circulación de la motocicleta (20, 40 y 60km/h), siguiendo el protocolo establecido en la norma INEN 960 cuya norma establece el método general de ensayo para motores de vehículos. Luego de obtener los voltajes respectivos, estos fueron introducidos en la ecuación característica del sensor para obtener la presión media efectiva del cilindro, con esta presión y los datos de recorrido y diámetro del pistón se calculó el torque y la potencia del motor de combustión interna alternativo de la motocicleta, obteniendo valores muy cercanos a las que el fabricante ofrece en su ficha técnica. Este procedimiento con y sin modificación. Se concluye que, al reducir la cámara de combustión, la potencia aumento 5.85 kW con respecto a la original y de misma manera el torque aumentó en 0.78 N.m. Se recomienda que, al realizar la medición de la presión del cilindro por medio del sistema implementado, colocar un sistema de disipación de calor para evitar datos erróneos por el cambio de temperatura.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ>, <MOTOR>, <VOLTAJE>, <PRESION DE CILINDRO>, <TORQUE>



ABSTRACT

The objective of this degree work was to modify the combustion chamber geometry of a 200cc cylindrical mono four-stroke engine, using a CNC mill to determine the best torque, power, consumption and emissions parameters for which a study is approached following the experimental method, through which it will work under controlled conditions (protocols, empirical logic and informed decisions), modifying the geometry of the combustion chamber of a 200cc cylindrical mono four-stroke engine, using a CNC milling cutter and its direct influence on the calculation of the parameters: torque, power, consumption and emissions for which a sensor was designed and built to obtain the effective average pressure of the cylinder, with the help of a super-plug incorporated in the spark plug and this in turn connected to a piezoelectric sensor, making the analog signal of the motor voltage. By means of a DAQ data acquisition card, the analog signal emitted by the sensor to a digital signal was transformed, using DAQExpress software. Three tests were carried out at various motorcycle speeds (20, 40 and 60 km / h), following the protocol established in the INEN 960 standard whose standard establishes the general test method for vehicle engines after obtaining the respective voltages, these were introduced in the characteristic equation of the sensor to obtain the effective average pressure of the cylinder, with this pressure and the travel data and piston diameter the torque and the power of the motorcycle's internal combustion engine were calculated, obtaining very high values close to those offered by the manufacturer in its technical sheet. This procedure with and without modification. It is concluded that, by reducing the combustion chamber, the power increased 5.85 kW with respect to the original and in the same way the torque increased by 0.78 N.m. It is recommended that, when measuring the cylinder pressure by means of the implemented system, place a heat dissipation system to avoid erroneous data due to the temperature change.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <MOTOR>, <VOLTAGE>, <CYLINDER PRESSURE>, <TORQUE>



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Mocionar que el motor de combustión interna es el más eficiente es decir una falacia. Especialmente ahora que existen vehículos que poseen otras fuentes de energía diferentes a los combustibles fósiles.

Sin embargo, hoy por hoy, se puede decir que son los más eficaces, ya que un motor de combustión interna es más asequible para adquirirlo, y nos brinda una mejor autonomía en contraste con los eléctricos, su principal competidor.

Sin embargo, esta eficacia es pagada por altos niveles de contaminación y un bajo rendimiento térmico, mismo que puede ser mejorado realizando ciertas adecuaciones a componentes, como puede ser: el cabezote del motor.

1.2. Problematización

Cuando se quema el combustible dentro de una de estas cámaras todo sucede con mucha intensidad: altas temperaturas y décimas de segundos. Cada cambio en estas magnitudes va sumando y da como resultado beneficios o problemas en el motor.

Si el combustible no es presurizado correctamente se inflamará con mayor o menor rapidez y significará una mayor cantidad de combustible desperdiciado.

Si el motor se calienta algunos grados demás, el tiempo de vida de las partes se acortará.

Si la presión es elevada, pero no se combustiona con rapidez la mezcla, se estará contaminando el medio ambiente debido al alto nivel de emisión de gases contaminantes.

La cámara de combustión se encuentra bajo constante análisis, desde el punto de vista geométrico se intenta obtener el mayor rendimiento del motor.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

En los motores de combustión interna una de las partes primordiales es la Culata o Cabezote la cual sirve, entre otras cosas, de cierre a los cilindros por su parte superior. En ella van alojadas, en la mayoría de los casos, las válvulas de admisión y escape. También conforma la cámara de combustión en aquellos motores en los que no posean pistones con cámara incorporada. Sirve como soporte y alojamiento, para los distintos elementos de encendido o inyección según el tipo de motor que se trate.

En motores con árbol de levas en cabeza, es decir, con dicho árbol situado en la parte superior de la culata, la culata dispone de una serie de apoyos para albergar al árbol de levas. En caso de que el motor tenga árbol de levas lateral o en bloque, en la culata se albergará el eje de balancines.

Al igual que el bloque la culata posee una serie de orificios por los cuales circula el agua del circuito de refrigeración y que están comunicados a su vez con los orificios del bloque.

1.3.2. Justificación práctica

El estudio experimental se enfoca en la evaluación de parámetros como el torque, potencia, consumo y emisión, de un motor mono cilíndrico de 4 tiempos variando la forma de la cámara de combustión (cabezote).

Mayor potencia:

Mediante un mejor llenado de los cilindros, el resultado se traduce en una mayor potencia específica y un aumento del par motor.

Menor consumo del combustible:

Implica ahorro de dinero.

Impacto Ambiental:

Reducida emanación de elementos contaminantes en los gases de escape contribuye con la preservación del medio ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Modificar la geometría de la cámara de combustión de un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico de 200cc, empleando una fresa CNC para determinar los mejores parámetros de torque, potencia, consumo y emisiones.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar y analizar información de los tipos de cámaras de combustión actuales.
- Desarrollar un estudio experimental con cada una de las geometrías de cámaras de combustión. Obteniendo las curvas Presión vs. Volumen, potencia, torque, consumo y emisiones.
- Selección el tipo de cámara de combustión adecuado, de acuerdo a las exigencias del trazado

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Hasta la fecha, no existen trabajos de titulación donde se modifique la geometría de la cámara de combustión de un motor de motocicleta, sin embargo, existe un trabajo dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo donde se prepara un motor de motocicleta con el fin de adecuarlo para la Fórmula SAE.

Para la preparación del motor Yamaha FZR 400cc, el cual es un motor de motos deportivas del año 1989, compuesto por cuatro cilindros, con una relación de compresión de 11,5:1, a carburador y con doble árbol de levas. Para empezar, se realizó un estudio previo para evaluar el estado actual del motor, utilizando un banco dinamométrico, como otros instrumentos de diagnóstico. Se tomó medidas de compresión, vacío, resistencia de los cables de las bujías y finalmente las pruebas en un banco dinamométrico. (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016, págs. 28-35).



Figura 2-1: Motor Yamaha 400 en el banco dinamométrico

Fuente: (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016)

En adición, se valoró los elementos y sistemas que componen el motor, sean estos pistones, rines, bulones, cilindros, culata, árbol de levas, entre otros. También se verificó el correcto funcionamiento del sistema de encendido, del sistema de alimentación, del sistema de lubricación y del sistema de refrigeración. (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016, págs. 35-38)



Figura 2-1: Partes del motor Yamaha 400cc

Fuente: (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016)

Una vez determinado el estado real del motor, se procede a realizar una serie de trabajos para mejorar las prestaciones de este, tales como; aumento del diámetro del cilindro, aumento de la relación de compresión, aumento de la entrada de aire y combustible, además que se alivianan las masas de elementos que están en movimiento. (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016, págs. 39-50)



Figura 2-2: Aumento del diámetro del cilindro motor
Yamaha 400

Fuente: (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016)

Esta serie de modificaciones, permitió que el motor obtenga un aumento de torque en $6.6\text{kW}@6500\text{rpm}$ y de torque en $9.96\text{Nm}@6000\text{rpm}$. (Pérez Valverde & Valdivieso Medina, 2016, pág. 76)

2.1.1. Motor

Se define como motor a aquella maquina destinada a producir movimiento mediante la transformación de energía química proveniente del combustible, en calor y la de esta última en trabajo mecánico. (Bosch, 1999, pág. 358).

Para la quema de combustibles los más utilizados son los hidrocarburos, sin embargo, se necesita la presencia de oxígeno, mismo que está contenido en el aire. (Bosch, 1999, pág. 358)

Se diferencian dos tipos de combustiones; la primera, si se da dentro del lugar de trabajo entonces es denominada combustión interna, y una segunda, cuando la combustión se da fuera del lugar de trabajo, en este caso se la llama combustión externa. (Bosch, 1999, pág. 358)

Si la formación de la mezcla aire-combustible se la realiza fuera de la cámara de combustión se lo considera como una formación exterior de la mezcla, al momento de empezar la combustión en la cámara, está será catalogada como una mezcla homogénea. Caso contrario, se llama mezcla interna a la inyección de combustible directamente en la cámara de combustión, se debe tener en cuenta que mientras más tardía sea la mezcla aire combustible dentro del cilindro, más heterogénea será la mezcla formada. (Bosch, 1999, pág. 359).

También hay que tomar en cuenta si la mezcla es provocada mediante una chispa eléctrica o una bujía o si la mezcla es comprimida hasta el punto de que esta se auto enciende producto de las altas temperaturas que produce. (Bosch, 1999, pág. 359).

2.2. Motor de combustión Interna

Motor de combustión interna o también conocido como motor de émbolo es aquel al que se le suministra una mezcla de aire-combustible dentro del cilindro donde esta mezcla es comprimida y posteriormente combustionada. Estos motores de combustión interna desprenden calor, misma que será convertida en trabajo mecánico a medida que las altas presiones de gas generadas obligan al pistón moverse a lo largo de su carrera dentro del cilindro. (Crolla, 2009, pág. 3)

Para limitar el movimiento del pistón, el movimiento del pistón se transmite por medio de una biela al cigüeñal, cuya función es convertir el movimiento lineal del pistón en el cilindro a un movimiento circular en el cigüeñal. Así, se puede hacer que el pistón repita su movimiento hacia adelante y hacia atrás, debido a las restricciones de la trayectoria circular del cigüeñal y el cilindro guía. Tal como muestra la figura a continuación:

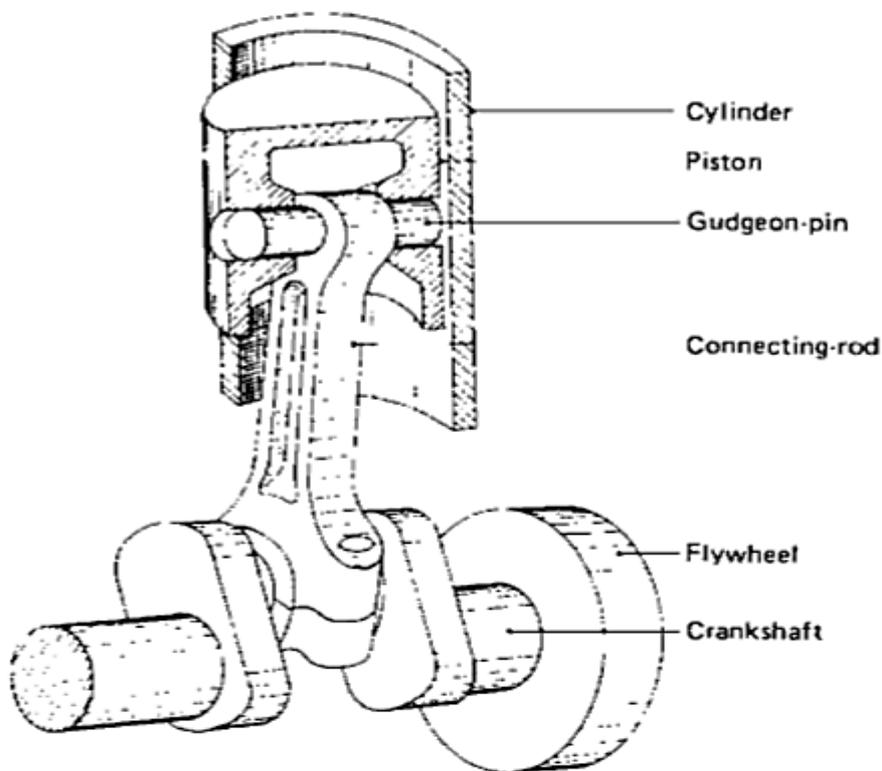


Figura 2-3: Motor de combustión interna

Fuente: (Crolla, 2009)

Los motores de motocicletas actualmente son de dos tipos, los denominados de cuatro tiempos (4T) y los de dos tiempos (2T).

2.3. Motor de 2T

El primer diseño exitoso de un motor de dos tiempos fue patentado en 1889 por Joseph Day y Son of Bath. Este motor empleo la parte inferior del pistón en conjunto con un cárter sellado para poder formar una bomba de barrido (Se considera al barrido a la expulsión de gases de escape con el fin de que pueda ingresar una nueva mezcla). (Crolla, 2009, pág. 7)

El motor completa el ciclo (admisión, compresión, explosión y escape) en una sola revolución del cigüeñal o dos carreras del pistón, derivándose de esto último su nombre. (Crolla, 2009, pág. 7).

El motor de dos tiempos es muy utilizado en vehículos ligeros y económicos, por varias razones, en las que destacan su simplicidad y sencillez de fabricación. Se debe considerar que generan una mayor potencia específica, sin embargo, tienen un rendimiento menor y un mayor grado de contaminación ambiental. (Arias-Paz, 2003, pág. 145)

2.3.1. Funcionamiento

Se debe tener en cuenta que el motor funciona en base a un ciclo de cuatro fases, que se realizan en dos carreras del pistón, de modo que para poder realizar todo el trabajo en un lapso tan corto debe utilizar no solo la parte superior del pistón, sino también su parte inferior. Se divide de la siguiente manera, la parte superior de la cabeza del pistón, lugar donde se forma la cámara de combustión es la parte encargada de los procesos de combustión, en conjunto a las correspondientes fases de admisión, compresión, explosión y escape. Pero con una particularidad, aquí se solapan las fases de admisión y escape, realizándose casi a la par, pero funcionando de forma tan perfecta de modo que los gases quemados y frescos no se mezclan (Arias-Paz, 2003, pág. 144). Tal como muestra la figura a continuación:

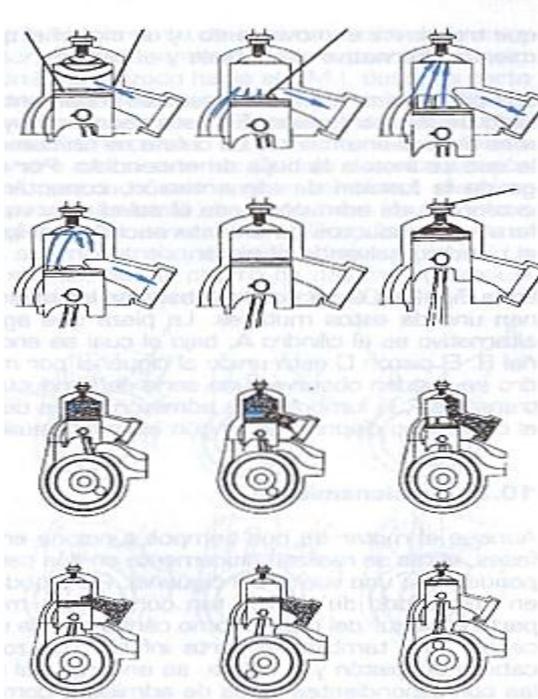


Figura 2-4: Ciclo de funcionamiento del motor en su zona superior

Fuente: (Arias-Paz, 2003)

Por su parte, la zona baja del pistón y el cigüeñal se encargan netamente de la admisión, introduciendo la mezcla de aire combustible dentro del motor. Siendo la falda del pistón quien se encarga de abrir o cerrar las lumbreras de admisión o escape del motor. (Arias-Paz, 2003, pág. 163)

2.3.2. Partes del Motor

Debido a la simplicidad del motor de dos tiempos, este tiene un menor número de componentes, y estos son:

-Carter

Elemento que compone la base del motor, es quien sostiene al cigüeñal mientras este está girando, cumpliendo una función importante durante la admisión. Normalmente son construidos mediante aleaciones ligeras de aluminio. Puede poseer un plano de corte vertical u horizontal como lo muestran las figuras a continuación. (Arias-Paz, 2003, págs. 192-193)

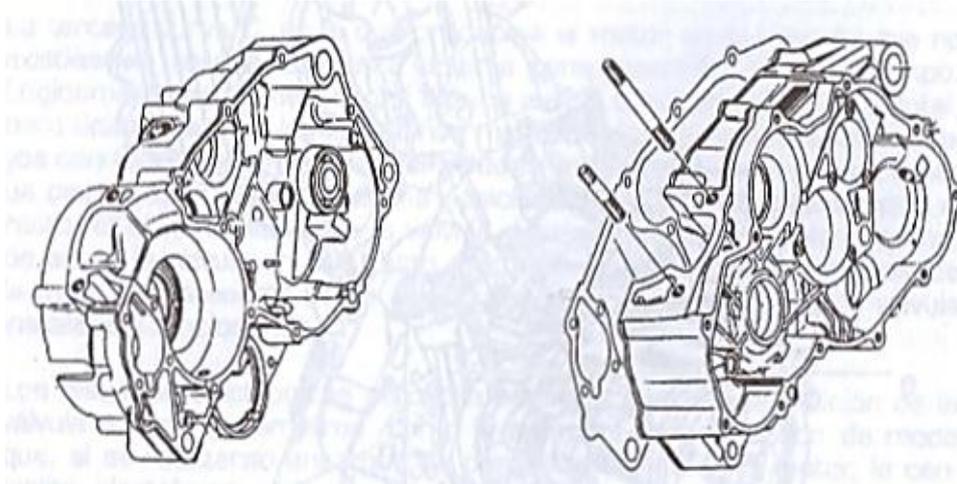


Figura 2-5: Carter de separación vertical de un motor de 2 tiempos

Fuente: (Arias-Paz, 2003)

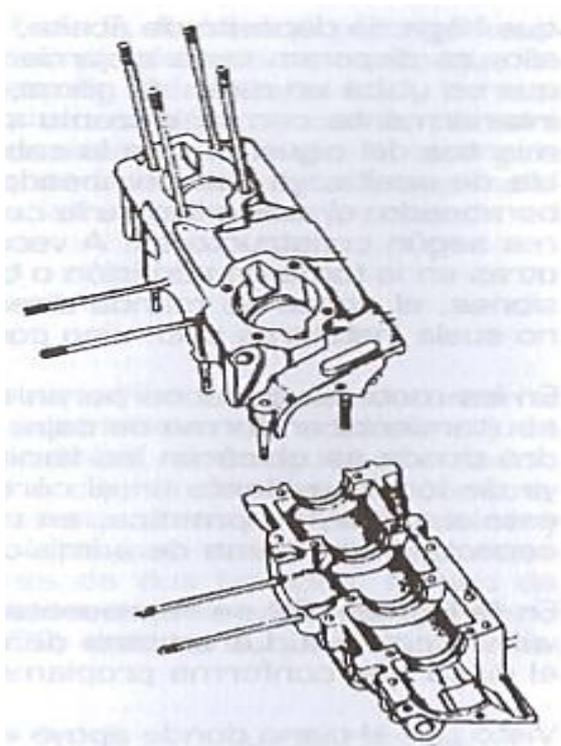


Figura 2-6: Cárceres de separación Horizontal de un motor de 2 tiempos

Fuente: (Arias-Paz, 2003)

-Cilindro

Elemento del motor cuya función es la de guiar al pistón a lo largo de su carrera. Este lo ajusta de tal forma que trata de formar un sellado hermético de modo que no se pierda compresión optimizando el trabajo realizado por el motor. (Arias-Paz, 2003, págs. 193-196)



Figura 2-7: Cilindro motor 2T

Fuente: Alamy, 2019

-Culata

Es considerado como el tercer y último elemento constructivo del motor de 2 tiempos, tiene como misión tapar el cilindro. Además, y en conjunto con la cabeza del pistón forma la cámara de combustión. En la culata del mismo modo, se encuentra la bujía, y en casos donde no exista radiador, se localizan también las aletas para la refrigeración. (Arias-Paz, 2003, pág. 196)

El material más utilizado en estos días para fabricar una culata son aleaciones ligeras de aluminio para posteriormente ser mecanizadas. Sin embargo, existen también casos donde se utiliza aleaciones de acero. (Arias-Paz, 2003, pág. 197)



Figura 2-8: Culata y bujía de un motor de 2T

Fuente: Alamy, 2019

-Cigüeñal

Elemento del motor encargado de transformar el movimiento alternativo y lineal del pistón en un movimiento circular. Debido al uso de rodamientos, es un elemento desmontable para poder instalarlo a la cabeza de biela. (Arias-Paz, 2003, pág. 198)

Del mismo modo, se busca que exista un espacio mínimo entre el cigüeñal y el cárter, esto generará una buena lubricación en la cabeza y pie de biela, una refrigeración del pisto, además de que ayudará a que exista un mejor llenado del cilindro. (Arias-Paz, 2003, pág. 199)

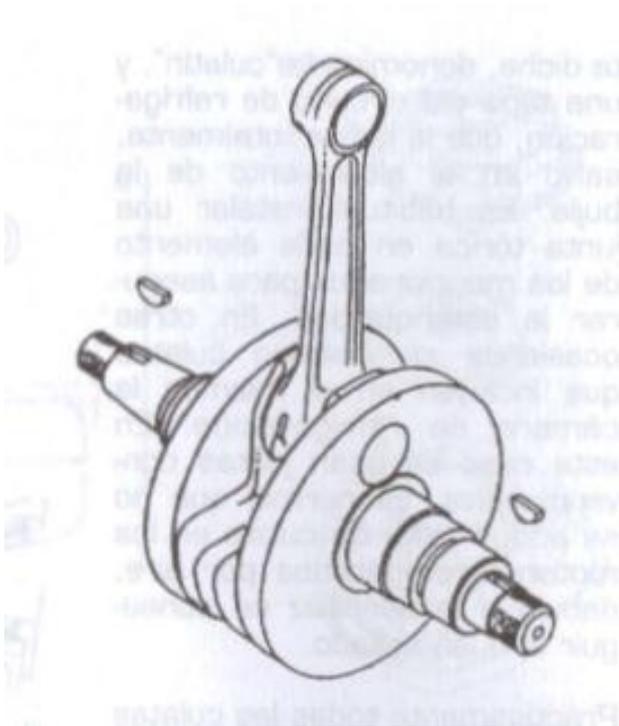


Figura 2-9: Cigüeñal de motor de 2T

Fuente: (Arias-Paz, 2003)

2.4. Motor de 4T

El primer motor de combustión interna que operó correctamente con un ciclo de cuatro tiempos usando gasolina como combustible fue construido en 1876 por Nicolaus August Otto, ingeniero alemán, vivía cerca de Cologne. (Crolla, 2009, pág. 5)

Los motores a gasolina toman una mezcla inflamable de aire y combustible la cual empieza a ser combustionado por una bujía, misma que enciende en un tiempo justo, el instante cuando la mezcla esta comprimida. Estos motores también son conocidos como motores de encendido provocado. (Crolla, 2009, pág. 5)

2.4.1. Funcionamiento

En motores de cuatro tiempos, el ciclo de operación es completado en cuatro carreras del pistón, es decir en dos revoluciones del cigüeñal, es decir, se necesita de 720° para completar el ciclo. (Gupta, 2009, pág. 15) .

Las carreras del pistón por individuales son:

- Admisión
- Compresión
- Explosión
- Escape

La figura a continuación demuestra el diagrama p-V indica la variación de la presión durante las diferentes etapas de funcionamiento del motor de 4T.

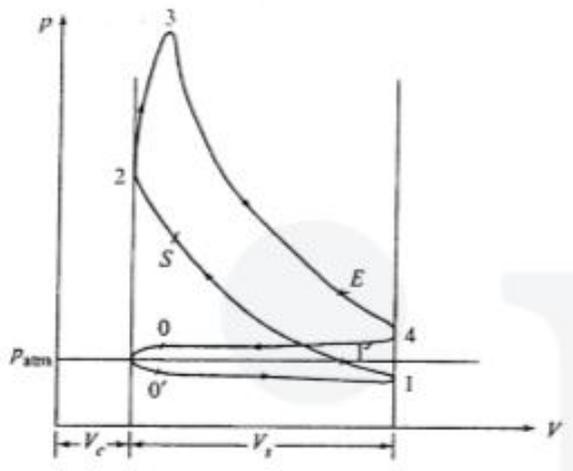


Figura 2-10: Diagrama p-V motor 4T

Fuente: (Crolla, 2009)

-Admisión (0-1)

La válvula de admisión abre en el punto 0 (**Figura 2-10**) justo antes del punto muerto superior. Como el pistón se mueve del punto muerto superior al inferior, donde una mezcla de aire combustible es introducida en el cilindro a través de la válvula de admisión. Debido al movimiento del pistón, la presión en el cilindro se reduce hasta un valor inferior a la presión atmosférica, y la mezcla ingresa debido al diferencial de presión que existe. Idealmente la válvula debería cerrar en el punto 1 (**Figura 2-10**), pero en la realidad esto no se da, cerrándose, pasando el punto antes mencionado y llegando hasta 1'. (Gupta, 2009, pág. 15)

-Compresión (1'-2)

Con ambas válvulas cerradas, la mezcla introducida en el cilindro en el ciclo de admisión es comprimida por el movimiento del pistón que va desde un punto muerto inferior a uno superior. En la posición de punto muerto superior la mezcla ocupa el espacio por sobre el pistón, el cual es conocido como el volumen de la cámara de combustión. Instantes antes de que se finalice la carrera de compresión, la bujía libera una chispa que ocurre en el punto S (**Figura 2-10**). Existe un pequeño retraso entre S y el momento en que empieza propiamente dicha la combustión. El proceso de combustión ocurre principalmente en volumen constante, y existe un aumento considerable de presión y temperatura de la mezcla durante este proceso. (Gupta, 2009, págs. 15, 16).

-Explosión (3-4)

La alta presión producida por la fuerza producida hace que se quemen los gases, misma que da como resultado que el pistón se mueva hacia el punto muerto inferior. Cabe mencionar que ambas válvulas (admisión y escape) permanecen cerradas. Este proceso hace que el pistón se dirija hacia la posición 4 (**Figura 2-10**), pero con el fin de ayudar a la evacuación de gases, la válvula de escape se abre en algún punto E (**Figura 2-10**), el cual es antes del punto muerto inferior. La potencia es obtenida durante esta carrera del pistón. Ambas, la presión y temperatura bajan durante la explosión. (Gupta, 2009, pág. 17)

-Escape (4-0')

Mientras el pistón se mueve desde el punto muerto inferior al superior, barre todos los gases quemados a través de la válvula de escape, cabe mencionar que la válvula de admisión permanece cerrada. La presión en esta carrera del pistón es ligeramente superior a la presión atmosférica. La válvula de escape se cierra en un punto muy cercano al punto 0' (**Figura 2-10**). Lastimosamente el proceso de eliminación de gases no es completo por lo que los gases que quedan dentro de la cámara se los consideran como gases residuales y tienden a formar parte de la siguiente mezcla. (Gupta, 2009, pág. 17).

2.4.2. Sincronización de válvulas

Para un correcto funcionamiento del motor, la precisa sincronización de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape en un punto exacto tienen una gran relevancia. Teóricamente, las válvulas deben abrir y cerrar, y la chispa debe ocurrir justo en los puntos muertos de las carreras del pistón. En la práctica, estos eventos son desplazados de los puntos muertos. El factor principal que afecta la sincronización de válvulas es la alta velocidad con la que ingresa la mezcla en el cilindro, y la alta velocidad con la que los gases son evacuados. Por estos motivos, la apertura de

válvulas se la realizan antes de lo teóricamente correcto, y el cierre se lo realiza después. Del mismo modo la ignición ocurre antes. (Gupta, 2009, págs. 17, 18)

-Válvula de Admisión

Debido a efectos de inercia, y el tiempo que conlleva abrir totalmente, la válvula de admisión está diseñada para abrir momentos antes del punto muerto superior, de modo que cuando el pistón alcance totalmente el punto muerto superior, la válvula está totalmente abierta. (Gupta, 2009, pág. 18)

La mayoría de los motores de combustión interna trabajan a altas velocidades, por lo que, mientras el pistón se mueve hacia abajo durante la carrera de admisión, la mezcla ingresa en el cilindro a través de la válvula de admisión con un impulso considerable debido al alto diferencial de presión que se genera. Si la válvula se cierra justo en el punto muerto inferior, el llenado del cilindro no sería completo debido a las altas velocidades con la que se mueve el pistón. Por obvias razones, el pistón alcanzará el punto muerto inferior antes de que la mezcla tenga el tiempo suficiente para ingresar en el cilindro a través del muy limitado paso de las toberas de admisión. En adición, existe una considerable resistencia al flujo de la mezcla a través del cuerpo de aceleración. Esto significa que la válvula de admisión es cerrada en el punto muerto inferior del cilindro para cada ciclo por lo que no tendrá un llenado completo del cilindro y la presión interna del cilindro estará por debajo de la presión atmosférica. (Gupta, 2009, pág. 18)

Consecuentemente, la válvula de admisión se mantendrá abierta hasta que la presión del cilindro igual la presión atmosférica. Tan pronto como el pistón revierte su movimiento y comienza la carrera de compresión, parte de la mezcla sería enviada de retorno por el colector de admisión, por lo que se determina que no es factible mantener abierta la válvula abierta después del punto muerto inferior. (Gupta, 2009, pág. 18)

-Válvula de Escape

Con el objetivo de evacuar la mayor cantidad de residuos producidos por la combustión, la válvula de escape abre antes del punto muerto inferior. Así, algunos de los gases de escape salen en virtud del diferencial de presión existente entre el cilindro y la atmosférica, por lo tanto, los gases combustionados fluyen libremente desde el cilindro durante el tiempo que el pistón se encuentra en carrera de escape. Esta carrera es donde el pistón realiza la menor cantidad de trabajo con el fin de poder liberar los gases hacia afuera del cilindro. (Gupta, 2009, pág. 19)

La figura a continuación es un ejemplo de cuando se abren las válvulas.



Figura 2-11: Sincronización de válvulas motor 4T

Fuente: Palord, 2013

Nótese que existe un periodo donde ambas válvulas están cerradas, este pequeño instante también es conocido como traslape de válvulas.

2.5. Diferencias entre motores 2T y 4T

Una comparativa entre motores de dos y cuatro tiempos indicando sus relativos méritos y desventajas es presentada en la tabla a continuación:

Tabla 2-1: Diferencias entre motor 4T y 2T

Motor 4T	Motor 2T
<ul style="list-style-type: none"> • Una carrera de trabajo es obtenida cada dos revoluciones del cigüeñal, hay que considerar que el ciclo es completo cada 4 carreras del pistón o 2 revoluciones del cigüeñal. • Al existir solo una carrera de trabajo cada dos revoluciones del cigüeñal, hace que el movimiento del cigüeñal 	<ul style="list-style-type: none"> • Una carrera de trabajo es obtenida en cada revolución, el ciclo se considera completo cada 2 carreras del cigüeñal o cada revolución. • El movimiento en el eje del cigüeñal es más uniforme por lo que se necesita un volante de inercia menos robusto.

<p>no sea uniforme por lo que se necesita volantes de inercia y contrapesas en el cigüeñal para que exista un movimiento uniforme.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contiene válvulas y mecanismos que las hacen abrirse y cerrarse • Debido al alto peso y complicado diseño de mecanismos para las válvulas, el costo inicial es relativamente alto. • Debido a un barrido positivo y mayor tiempo de inducción, su eficiencia térmica y volumétrica son superiores. • Normalmente enfriados por agua, consumen una menor cantidad de lubricante, mismo que es colocado en el cárter y no se mezcla con el combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene toberas, sin embargo, algunos motores poseen una válvula de escape, esta última no es común. • Es liviano y pesa menos al no tener válvulas ni mecanismos para las mismas, por lo que su costo inicial es relativamente bajo. • Tienen menor eficiencia térmica y volumétrica, parte de la carga es liberada sin ser combustionada. • Normalmente son enfriados por aire, y requieren mayor lubricante ya que este es mezclado con el combustible.
---	---

Fuente: (Gupta, 2009)

Realizado por: Autores

2.6. Medidas características de un motor

2.6.1. Potencia

La potencia desarrollada por un motor, concretamente en su cilindro, no es asimilada totalmente por el cigüeñal, debido a que una parte sustancial de esta es dispersada por las resistencias pasivas (Giacosa, 1989, pág. 120). Por lo que se puede distinguir 3 tipos de potencia:

- Potencia Indicada
- Potencia absorbida
- Potencia efectiva

2.6.2. *Potencia Indicada*

Se considera a la potencia indicada a la potencia desarrollada por el fluido en el cilindro. Por lo que para determinar la potencia indicada será suficiente con multiplicar el trabajo realizado durante una carrera, por el número de carreras útiles (tiempos) efectuadas en la unidad de tiempo (Giacosa, 1989, pág. 121).

Se lo caracterizó con la siguiente fórmula:

$$N_i = \frac{V \cdot p_i \cdot n}{225 \cdot h}$$

Donde:

N_i = presión media efectiva (kg/cm³)

V = cilindraje del motor (litros)

p_i = presión indicada (kg/cm³)

n = número de revoluciones por minuto (RPM)

h = número de tiempos del motor

2.6.3. *Potencia efectiva*

En contraste con la potencia indicada, la cual es la desarrollada por el fluido operante en el interior del cilindro del motor, la efectiva es más relevante, puesto que hace referencia al par disponible en el eje del motor, y por consecuencia, la potencia que este par genera. (Giacosa, 1989, pág. 121)

En otra literatura también es conocida como potencia al freno, ya que es medida con un dispositivo cuya función es generar un freno al eje del motor, oponiéndose al par motor, permitiendo medir su valor. (Giacosa, 1989, pág. 122)

Se lo puede representar con la siguiente ecuación:

$$N_e = \frac{2\pi}{4500} R \cdot F \cdot n$$

Donde:

N_e = potencia efectiva

R = Radio del cigüeñal (m)

F = Fuerza de freno (kgf)

N = Revoluciones del motor (RPM)

2.6.4. Potencia absorbida

La potencia absorbida es la potencia necesaria para poder los rozamientos que existe entre las partes mecánicas y se pueda dar un movimiento mecánico. Matemáticamente se lo considera como el diferencial de potencial entre la potencia indicada y la potencia efectiva. (Giacosa, 1989, pág. 123)

2.7. Rendimiento

Se considera como rendimiento a la relación entre lo obtenido en lo práctico y lo ideal.

2.7.1. Rendimiento mecánico

Se lo considera como la relación de trabajo útil medido sobre el cigüeñal y el trabajo indicado. Para su cálculo se debe tener especial consideración por los elementos móviles (pistón, aros, pernos), además de los elementos auxiliares del motor (accionamiento de la distribución, bomba de aceite, bomba de agua). También se debe considerar el trabajo absorbido por las carreras de admisión y escape. Como nota importante, cabe destacar que el rendimiento es mermado en función de la cilindrada unitaria de cada cilindro. Para autos modernos se considera un rendimiento mecánico de un 70% (Giacosa, 1989, pág. 127)

2.7.2. Rendimiento termodinámico

Es la relación entre el trabajo indicado, dado por el área del ciclo, y su equivalente de calor utilizado para obtenerlo. Este rendimiento está muy ligado con la calidad de la cámara de combustión (forma y disposición de las válvulas). (Giacosa, 1989, págs. 126, 127)

2.7.3. Rendimiento volumétrico

Hace referencia a la relación del aire que ingresó en el cilindro y su cilindraje (hace referencia al peso del aire), en condiciones atmosféricas de 15 °C y 760 mm Hg. Cabe mencionar que a menos de que el motor sea sobrealimentado, su valor está oscilando entre 0.7 y 0.85. (Giacosa, 1989, pág. 128)

2.8. Emisiones de escape

Se considera como gases de escape a la mezcla de productos de combustión producidos por motores de combustión interna emitidos por el tubo y enviados hacia la atmósfera.

2.8.1. Hidrocarburos

Los Hidrocarburos (HC) proviene de gasolina no combustionada y es medida en partes por millón (ppm). Una correcta operación del motor debería combustionar (oxidar) casi toda la gasolina; por lo tanto, únicamente una muy pequeña parte de combustible no combustionado debería estar presente en los gases de escape. Se considera como niveles aceptables de HC a 400 ppm o menos. Altos niveles de HC pueden ser producto de un alto consumo de aceite causado por los aros del pistón que no se encuentran en buen estado o válvulas gastadas. Además, una causa común para altos niveles de HC está dada por el sistema de ignición, por lo que los elementos que se deberían revisar son (Halderman, 2006, pág. 311):

- Bujías
- Cable de bujías
- Tapa de distribuidor y rotor
- Distribución
- Bobina

2.8.2. Monóxido de Carbono

Monóxido de carbono (CO) es inestable y se combina fácilmente con cualquier forma de oxígeno estable con el fin de formar dióxido de carbono (CO₂). El hecho de que el CO se combina con oxígeno es la razón de que el CO sea un gas venenoso (en los pulmones, se combina con oxígeno para formar CO₂ y privar al cerebro de aire). Los niveles de CO de un motor que funciona bien deberían ser menores al 2%, Altos niveles de CO pueden ser causado por (Halderman, 2006, pág. 311):

- Filtro de aire obstruido
- Velocidad de relanti incorrecta
- Alta presión de combustible generado por la bomba
- Cualquier otra condición que pueda enriquecer la mezcla aire-combustible

2.8.3. Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es el resultado del oxígeno en el motor combinándose con el carbono de la gasolina. Un nivel aceptable de CO₂ está dado entre el 12% y el 15%. Una lectura alta indica un eficiente funcionamiento del motor, si el nivel es muy bajo, la mezcla puede ser o muy rica o pobre. (Halderman, 2006, pág. 311)

2.8.4. Oxígeno

El siguiente gas es el oxígeno (O₂). Existe cerca del 21% de oxígeno en la atmosfera, y la mayoría de este oxígeno debería haber sido usado durante el proceso de combustión para poder oxidar todo el hidrogeno y carbono (hidrocarburo) en la gasolina. Los niveles del O₂ deberían ser bajos (alrededor del 2%). Altos niveles de este gas, especialmente en el relanti, pueden ser producidos por una fuga en el colector de escape. (Halderman, 2006, pág. 311)

2.8.5. Óxidos de Nitrógeno

Un óxido de nitrógeno (NO) como características se puede mencionar que es incoloro, sinsabor e inoloro cuando abandona el motor, pero tan pronto como sale a la atmosfera y se mezcla con más oxígeno, el dióxido de nitrógeno es formado (NO₂). NO₂ es de color marrón rojizo y tiene un olor ácido y acre. NO y NO₂ se agrupan y se denominan NO_x, donde x representa cualquier número de átomos de oxígeno. NO_x, es el símbolo utilizado. Para representar todos los óxidos de nitrógeno, es el quinto gas comúnmente probado con un analizador de cinco gases. El sistema de recirculación de gases de escape (EGR) es el principal dispositivo de control que limita la formación de estos gases. (Halderman, 2006, pág. 311)

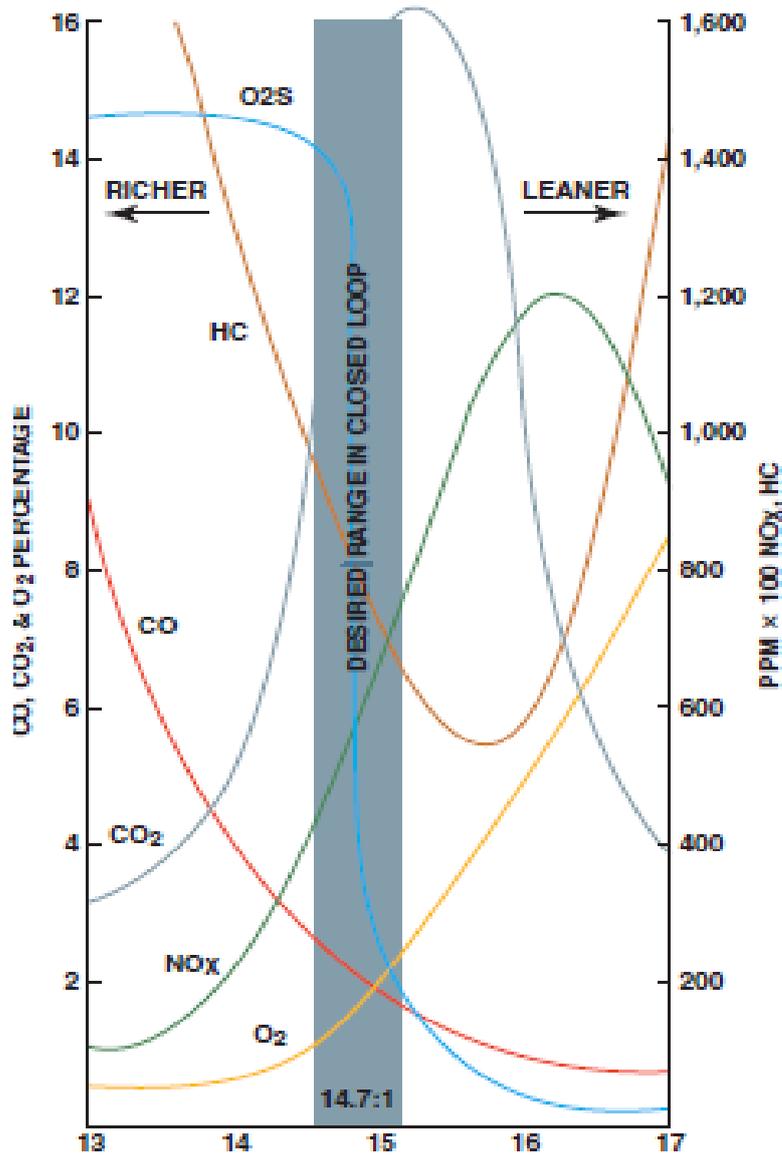


Figura 2-12: Formación de gases a diferentes niveles de mezcla aire-combustible

Fuente: (Halderman, 2006)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Metodología Aplicada

Se aborda el presente estudio con un método experimental que se deriva del método empírico-analítico, mediante el cual se trabajará bajo condiciones controladas (protocolos, lógica empírica y decisiones fundamentadas), modificando la geometría de la cámara de combustión de un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico de 200cc, empleando una fresa CNC y su influencia directa en el cálculo de los parámetros: torque, potencia, consumo y emisiones, buscando solventar la hipótesis de que si la geometría de la cámara de combustión afecta a los parámetros anteriormente indicados, dentro un motor de combustión interna. En la figura 3-1 se observa el ciclo de investigación científica planteado por Neil J. Salkind en su libro “Métodos de Investigación”, que representa una formulación de pasos a seguir a la hora de aplicar el método empírico-analítico o sus derivados. Por otro lado, en la figura 3-2 se ajusta el ciclo al presente trabajo de investigación.

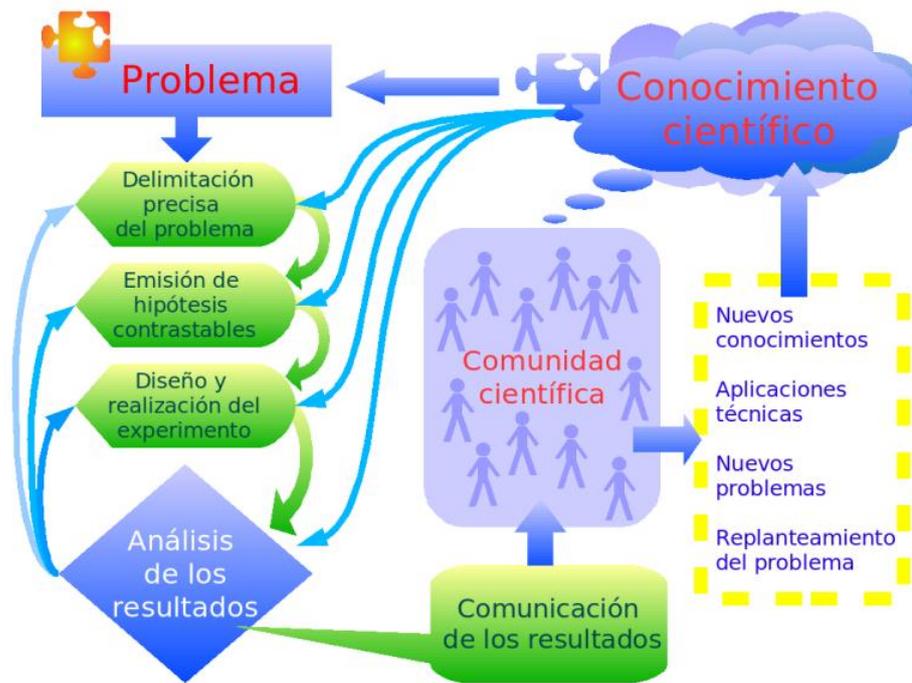


Figura 3-1: Ciclo de Investigación científica de Salkind

Fuente: https://Ciclo_de_la_investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADfica

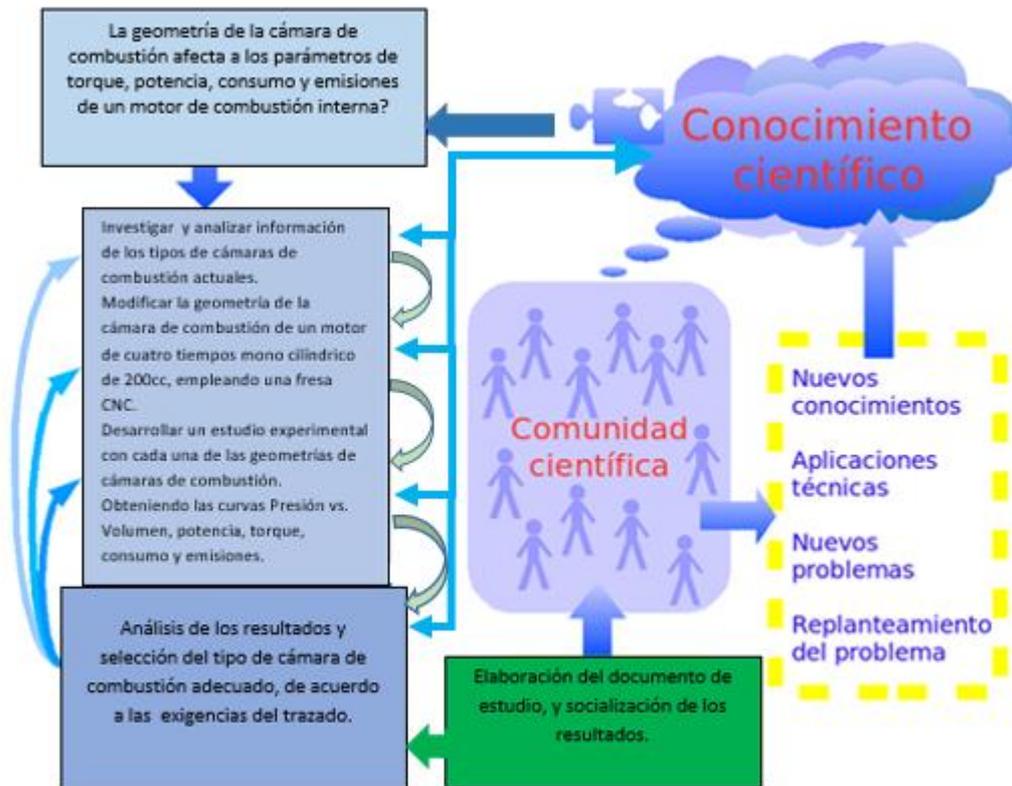


Figura 3-2: Ciclo de Investigación aplicado al presente estudio.

Fuente: Los autores

3.2. Adquisición de Señales

La adquisición de señales o datos mediante la DAQ es el proceso de recibir y captar los datos generados durante las fases de combustión, para lo cual se necesita de diferentes hardware con un ordenador que interprete los fenómenos eléctricos (voltaje, corriente, etc.) o físico (presión, temperatura, etc.). El sistema DAQ utiliza una combinación de sensores, hardware y un computador con software programable. Aunque cada sistema de adquisición de datos está definido por la aplicación específica a realizar, está básicamente conformado por los elementos citados; para la investigación en curso.

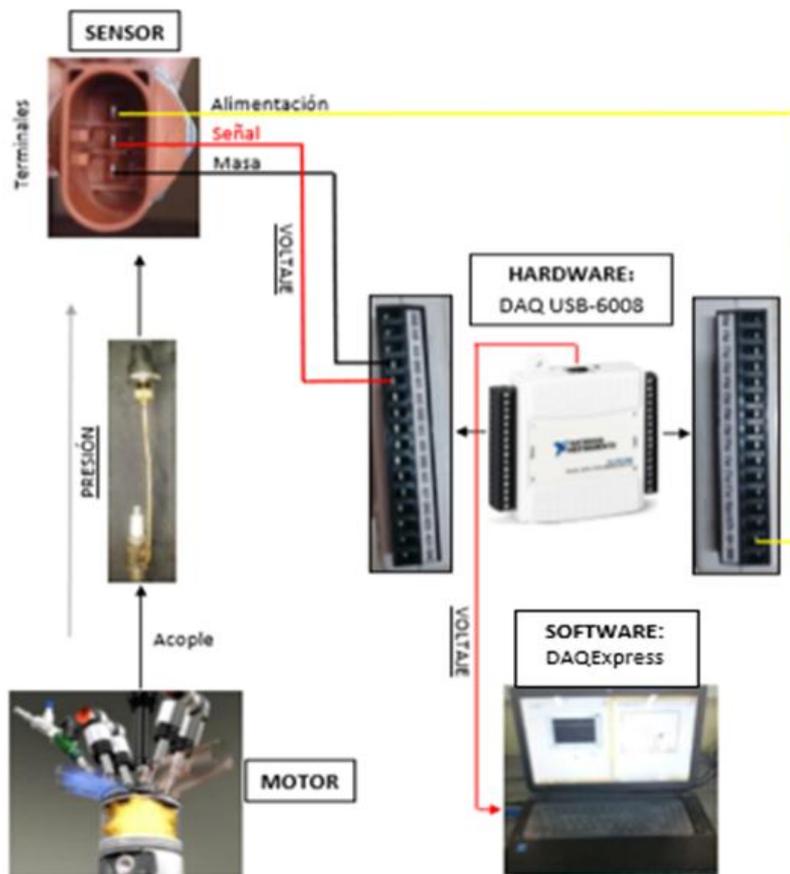


Figura 3-3: Esquema general de adquisición de señales

Fuente: Los autores

3.3. Desarrollo del algoritmo

Para obtener el voltaje del sensor en tiempo real del motor, se desarrolla un algoritmo en el software DAQExpress, el cual se puede observar en la figura 3-4. El canal de la tarjeta de adquisición de datos fue configurado de tal manera que se obtengan 2500 datos de voltaje por cada segundo, esto debido a que el pistón trabaja a grandes velocidades dentro del cilindro y es preciso obtener varios valores que demuestren el comportamiento exacto de la presión en las distintas fases de funcionamiento del motor.

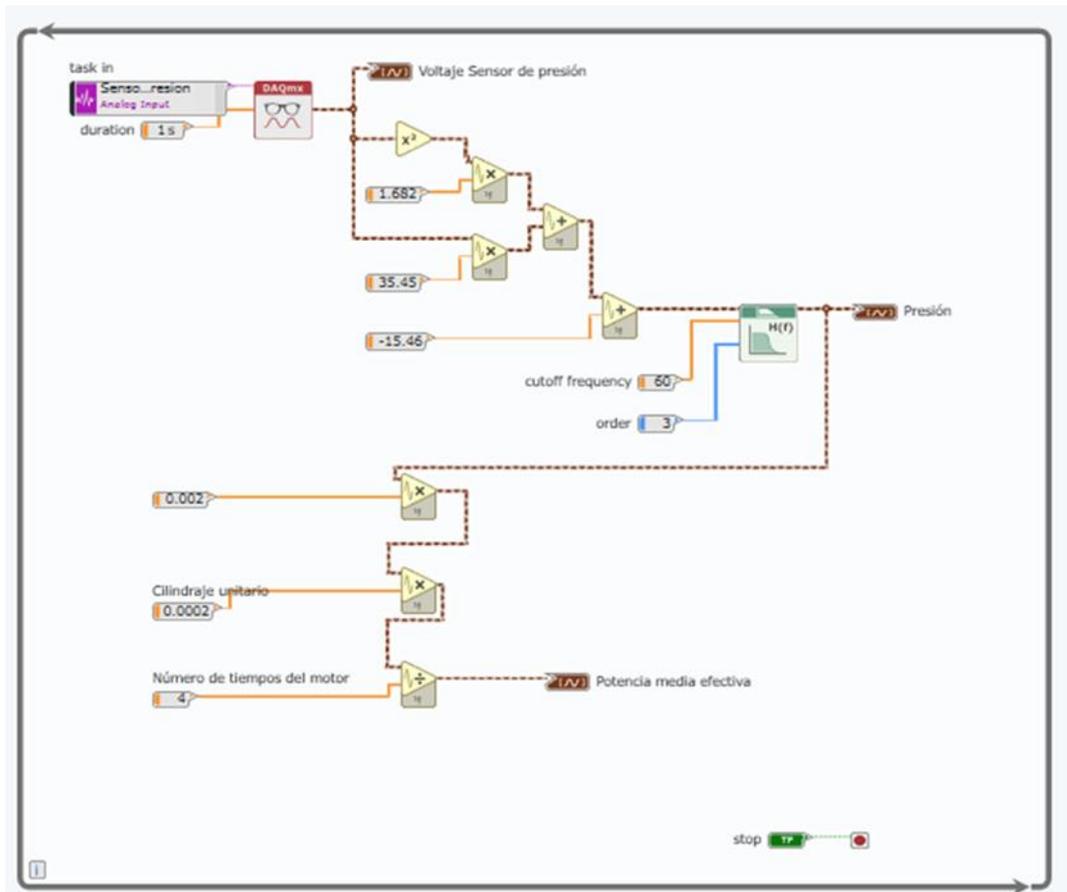


Figura 3-4: Algoritmo para la adquisición de la señal de voltaje

Fuente: DAQExpress

3.4. Adquisición de datos

3.4.1. Instalación del sensor de voltaje y lecturas

Antes de efectuar las distintas pruebas, se instala a la motocicleta de manera firme tanto el acople con el sensor de presión y el sistema de refrigeración, cuyo ventilador se alimenta directamente de la batería de la motocicleta. El sistema completo antes de ser acoplado se observa en la figura 3-5; por otro lado, en la figura 3-6 se muestra el sistema instalado ya en la motocicleta.

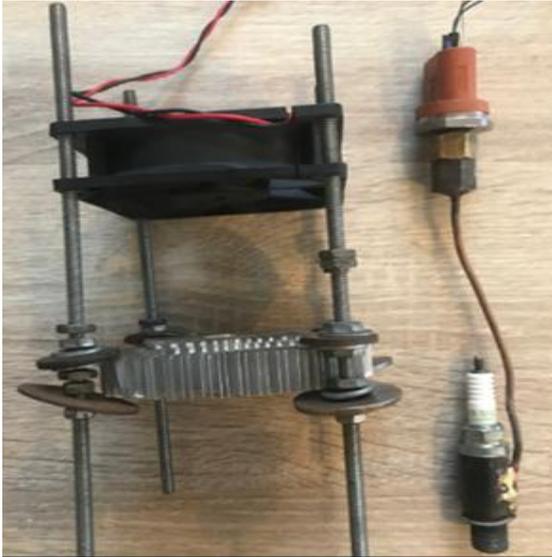


Figura 3-5: Acople, sensor de presión, sistema de refrigeración

Fuente: Los autores



Figura 3-6: Sensor de presión acoplado a la motocicleta

Fuente: Los autores

La motocicleta como se observan en la figura 3-7; está en condiciones idóneas de funcionamiento, es decir, no presentan problemas mecánicos o eléctricos que pudiesen afectar el torque y potencia de los mismos durante las pruebas.



Figura 3-7: Motocicleta: Ranger; modelo: 200-5

Fuente: Los autores

Además, la casa fabricante de la motocicleta ofrece la siguiente ficha técnica de la motocicleta, en la cual se pudo verificar datos relacionados al motor en estudio.

MOTOR	
Tipo de motor	Un cilindro, 4 tiempos, refrigerado por aire
Cilindraje	197.4 CC
Relación de compresión	7.3:1
Máxima Potencia (HP/RPM-KW/RPM)	8.3/8500
Máximo torque (N-M/RPM)	8.0/8200
Método de encendido	Electric
Sistema de encendido	C.D.I / PEDAL
Anti-vibración	BALANCE

TRANSMISIÓN	
Sistema de transmisión	5 Velocidades
Transmisión final	Cadena

DIMENSIONES Y PESO	
Distancia entre ejes	1336MM
Peso neto	135KG
Carga máxima	100KG
Capacidad de combustible en tanque	19 L

OTROS	
Sistema de frenos (Del/post)	DISCO/DISCO
Suspensión Delantera	TELESCOPICA NORMAL
Tacometro	DIGITAL
Suspensión Posterior	MONO SHOCK
Velocidad máxima	120km/h
Batería	12V 6.5 A

Figura 3-8: Ficha técnica RANGER 200-5

Fuente: https://issuu.com/ideandopublicidad1/docs/catalogo_ranger_2018_low

3.5. Pruebas Dinámicas

No existe un protocolo de ensayo para motores de motocicletas en el país, sin embargo, se ha tomado como referencia ciertas pautas de la norma INEN 960 cuya norma establece el método general de ensayo para motores de vehículos automotores en la determinación de la potencia neta del motor. Esto para tener una referencia técnica.

El uso de un protocolo de ensayo es necesario para el desarrollo del estudio, ya que brinda los lineamientos básicos para evaluar el rendimiento del motor en función de la velocidad de la motocicleta sin variabilidad de condiciones entre prueba y prueba. Es decir, se realizaron tanto bajo los mismos parámetros de funcionamiento como ambientales, obteniendo de esta manera datos reales y veraces.

En el presente estudio se realizaron 3 pruebas, que corresponden a velocidades de circulación promedio de la motocicleta, obteniendo 2500 voltajes para cada una de ellas.

Tabla 3-1: Velocidades de la motocicleta en las distintas pruebas dinámicas

Nro. Prueba	1	2	3
Velocidad motocicleta (km/h)	20	40	60

Fuente: Los autores

El protocolo para la realización de las pruebas dinámicas del presente estudio contemplo:

- Uso de gasolina súper (92 octanos).
- Altura relativa de 2500 msnm, por lo tanto, presión barométrica ≈ 0.77 bar.
- Temperatura del aire de admisión al motor: $\approx 23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Temperatura idónea del refrigerante, en un rango de 85 a 90°C.
- Temperatura de la banda de rodadura entre 30 y 35°C.
- Buen estado de la banda de rodadura, es decir sin excesivo desgaste.
- Velocidad constante durante un minuto y en cuarta marcha, ya que representa la relación de transmisión directa.
- La velocidad del motor durante una prueba o lectura, no debe desviarse de la velocidad seleccionada, en más de $\pm 1\%$ o en ± 10 rev/min.
- Los 2500 datos de voltajes que se obtienen en un segundo en cada prueba mediante la DAQ, son exportados a Excel para su posterior análisis.

La norma establece que los motores deben arrancarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, pero el principal requerimiento es alcanzar y mantener constante la velocidad de la prueba durante un minuto.

La velocidad de la motocicleta asciende paulatinamente hasta llegar en cuarta marcha a 20 km/h (primera prueba) esto en un lapso de tiempo de 10 segundos. Se mantiene esta velocidad constante durante un minuto y al final de aquel periodo se procede a tomar los datos con la DAQ, cuya

actividad es instantánea ya que se realiza en 1 segundo. Posteriormente, se desciende la velocidad de la motocicleta gradualmente, para esto se emplea otros 10 segundos, finalizando la prueba.

Se repite el mismo procedimiento para cada una de las 3 pruebas, tanto con la cámara de combustión en su estado de fábrica, como con el cambio de la geometría de la cámara; es decir se realizaron dos ensayos con 3 pruebas cada uno.

De esta manera se podrá contrastar resultados y determinar las mejores condiciones de desempeño del motor.

3.6. Procesamiento de señales

La presión (magnitud física) en tiempo real medida por el sensor piezoeléctrico en el interior del cilindro, depende directamente del voltaje (magnitud eléctrica) del mismo.

Se ha tomado como referencia la siguiente tabla de presiones del sensor, desarrollada mediante funciones matemáticas e interpolaciones lineales con datos proporcionados por un manómetro y un banco de inyección de Riel Común CRDi. Este banco presenta la capacidad de variar y fijar de manera constante la presión en el riel de combustible, por lo que se puede medir mediante un multímetro automotriz o mediante la DAQ los distintos voltajes que brinda el sensor. Esta tabla fue desarrollada en estudios previos de maestría de la Politécnica Nacional del Ecuador.

Voltaje	Presión	Presión
V	Bar	Psi
0.5109	0	0
0.5189	3.7921	55
0.5221	5.1710	75
0.5723	6.2052	90
0.6031	6.8947	100
0.63	7.9057	114.6635
0.68	9.7849	141.9191
0.72	11.2881	163.7217
0.86	16.5499	240.0377
1.2	29.3286	425.3767
1.75	50	725.19
2.05	60	870.2264
2.16	70	1015.2641
2.27	75	1087.7830
2.44	80	1160.3019
2.62	90	1305.3396
2.87	100	1450.3773
3.07	110	1595.4151
3.18	120	1740.4528
3.39	125	1812.9717
3.62	130	1885.4905

Figura 3-9: Presión-voltaje del sensor.

Fuente: Los autores

Los valores de voltaje y presión obtenidos se ingresan en forma de vectores en la ventana de comandos del software Matlab y se los grafica mediante el comando cftool. En la figura 3-9, se observa la gráfica en dos dimensiones de los vectores ingresados.

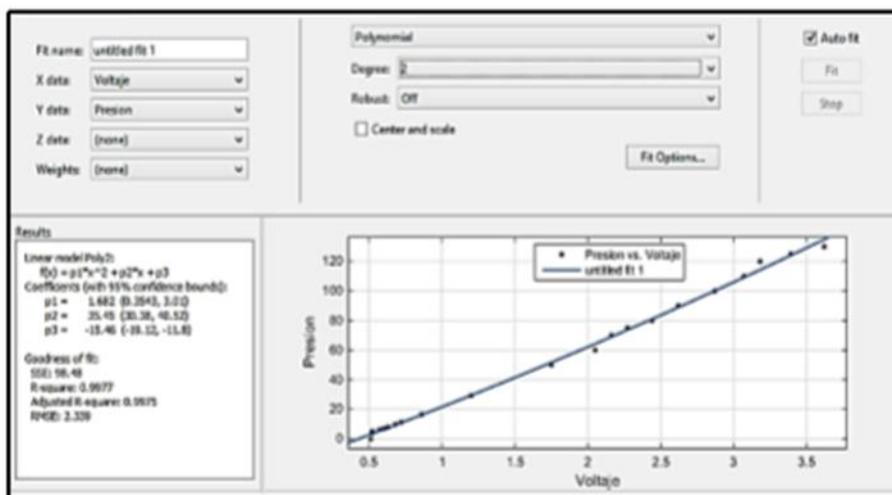


Figura 3-10: Gráfica presión-voltaje del sensor.

Fuente: DAQExpress

El polinomio de grado 2 que rige la presión en función del voltaje es:

$$\text{Presión} = 1.682x^2 + 35.45x - 15.46$$

CAPÍTULO IV

4. CÁLCULO DEL TORQUE, POTENCIA Y GASES DE ESCAPE

4.1. Cálculo del torque

En física, la fuerza que producen los cuerpos en rotación es eso que llamamos torque. El torque es una fuerza que tiende a rotar o hacer que las cosas giren. Lo cual también aplica para un automóvil o motocicleta, ya que el efecto es el mismo. Existe una fuerza aplicada a una distancia determinada.

Mientras mayor sea el torque máximo de un motor, más fuerte es. Lo que nos lleva a la conclusión de que un motor tendrá más fuerza que otro cuando su torque máximo sea mayor.

El torque se calcula simplemente multiplicando la fuerza por la distancia. En el SI (Sistema Internacional de Unidades) se representan con las unidades newton-metro.

En el presente estudio se recurrió a una serie de artilugios mecánicos, matemáticos y físicos para la determinación de este indicador del funcionamiento del motor.

El software DAQExpress, según lo explicado en el capítulo anterior, una vez seguido todo el protocolo de prueba que estable la norma INEN 960, nos arroja los datos referentes al voltaje del motor a las tres velocidades de prueba, es decir 20, 40 y 60 km/h.

El mismo procedimiento de cálculo aplica para la cámara de combustión con la geometría modificada.

Tabla 4-1: Voltaje del motor medido a las distintas velocidades de prueba.

VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (Km/h)
0.5	0
0.51	20
0.53	40
0.52	60

a) Cámara original sin modificar

VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (Km/h)
0.51	0
0.52	20
0.54	40
0.52	60

b) Cámara modificada

Con los datos de la tabla 4-1, mediante la expresión matemática siguiente se procedió al cálculo de la presión media efectiva en función del voltaje obtenido con el sensor piezoeléctrico, mientras este se encontraba en el interior del cilindro.

$$\text{Presión} = 1.682x^2 + 35.45x - 15.46$$

Tabla 4-2: Presión media efectiva calculada en función del voltaje.

VOLTAJE (V)	PRESIÓN (Pa)
0.5	268550
0.51	305698.82
0.53	380097.38
0.52	342881.28

a) Cámara original sin modificar

VOLTAJE (V)	PRESIÓN (Pa)
0.51	305698.82
0.52	342881.28
0.54	417347.12
0.52	342881.28

b) Cámara modificada

Una vez obtenida la presión media efectiva del cilindro a cada una de las velocidades, se recurre a la fórmula universal de la presión (parámetro físico) siguiente, para despejar la fuerza, cuyo dato es necesario para el cálculo del torque del motor.

$$\text{Presión} = F/A$$

$$\text{Fuerza} = P * A$$

Donde:

P= Presión

F= Fuerza

A= Área

La fuerza F corresponde a la fuerza del pistón.

El área A corresponde al área del pistón cuyo valor es 0.1413 m².

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4-3: Fuerza calculada en función de la presión que ejerce el pistón dentro del cilindro, en las tres pruebas

VELOCIDAD (Km/h)	FUERZA (N)
0	3796.49
20	4321.66
40	5373.43
60	4847.31

a) Cámara original sin modificar

VELOCIDAD (Km/h)	FUERZA (N)
-----------------------------	-------------------

0	4321.66
20	4847.31
40	5900.03
60	4847.31

-
- a)
 - b) Cámara modificada

Una vez obtenida la fuerza calculamos el torque empleando la expresión física:

$$\text{Torque} = F * D$$

Donde:

F = Fuerza

D = Distancia

La distancia D corresponde a la distancia que recorre el pistón desde el punto muerto superior del cilindro hasta el punto muerto inferior (carrera), cuyo valor es 0.090 m.

Tabla 4-4: Torque del motor a cada una de las velocidades de prueba

VELOCIDAD (Km/h)	TORQUE (N.m)
0	5.69
20	6.48
40	8.06

60	7.27
-----------	------

a) Cámara original sin modificar

VELOCIDAD (Km/h)	TORQUE (N.m)
-----------------------------	---------------------

0	6.48
----------	------

20	7.27
-----------	------

40	8.85
-----------	------

60	7.27
-----------	------

a)

b) Cámara modificada

4.2. Diagrama del torque

Mediante la utilización del programa Excel 2013, se pudo graficar la curva del torque en función de la velocidad de la motocicleta. Donde se puede observar el punto de torque máximo, y después el declive del mismo, esto debido al rendimiento volumétrico deficiente del motor, ya que a altas revoluciones el cilindro no se llena adecuadamente, debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el espacio disponible y la relación ideal de aire : combustible en un motor de gasolina que es de 14,7 kg de aire por 1 kg de combustible sufre cambios, provocado una caída en el torque del motor.

En las figuras siguientes se observa los diagramas del torque del motor sin modificar la cámara de combustión y con la geometría de la cámara de combustión modificada.

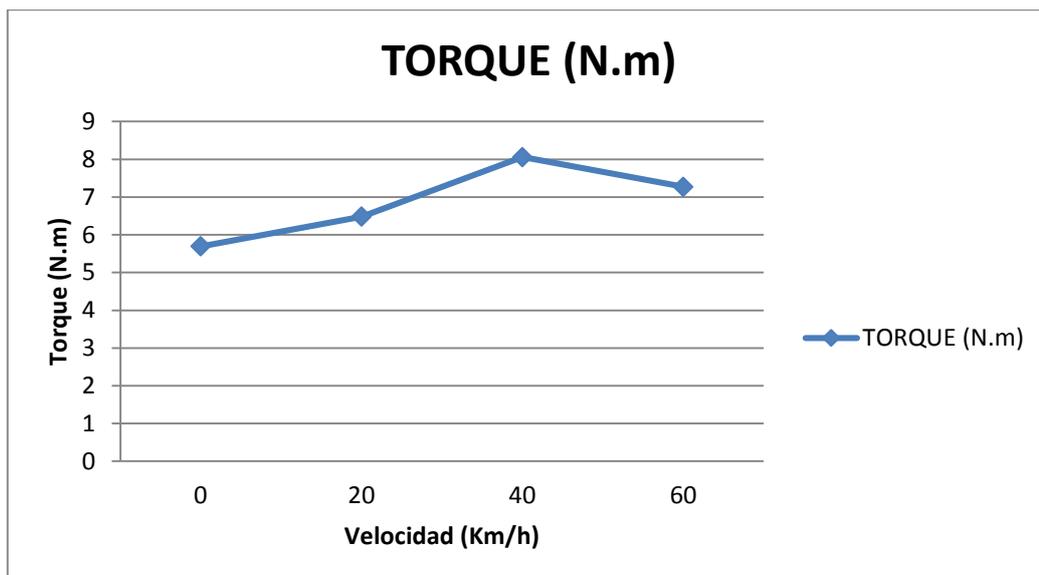


Grafico 4-1: Torque (Nm) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 sin modificación

Fuente: Los autores

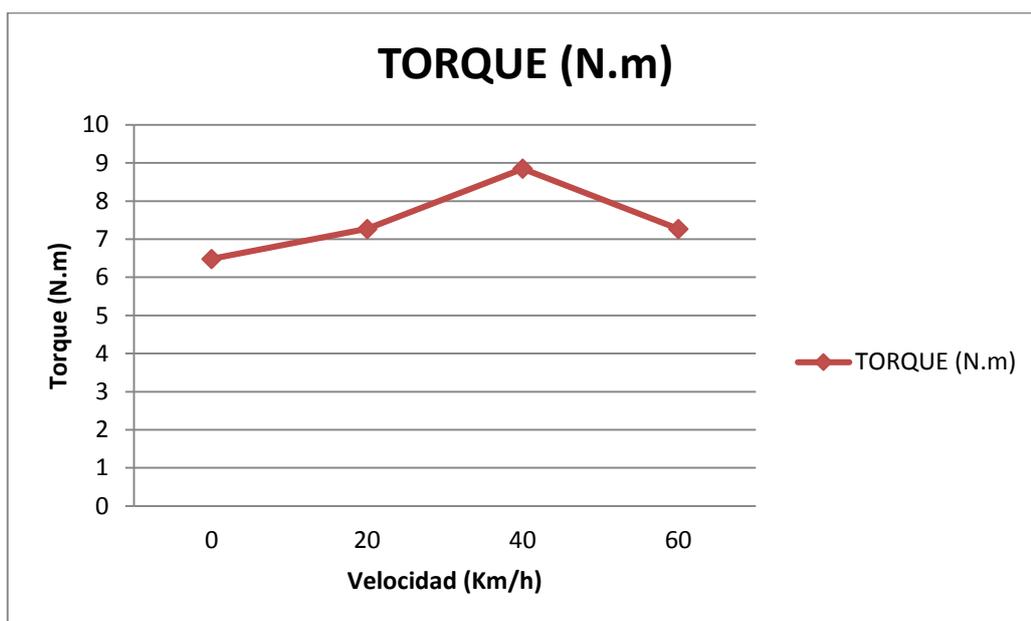


Grafico 4-2: Torque (Nm) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 con modificación.

Fuente: Los autores

4.3. Calculo de la potencia

La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor. La potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar la fuerza del pistón por la velocidad de giro en que lo genera.

Para lo cual empleamos la siguiente ecuación para calcular la potencia:

$$\text{Potencia: } F * V$$

Donde:

F = Fuerza

V = Velocidad de la rueda

El mismo procedimiento de cálculo aplica para la cámara de combustión con la geometría modificada.

Tabla 4-4: Potencia del motor a cada una de las velocidades de prueba

VELOCIDAD (Km/h)	POTENCIA (W)
0	0
20	2398.52
40	5969.88
60	4847.31

a) Cámara original sin modificar

VELOCIDAD (Km/h)	POTENCIA (W)
0	0
20	2690.25

40	6554.94
60	4847.31

a) Cámara modificada

4.3.1. Diagrama de la potencia

En el diagrama podemos observar la potencia máxima del motor y como el exceso de revoluciones ocasiona que ésta disminuya debido a que el sistema de inyección de combustible tiene un límite operativo y una vez llegado a este punto se pierde la eficiencia para inyectar el combustible eficazmente; además, el sistema de distribución no es capaz de abrir y cerrar las válvulas con la suficiente velocidad para que los gases de escape y de admisión fluyan adecuadamente.

El límite máximo de revoluciones a la que puede girar el motor está establecido por las propias limitaciones de los elementos mecánicos que lo constituyen.

En las figuras siguientes se observa los diagramas de potencia del motor sin modificar la cámara de combustión a) y con la geometría de la cámara de combustión modificada b).

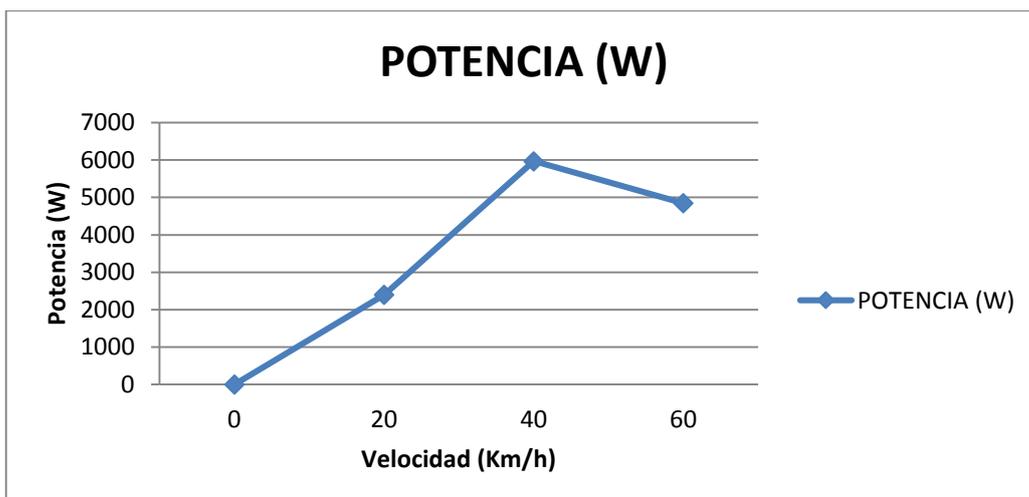


Grafico 4-3: Potencia (W) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 sin modificación.

Fuente: Los autores

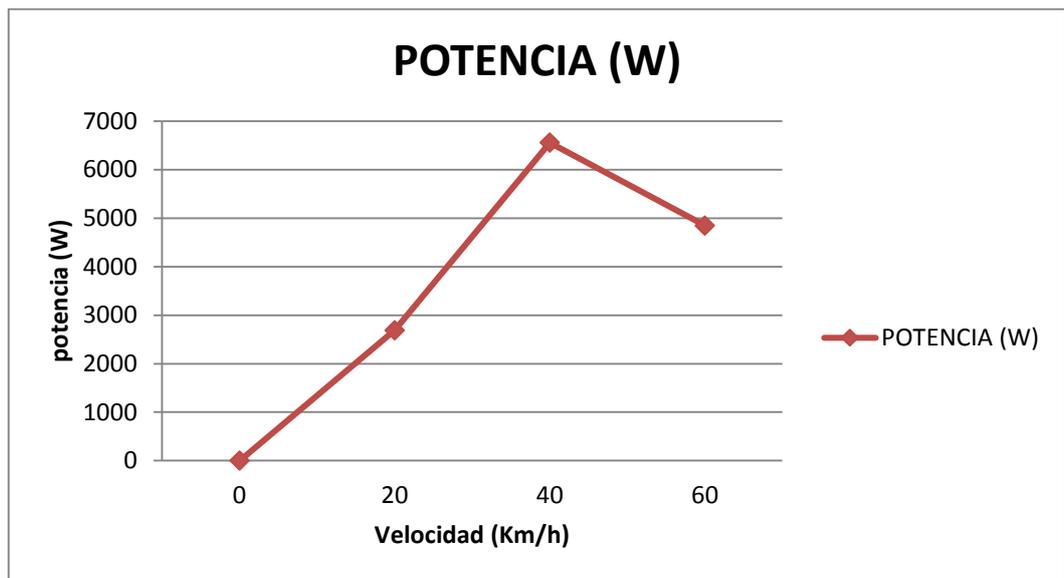


Grafico 4-4: Potencia (W) del motor de la motocicleta RANGER 200-5 con modificación

Fuente: Los autores

4.4. Comparación del torque y potencia del motor, con modificación de la geometría de la cámara de combustión y sin modificación de la misma.

A continuación, podemos observar como varía la curva del torque y potencia del motor de la motocicleta en función del cambio de la geometría de la cámara de combustión del motor.

Al modificar la cámara de combustión, la potencia aumento 5.85 kW con respecto a la original y de la misma manera el torque aumentó en 0.78 N.m, debido a que aumenta la presión del cilindro al aumentar la relación de compresión. Siendo de mayor eficacia el motor con la cámara modificada, puesto que el torque y la potencia está directamente relacionado con la fuerza del motor, y al haber un aumento de estos parámetros mayor será la fuerza que tiene el motor.

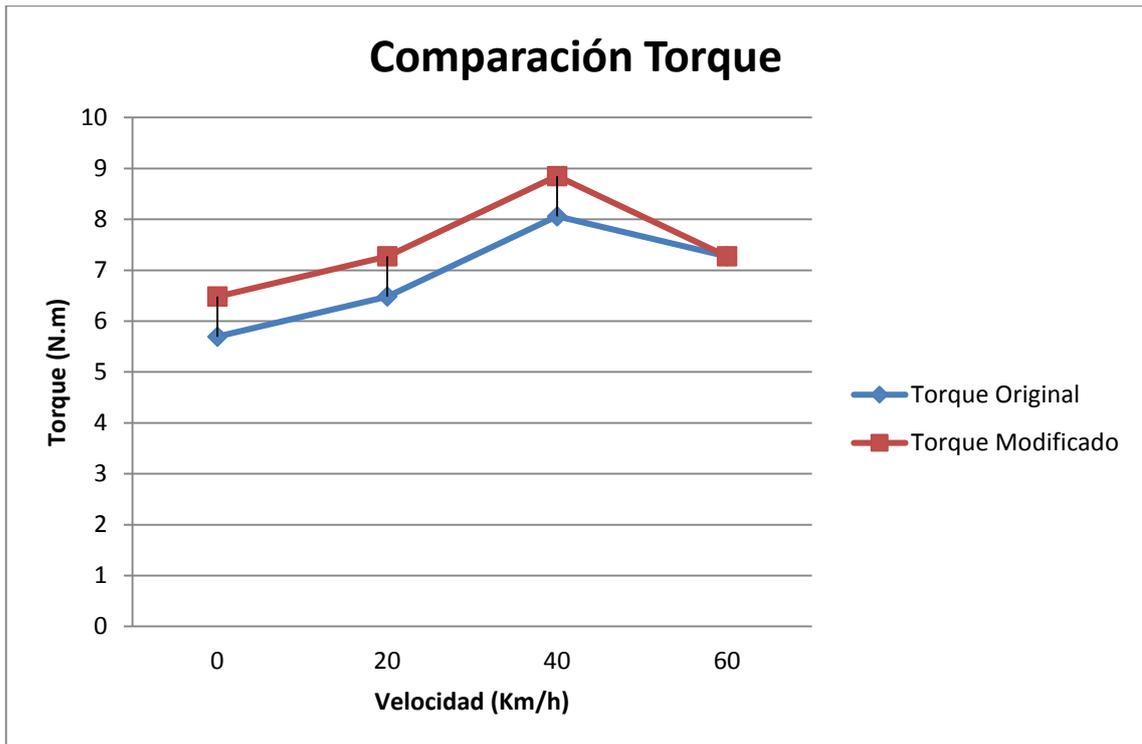


Grafico 4-5: Cuadro comparativo del torque (Nm) del motor de la motocicleta RANGER 200-5

Fuente: Los autores

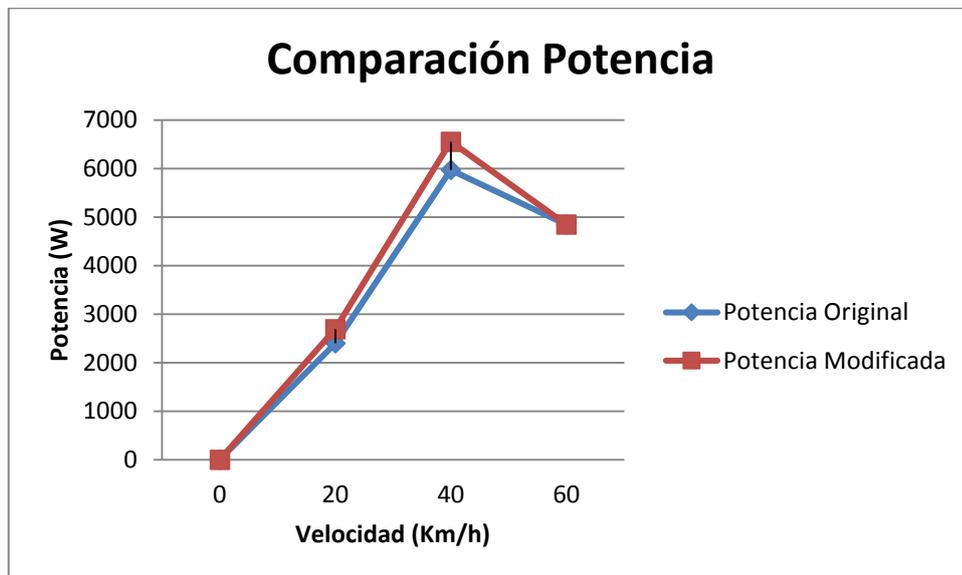


Grafico 4-6: Cuadro comparativo de la potencia (W) del motor de la motocicleta RANGER 200-5

Fuente: Los autores

4.5. Síntesis de las variables que intervienen en el proceso

Terminados los procesos de adquisición y procesamiento de señales, así como también el algoritmo matemático, se presenta a continuación un diagrama de bloques que permite identificar claramente las variables que intervienen en el proceso secuencial desde la recepción de los valores captados por el sensor hasta el punto de la obtención de los resultados finales.

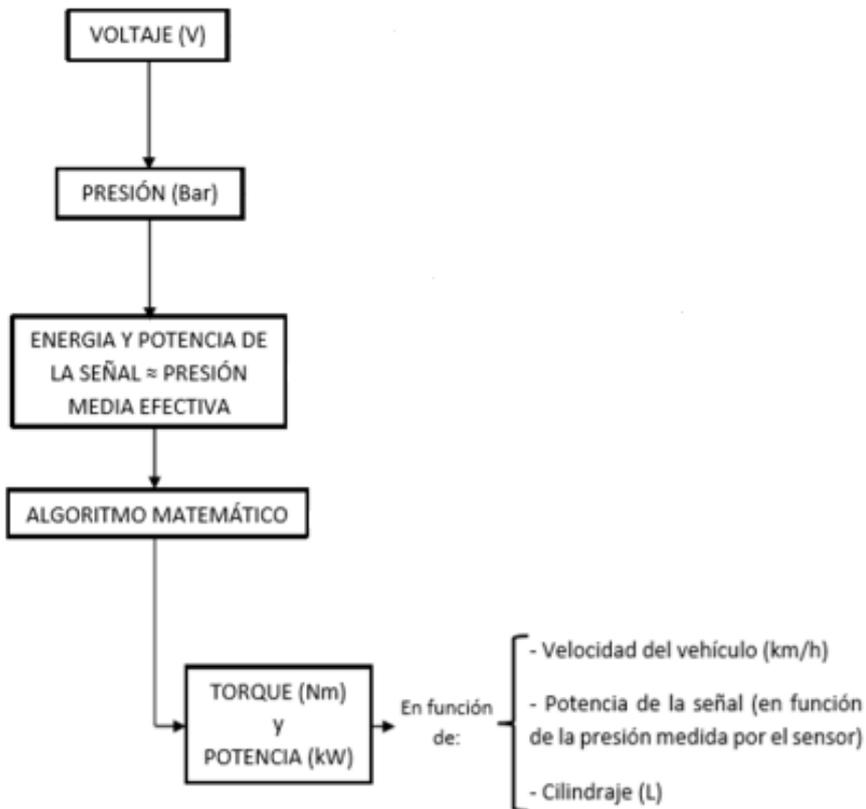


Figura 4-1: Flujo de las variables que intervienen en el cálculo del torque y potencia.

Fuente: Los autores

4.6. Gases de escape

Del resultado del proceso de combustión del motor, se obtienen diversos gases y productos, entre ellos los más importantes son el CO (Monóxido de carbono), el CO₂ (Dióxido de carbono), el O₂ (Oxígeno), Hidrocarburos no quemados (HC).

El analizador de gases de escape analiza la química de estos gases y nos dice en que proporciones se encuentran los mismos permitiéndonos determinar así el funcionamiento del motor y su incidencia con el medio ambiente de acuerdo a sus concentraciones.

Todos estos productos se obtienen a partir del aire y del combustible (en nuestro caso gasolina super), que ingresa al motor, donde se obtiene energía mecánica directamente de la energía química del combustible que arde dentro de la cámara de combustión de la motocicleta emanando gases de escape al ambiente.

Para determinar el funcionamiento del motor, la literatura nos indica que los valores normales que se deberían obtener a partir de la lectura del analizador de gases conectado al motor cuyo funcionamiento es el correcto, son los siguientes:

- CO < 2 %
- O2 < 2%
- CO2 > 12%
- HC < 400 ppm.

Por otro lado, en materia ambiental, el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 136 “MOTOCICLETAS” establece los requisitos que deben cumplir las motocicletas, con la finalidad de proteger el ambiente, mediante la expedición de los límites máximos de emisiones de gases contaminantes permitidos para motocicletas.

La norma establece que los parámetros de CO e HC no deben ser superiores a las señaladas en la Figura 4-8 para motocicletas cuyo modelo es partir del 2014. Cabe recalcar que nuestro objeto de estudio (motocicleta RANGER 200-5) es modelo 2010, sin embargo hemos querido considerar esta norma para tener una referencia técnica.

Tipo de motor	CO (% V)	HC (ppm)
Todas **	3,5	2 000

** A partir del año modelo 2014.

Figura 4-2: límites máximos de emisiones de gases contaminantes permitidos para motocicletas

Fuente: RTE INEN 136 “MOTOCICLETAS”

La norma establece un protocolo para pruebas de tal manera que podamos obtener resultados verídicos en cada prueba. Este protocolo señala que las pruebas dinámicas se las debe realizar en marcha mínima o ralenti y a temperatura normal.

En nuestro estudio realizamos dos pruebas, una a ralenti es decir a 1500rpm y una segunda prueba a 3000rpm.



Figura 4-3: Prueba de emisiones de gases

Fuente: Los autores

4.6.1. Analizador de Gases

Para la determinación de los gases de escape se utilizó un analizador de gases KANE AUTO PLUS 4-2, analizador portátil.



Figura 4-4: KANE AUTO PLUS 4-2

Fuente: <http://www.taact.com/analizadores/13-kane-analizador-de-gases-100-portatil.html>

Componentes del KANE AUTO 4-2 PLUS

- Unidad principal Analizador
- Holster protector de caucho
- Sonda de toma de gases
- Trampa de agua
- Set de filtros de repuesto

- **Baterías NiMh recargables**

- **Cargador**

- Manual de operación
- Maletín de transporte
- Software para PC
- Software ANDROID printer



Figura 4-5: KANE AUTO PLUS 4-2

Fuente: <http://www.taact.com/analizadores/13-kane-analizador-de-gases-100-portatil.html>

4.6.2. Resultados

El analizador de gases arroja los siguientes resultados, considerando el protocolo de medición, para la cámara de combustión sin modificar.

- Prueba de emisiones de gases a 1500 rpm:

MODELO: RANGER 200-5	
COMBUSTIBLE: GASOLINA	
CO₂ (%)	4.7
CO (%)	2.71
O₂ (%)	9.55
HC (PPM)	167

Figura 4-6: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 1500 rpm

Fuente: Los autores

- Prueba de emisiones de gases a 3000 rpm: KANE AUTO PLUS 4-2, analizador portátil.

MODELO: RANGER 200-5	
COMBUSTIBLE: GASOLINA	
(%)	4.7
CO (%)	3.57
(%)	9.08
HC (PPM)	111

Figura 4-7: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 3000 rpm.

Fuente: Los autores

Por otro lado el analizador de gases arrojó los siguientes resultados, considerando el protocolo de medición, para la cámara de combustión modificada.

Prueba de emisiones de gases a 1500 rpm (Modificado)

MODELO: RANGER 200-5	
COMBUSTIBLE: GASOLINA SUPER	
CO₂ (%)	4.6
CO (%)	2.60
O₂ (%)	9.36
HC (PPM)	157

Figura 4-8: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 1500 rpm.

Fuente: Los autores

Prueba de emisiones de gases a 3000 rpm (Modificado)

MODELO: RANGER 200-5	
COMBUSTIBLE: GASOLINA SUPER	
CO ₂ (%)	4.7
CO (%)	3.49
O ₂ (%)	9.02
HC (PPM)	103

Figura 4-9: Cuadro de resultados de emisiones de gases a 3000 rpm.

Fuente: Los autores

De los resultados obtenidos se observa que los parámetros de CO₂, CO y O₂, no están dentro de los porcentajes normales de determinan un correcto funcionamiento del motor y de igual manera no cumplen con lo establecido con la norma RTE INEN 136 “MOTOCICLETAS”.

Hay que indicar sin embargo que, con la modificación de la geometría de la cámara de combustión, la temperatura de la misma aumenta, provocado una mejor quema del combustible, y por ende una reducción en la emisión de gases de escape.

CAPÍTULO V

5. COSTOS

5.2. Detalle costos directos

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS			
Cantidad	Descripción	Valor unitario USD	Valor total USD
1	Súplex	5,00	5,00
1	Cañería de cobre	20,00	20,00
2	Acoples	5,00	10,00
1	Sensor de presión	120,00	120,00
1	Tarjeta de adquisición de datos DAQ	250,00	250,00
1	Cable	3,00	3,00
1	Rectificada	30,00	30,00
1	Bujía	3,00	3,00

1	Motocicleta	1000,00	1000,00
	Total		1441,00 USD

Costos Directos: 1411,00 USD

5.3. Detalle costos directos

Detalle	Valor
Transporte	100,00
Varios	50,00
TOTAL	150,00 USD

Costos Indirectos: 1411,00 USD

5.4. Costo Total

Detalle	Valor
Costos Directos	1441,00
Costos Indirectos	150,00
TOTAL	1591,00

CONCLUSIONES

- Se determinó el valor de la potencia de la motocicleta aplicando un modelo matemático alternativo por medio de la utilización de un sensor piezoeléctrico, el cual a través de una tarjeta de adquisición de datos DAQ trasladó los voltajes hacia el software DAQExpress para en función de esta señal calcular la presión media del cilindro y calcular la potencia de este.
- Se calculó en función del mismo modelo el torque del motor, obteniendo datos casi exactos a los que ofrece la ficha técnica del fabricante, demostrando la fiabilidad del sistema de adquisición de datos y el modelo implementado.
- Se analizó las emisiones de CO, CO₂, O₂ e hidrocarburos, concluyendo que el sistema de alimentación por carburador que posee dicho motor, al ser una tecnología antigua, no cumple los parámetros permitidos por la norma INEN para la aprobación de esta prueba.
- Al reducir la cámara de combustión la potencia aumento 5.85 kW con respecto a la original y de misma manera el torque aumentó en 0.78 N.m.
- Se analizó nuevamente los gases de escape, pudiendo observar cambios poco significativos en los gases CO, CO₂, O₂ e hidrocarburos.

RECOMENDACIONES

- Al realizar la medición de la presión del cilindro por medio del sistema implementado, colocar un sistema de disipación de calor, ya que este puede arrojar datos erróneos de voltaje por el cambio de temperatura de funcionamiento.
- Para llevar a cabo la medición de los gases de escape, se recomienda colocar en marcha el motor y al menos mantenerlo encendido por unos 15 minutos, para que alcance temperatura óptima de funcionamiento, y obtener datos precisos de los gases emitidos.
- Tener en cuenta el valor máximo para la reducción de la cámara de combustión, ya que, al reducirla de una manera sobredimensionada, puede causar la colisión entre válvulas y pistón del motor.
- Al momento de tabular los datos arrojados, trabajar con al menos cuatro decimales, ya que el cambio de voltaje en función de la presión del cilindro es mínimo.

BIBLIOGRAFÍA

Castillo, J; Palacio, I. Diseño e implementación de un modelo matemático para el cálculo del ciclo Otto del motor Armfield Volkswagen CM11-306. Universidad Politécnica Salesiana. Tesis de Grado. 2013. Ecuador.

De Felipe, J. Potencia, rendimientos y balance térmico. Departamento de máquinas y motores térmicos. Universidad Politécnica de Cataluña. España. Disponible en: <http://www-eupm.upc.es/~mmt/motors4.pdf> (febrero 2015).

Ibáñez, P. El motor de combustión es el más eficiente hoy: Falso. Motor Pasión Futuro [En línea]. Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/mecanica-eficiente/el-motor-de-combustion-es-el-mas-eficiente-hoy-falso> (marzo 2015).

Romero, C. Contribución al conocimiento del comportamiento térmico y la gestión térmica de los motores de combustión interna alternativos. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral. 2009. España.

Campo, L. El motor: características de funcionamiento. Master. D [En línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/grupomasterd/caracteristicas-del-motor-la-potencia-por-masterd> (marzo 2015).

Núñez, C. Curvas características de motores y vehículos. Disponible en: <http://docplayer.es/872764-2-curvas-caracteristicas-de-motores-y-vehiculos-por-carlos-nunez-carlosn.html> (marzo 2015).

Álvarez, J; Callejón, I; et. Al. Máquinas térmicas motoras. 1st ed. Ed. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2012, pp. 215-216.

Porras, A; Soriano, M. Motores alternativos Otto y Diésel: Ciclo real de funcionamiento. Universidad de Castilla - La Mancha. Disponible en: https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_real.pdf (marzo 2015).

DeMotor. Diferencia de los ciclos Otto real y teórico [En línea]. Disponible en: http://demotor.net/ciclos_reales/diferencia_entre_los_ciclos_otto_real_y_teorico.html (marzo 2015).

Oppenheim, A; Willsky, A; Nawab, H. Señales y Sistemas. 2nd ed. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana. México, 1998, pp. 5-6.

Guía y especificaciones de National Instruments USB-6008 para el usuario. Disponible en: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375295a.pdf> (abril 2015).

National Instruments. Adquisición de Datos (DAQ) [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/> (abril 2015).

PRO ECUADOR- Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Análisis del Sector Automotriz, 2013.

NTE INEN 960. Vehículos Automotores. Determinación de la potencia neta del motor. Año 1984.