



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES
CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE 250 CC DE 4 TIEMPOS CON SISTEMA
DE ALIMENTACIÓN A CARBURADOR VS UN SISTEMA A INYECCIÓN
ADAPTADO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JEFFERSON BLADIMIR PARRA CÁRDENAS
WASHINGTON SANTIAGO CACUANGO TUQUERREZ
TUTOR: MARIO ALEXANDER PERALVO CLAVON

Quito - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jefferson Bladimir Parra Cárdenas con documento de identificación N° 1720724853 y Washington Santiago Cacuango Tuquerrez con documento de identificación N° 1726334186 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Jefferson Bladimir Parra Cárdenas
1720724853



Washington Santiago Cacuango Tuquerrez
1726334186

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jefferson Bladimir Parra Cárdenas con documento de identificación N°. 1720724853 y Washington Santiago Cacuango Tuquerrez con documento de identificación N°. 1726334186, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: "Estudio de Reducción de Consumo de Combustible y Emisiones Contaminantes de un Motor de 250cc de 4 Tiempos con Sistema de Alimentación a Carburador vs un Sistema de Inyección Adaptado", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Jefferson Bladimir Parra Cárdenas

1720724853



Washington Santiago Cacuango Tuquerrez

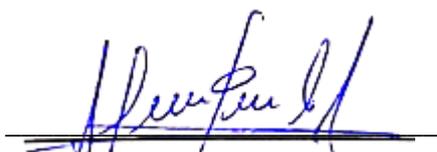
1726334186

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mario Alexander Peralvo Clavon con documento de identificación N° 1718133448, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE 250CC DE 4 TIEMPOS CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A CARBURADOR VS UN SISTEMA DE INYECCIÓN ADAPTADO, realizado por Jefferson Bladimir Parra Cárdenas con documento de identificación N° 1720724853 y por Washington Santiago Cacungo Tuquerrez con documento de identificación N° 1726334186, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Mario Alexander Peralvo Clavon, Msc.

1718133448

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres Luis Mario Parra Parra y María Italia Cárdenas Pérez, por ser mi apoyo y ejemplo de superación en cada momento de mi vida, a mi hermano que es base fundamental en mi vida, a mi familia en general que siempre me han apoyado en lo que he necesitado, y por último a mi abuelita Celia Hermiña Pérez Reyes quien siempre ha estado presente brindándome excelentes consejos y mucho amor.

Jefferson Bladimir Parra Cárdenas

Dedico el presente proyecto a mis padres Jesús Ernesto Cacuango Tuquerrez y María Magdalena Tuquerrez Guamán, por ser mi apoyo y ejemplo de superación en cada momento de mi vida y a mis hermanos que son base fundamental en mi vida.

Washington Santiago Cacuango Tuquerrez

ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE 250CC DE 4 TIEMPOS CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A CARBURADOR VS UN SISTEMA DE INYECCIÓN ADAPTADO

Jefferson Bladimir Parra Cárdenas ¹, Washintong Santiago Cacungo Tuquerrez ²

Resumen

Este estudio presenta un análisis de eficiencia, con la finalidad de demostrar que el sistema de inyección electrónica ayuda a minimizar la contaminación y el consumo de combustible con respecto a un sistema a carburador que comúnmente es usado en las motocicletas. Dicho sistema al realizar la mezcla aire combustible genera un consumo excesivo del mismo, produciendo una emisión de gases contaminantes a gran escala, emanando una cantidad de 2.16 toneladas de CO₂ / día, representando al 7% de emisiones totales en el Ecuador.

Se elaboro un ciclo de manejo con pruebas de ruta en condiciones originales de la motocicleta y patrones de manejo en condiciones normales, el consumo de combustible para las motocicletas que circulan diariamente dentro de la ciudad de Quito es de 75 km / gal aproximadamente. Se adapto un sistema de inyección y se redujo los niveles de contaminación generadas al medio ambiente, logrando una notablemente reducción en el consumo de combustible y logrando así un mayor par motor.

Palabras Clave:

Contaminación, consumo de combustible, par motor, inyección electrónica, carburación.

Abstract

This study presents an efficiency analysis, with the purpose of demonstrating that the electronic injection system helps to minimize pollution and fuel consumption with respect to a carburetor system that is commonly used in motorcycles. Said system, when performing the air-fuel mixture, generates excessive consumption of the same, producing an emission of polluting gases on a large scale, emanating an amount of 2.16 tons of CO₂ / day, representing 7% of total emissions in Ecuador.

A driving cycle was developed with road tests in original conditions of the motorcycle and driving patterns in normal conditions, the fuel consumption for motorcycles that circulate daily within the city of Quito is approximately 75 km / gal. An injection system was adapted and the levels of pollution generated in the environment were reduced, achieving a significant reduction in fuel consumption and thus achieving greater engine torque.

Keywords:

Adapt, analyze, efficiency, pollution, fuel, consumption, torque.

¹ Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador, ORCID: 0000-0002-1000-2865

² Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador, ORCID: 0000-0003-2203-3105

1. Introducción

Las motocicletas más encontradas en el mercado comúnmente están equipadas con un sistema de alimentación a carburador, se han convertido en la principal opción de transporte en muchos países desde el año 1910. Muslim et al. [1] menciona que los intereses en motocicletas eran los más altos, Asia representaba un estimado de 313 millones de motocicletas en las calles desde el año 2012.

En base a las estadísticas se registró un porcentaje de motocicletas en el mundo el cual se distribuyó de la siguiente manera: Asia registró el 77 % del número total de motocicletas, mientras que Europa registro el 15 % y América latina el 5 % [2].

Hoy en día las motocicletas están consideradas como un medio de transporte innovador y en desarrollo por diferentes países, ayudando a personas con bajos recursos económicos gracias a su accesible precio. Debido al aumento excesivo del parque automotor se ha experimentado un notable cambio en la movilización y contaminación ambiental [3]. Los altos índices de contaminación están representados por las grandes emisiones de gases provocadas por vehículos, motocicletas y transporte público, emitiendo al medio ambiente hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxido de nitrógeno (NOX) como resultado se producen lluvias ácidas, smog, trastornos cardiacos y respiratorios [4].

Tras el pasar de los años se ha buscado optimizar la eficiencia y reducción de emisiones nocivas al medio ambiente, para ello el correcto funcionamiento del motor busca llegar a la mezcla ideal que está dada por 14.7 kg de aire por 1 kg de combustible esta relación 14.7:1 es denominada mezcla estequiométrica [5].

La sonda lambda y la ECU son las encargadas de detectar si la mezcla es rica (exceso de gasolina) o si la mezcla es pobre (exceso de aire) a partir de los 1500 metros sobre el nivel del mar la mezcla se vuelve rica, de esta manera el motor consume una cantidad excesiva de combustible disminuyendo la potencia y aumentando el nivel de emisiones contaminantes en hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) [5].

La inyección electrónica es inteligente y eficiente ya que trabaja con una serie de sensores que envían datos en vivo a la ECU haciendo posible ingresar a presión el combustible suministrado por la bomba, este sistema busca ser amigable con el medio ambiente emitiendo menos gases tóxicos a la atmosfera. Los sistemas de inyección utilizados en el mercado de las motocicletas son: monopunto y multipunto, esto dependerá de la cilindrada y numero de cilindros presentes en dicha motocicleta [6].

2. Materiales y Métodos

2.1. Metodología

La investigación se desarrolló mediante una metodología experimental, en la cual se obtuvo datos a partir de la ejecución de varias pruebas realizadas en el motor de una motocicleta Loncin modelo Cr5 250. Se realizo diferentes pruebas de funcionamiento en el motor de dicha motocicleta con un sistema de alimentación a carburador y un sistema de inyección electrónica adaptado a dicho motor para determinar la emisión de gases de escape mediante un analizador de gases, se recopilo la información sobre las variables que fueron relevantes para el estudio.

Las pruebas se realizaron en la motocicleta en estado original de fábrica y luego de adaptar un sistema de inyección electrónica en el motor.

Para modificar el motor de la motocicleta se procedió a instalar un sistema de inyección electrónica cambiando la entrada de aire al motor, dicha entrada lleva consigo un orificio para el inyector, se colocó el sensor tps y el O₂, el cuerpo de aceleración fue adaptado en el lugar del carburador y se modificó el escape para colocar el sensor de oxígeno.

El cableado original de la moto fue modificado, llevando así las diferentes señales a cada uno de los 2 sensores, luego se instaló los actuadores como bobinas, bomba de combustible e inyectores, la ECU ayuda a controlar los parámetros de encendido, emisiones, método de carga, revoluciones del motor y señales de los sensores.

Con este estudio se determina la existencia de un menor consumo de combustible y una menor contaminación ambiental, además de analizar la

eficiencia y trabajo del motor de combustión interna con inyección electrónica.

2.2. Unidad experimental

En la Tabla 1 se observan los datos arrojados por el software Smac, la prueba fue realizada con la motocicleta carburada obteniendo así la potencia y el torque, los cuales son relevantes para el estudio.

Tabla 1. Datos arrojados por el software Smac, prueba realizada a carburador.

Rpm	Potencia (HP)	Potencia motor (HP)	Potencia transmisión (HP)	Torque (Nm)
2600	17	17,1	0,0	1,9
3500	11	10,6	0,0	5,5
4000	17	18,5	1,3	7,8
4500	22	23,7	1,4	8,8
4900	22	23,8	1,6	8,1
5300	19	20,5	1,7	6,3
5900	22	24,2	1,9	6,8
6400	23	25,2	2,1	6,5
6900	22	24,6	2,4	5,8
7400	20	22,6	2,7	4,8
8000	22	25,4	2,9	5,1
8400	22	25,3	3,2	4,7
9000	15	18,2	3,4	3,0
9300	6	6,4	0,0	1,2

En la Figura 1 se visualizan las gráficas arrojadas por el banco dinamométrico las cuales generaron una serie de curvas características reflejando la potencia del motor cuyo valor fue de 25,4 HP y a su vez genero una pérdida de 3,4 HP entregando un total de 23 Hp a la tracción de la motocicleta, dicha perdida se da tras enviar la potencia desde el piñón de salida del motor a la cadena y posteriormente a la catalina, por otro lado el torque que genero la motocicleta fue de 8,8 Nm en las primeras 4500 rpm del motor.

En la Tabla 2 se observan las características del banco dinamométrico en el que se realizó las pruebas de torque y potencia para una motocicleta con sistema a carburador y a inyección electrónica.

Tabla 2. Especificaciones dinamómetro [7].
Especificaciones técnicas

Marca	Saenz
País	Argentina
Tipo	Inercial
Norma	SAE J1349

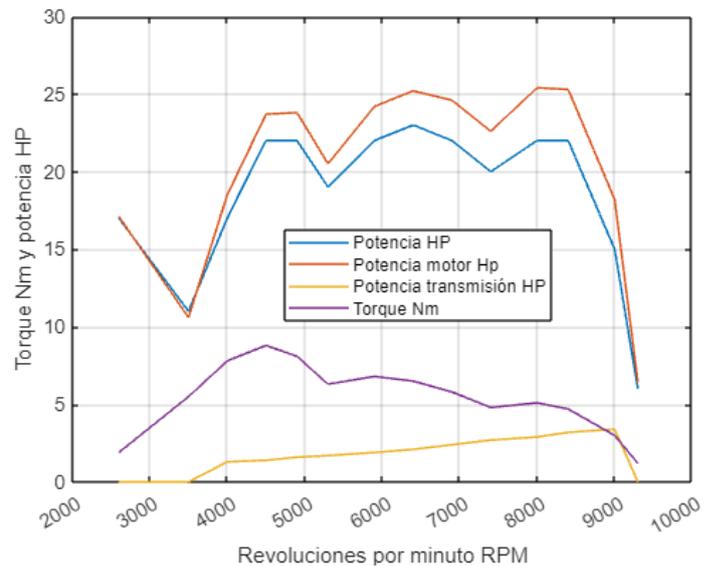


Figura 1. Curvas generadas mediante un banco dinamométrico a carburador.

En la Figura 2 se visualiza el banco dinamométrico utilizado en las pruebas de torque y potencia realizadas en una motocicleta marca Loncin, las pruebas se realizaron con el sistema a carburador y con el sistema a inyección electrónica, los datos son analizados y representados mediante el software Smac, el cual se destaca por brindar precisión y rentabilidad esto lo realiza mediante su comunicación por fibra óptica y así evitar datos erróneos por problemas de ruido en el entorno [8].



Figura 2. Motocicleta colocada en el banco de pruebas dinamométrico.

En la Tabla 3 se evidencian los datos obtenidos de la ficha técnica de la motocicleta, la cual fue tomada como base para la adaptación de un sistema a inyección electrónica marca Rojo cuyo sistema consta de ECU, sensor tps, sensor de oxígeno, bobinas de ignición y conexiones.

Tabla 3. Ficha técnica de la motocicleta [9].

Especificaciones técnicas	
Modelo	Loncin Cr5 pro
Motor	Monocilíndrico, 4 tiempos, 223 cc
Máxima potencia	17.7hp a 8500rpm
Torque	17.5N.m a 6000rpm
Relación de compresión	9.2:1

La relación de compresión se expresa con la relación de dos números e indica el número de veces que la mezcla se ha expandido una vez que la misma se ha quemado. Así, una relación de 9.2:1 indicará que la mezcla se ha expandido 9 veces su volumen tras arder. Cuanto mayor sea esta relación, mayor rendimiento térmico ofrecerá el motor y más energía podrá ser aprovechada para el movimiento de la motocicleta [10].

2.3. Análisis de emisiones con normativas

2.3.1 Normativa Europea

En países como España las motocicletas deben cumplir con la normativa euro IV. las cuales deben integrar inyección electrónica y ABS como mínimo en dicha motocicleta. En la Tabla 4 se presentan los límites de emisiones con normativa EURO I, EURO II Y EURO III para emisiones de HC, NO_x y CO [11].

Tabla 4. Datos de emisiones normativa europeas.

Normativas	HC (g/km)	NO _x (g/km)	CO (g/km)
EURO I	3	0,3	13
EURO II	1	0,3	5,5
EURO III	0,3	0,15	2

2.3.2 Normativa Americana

En la Tabla 5 la normativa americana aplica para el año 2012 - 2016 la cual establece los valores límites según la norma Estadounidense EPA 40CFR actualmente vigente en Chile y Colombia [11].

Tabla 5. Datos de emisiones normativa americanas.

Cilindraje	CO (g/km)	HC (g/km)	HC + NO _x
0 a 163 cm ₃	12	1	-
170 a 279 cm ₃	12	1	-
≥ 280 cm ₃	12	-	1,4

2.3.3 Normativa Ecuatoriana

El análisis de emisiones que encontramos vigentes bajo la normativa técnica ecuatoriana PRTE INEN 136 establece como valores de CO y HC máximos presentes en la Tabla 6 [11].

Tabla 6. Datos de emisiones normativa ecuatoriana.

Tipo de motor	CO (% v)	HC (ppm)
Todas las cilindras	8	2000

Las pruebas se realizaron con un analizador de gases "Nextech" modelo QGA 6000. Las características del analizador se detallan en la Tabla 7 [12].

Tabla 7. Características del analizador de gases Nextech QGA 6000.

Mediciones	HC (ppm)	CO ₂ (% v)	O ₂	NO _x (ppm)
Rango de medición	0-9999 20,000	0-20 %	0-25%	0-5000
Resolución	1 ppm	0.10%	0.01%	
Visualización		4 dígitos		
Método de medición	O ₂ , NO _x electroquímica celular			
Respuesta	12 segundos (más de 95%)			

La prueba de medición de gases contaminantes fue realizada con la motocicleta en ralentí, el proceso se realizó a 1250 rpm, la toma de resultados se divide en 3 pruebas cada una con duración de 2 minutos. En la Tabla 8 se detalla

los valores y promedios obtenidos en cada prueba realizada.

Tabla 8. Datos y promedios obtenidos tras las pruebas realizadas a una motocicleta carburada.

Tiempo (min)	CO (% v)	HC (ppm)	O ₂ %
Primera prueba			
2,31	8,20	395	5,24
2,30	8,32	395	5,18
2,29	7,84	390	5,07
Segunda prueba			
2,25	7,94	400	6,10
2,27	8,42	410	6,11
2,29	8,83	398	6,07
Tercera prueba			
2,20	7,75	298	5,42
2,15	7,73	320	5,62
2,23	6,76	340	5,29
Promedio	7,97	371,77	5,56

2.4. Desviación estándar para CO, HC y O₂ para carburador.

Tabla 9. Datos de desviación estándar de CO en carburador.

Datos de CO a carburador	
Numero de datos	9
Promedio	7,9766
Límite máximo	8,5581
Límite mínimo	7,3951
Desviación estándar	0,5814

En la Figura 3 se observa la desviación estándar al analizar el límite máximo y el límite mínimo obteniendo una desviación de 0,5814 % que se encuentran dentro de los límites establecidos.

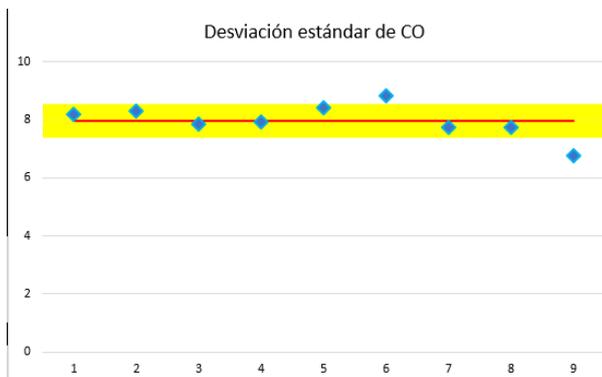


Figura 3. Desviación estándar de monóxido de carbono en carburador.

Tabla 10. Datos de desviación estándar de HC en carburador.

Datos de HC a carburador	
Numero de datos	9
Promedio	371,777
Límite máximo	412,841
Límite mínimo	330,714
Desviación estándar	41,063

En la Figura 4 se observa la desviación estándar al analizar el límite máximo y el límite mínimo obteniendo una desviación de 41,063 ppm que se encuentran dentro de los límites establecidos.



Figura 4. Desviación estándar de hidrocarburos en carburador.

Tabla 11. Datos de desviación estándar de O₂ en carburador.

Datos de O ₂ a carburador	
Numero de datos	9
Promedio	5,5666
Límite máximo	5,9904
Límite mínimo	5,1428
Desviación estándar	0,4237

En la Figura 5 se observa la desviación estándar al analizar el límite máximo y el límite mínimo obteniendo una desviación de 0,4237 % que se encuentran dentro de los límites establecidos.



Figura 5. Desviación estándar de Oxígeno en carburador.

2.5. Consumo específico a carburador

El consumo específico permite analizar el comportamiento y el rendimiento de un motor, mientras menor sea el consumo de combustible mejor será el rendimiento del motor.

La prueba de consumo fue realizada recorriendo la ruta desde Tumbaco hasta la Universidad Politécnica Salesiana campus sur, se utilizó como combustible la gasolina extra de 85 octanos.

La moto fue llenada completamente, la capacidad del tanque de combustible es 12 litros y se llena con 6,50 dólares americanos. Ruilova I. [13] menciona que la Ec. (1) hace referencia al consumo específico de combustible el cual varía de acuerdo al ámbito de conducción y al tipo de combustible empleado.

$$C_e = \frac{D_r}{C_c} \quad (1)$$

La ecuación (1) determina el consumo específico (C_e), mediante la distancia recorrida en km (D_r), y la cantidad de combustible en galones (C_c). La eficiencia de la motocicleta es de 88.32 km/gal.

2.6. Adaptación del sistema de inyección electrónica.

2.6.1. Tobera de admisión

En la Figura 6 se observa la tobera de admisión la cual se reemplazó por una de mayor diámetro, ya que se requería un flujo de aire en gran escala para la correcta mezcla aire combustible.



Figura 6. Diámetro de la tobera de admisión 3 cm

2.6.2. Cálculo del flujo de aire para el motor

Al no contar con un dato exacto del flujo de aire que ingresa al motor Ruilova I. [13] aplicó la Ec.

(2) que hace referencia al cálculo del flujo de aire CFM (pies cúbicos por minuto).

$$CFM = \frac{(cp^3)(rpm_{max})}{f}(ev) \quad (2)$$

En la ecuación (2) apreciamos el desplazamiento del motor en pulgadas cúbicas (cp^3), revolución máxima (rpm_{max}), flujo de aire del carburador en pies cúbicos por minuto (f) y el rendimiento volumétrico del motor (ev). Se establece que el flujo de aire en su máxima potencias es de $CFM = 30,017 \text{ ft}^3/\text{min}$.

2.6.3. Inyector



Figura 7. Inyector marca rojo con 2 orificios para pulverizar.

El inyector fue seleccionado mediante un cálculo que determina el ciclo de trabajo como se aprecia en la Figura 7, por lo cual Ruilova I. [13] empleó la Ec. (3) que determina el caudal del inyector mediante los caballos de fuerza del motor. Se utilizó el BSFC (cantidad de combustible que utiliza el motor para lograr 1 caballo de fuerza en una hora). Dicho valor varía entre 0,55 a 0,60 gramos por kilovatio-hora ($g / (kW \cdot h)$) con el acelerador a fondo como se aprecia en la Tabla 12.

$$C_i = \frac{(hp)(BSFC)}{(n_i)(ct)} \quad (3)$$

En la ecuación (3) se observa los caballos de fuerza del motor (hp), la cantidad de combustible que utiliza el motor para generar 1 caballo de fuerza ($BSFC$), numero de inyectores (n_i) y el

ciclo de trabajo del inyector (ct). Se obtiene un caudal para el inyector de $C_i = 17,187 \frac{lb}{hr}$.

Tabla 12. Factores BSFC [13].

<i>Engine type</i>	<i>Gasoline</i>	<i>Alcohol</i>
<i>High compression</i>	0.45 to 0.55	0.90 to 1.10
<i>low compression</i>	0.55 to 0.60	1.00 to 1.20
<i>Super/turbo charged</i>	0.55 to 0.65	1.10 to 1.30

2.6.4. Bomba de combustible

La bomba de combustible empleada es de tipo externa consta de 2 entradas de combustible y 1 línea de salida a presión, dicha bomba genera una presión de 3 a 4 bares [14]. Se optó por esta bomba ya que no necesita una modificación en el tanque y así evitamos fugas, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Bomba de combustible externa refrigerada por aire.

2.6.5. Control electrónico ECU

La computadora a bordo trabaja con una fuente de 12 Vcc, está controlada por el encendido convencional de la motocicleta y su función principal es controlar los pulsos y señales para el funcionamiento de dichos componentes electrónicos y sensores como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Computadora a bordo marca rojo.

La ECU se puede diagnosticar y visualizar datos en tiempo real mediante un adaptador de scanner OBD II de 4 pines o mediante un adaptador bluetooth el cual se conecta a un scanner o a un dispositivo smartphone, el programa utilizado para el diagnóstico y verificación de datos se llama motor helper en la Figura 10 se visualiza el interfaz del programa.



Figura 10. Interfaz del scanner mediante un smartphone.

2.6.6. Sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno sonda lambda está ubicado en la salida del escape de la motocicleta y es el encargado de analizar la concentración de O₂ procedentes del motor en la Figura 11 observamos el sensor de oxígeno utilizado en el proyecto [15].



Figura 11. Sensor de oxígeno

2.6.7. Sensor Tps

El sensor tps o sensor de posición del acelerador es un elemento electrónico que actúa como un potenciómetro, sirve para captar el ángulo de inclinación en el que se encuentra la mariposa de aceleración y dicha señal es enviada a la ECU en la Figura 12 observamos el sensor tps. [16].



Figura 12. Sensor tps.

2.6.8. Cuerpo de aceleración.

El cuerpo de aceleración fue seleccionado de acuerdo al requerimiento de la motocicleta tomando en cuenta el diámetro de la tobera de admisión y del carburador. Se adquirió el cuerpo de aceleración con un diámetro de 3 cm el cual corresponde con las especificaciones del motor, con lo que se obtuvo el correcto ingreso de aire para generar una combustión óptima en la Figura

13 se aprecia el cuerpo de aceleración marca rojo adaptado a la motocicleta.



Figura 13. Cuerpo de aceleración.

2.7. Datos obtenidos con el sistema de inyección electrónica adaptado.

En la Tabla 13 se visualiza los datos generados tras realizar la prueba de la motocicleta con sistema a inyección electrónica, la medición se logró mediante un banco de pruebas dinamométrico.

Tabla 13. Datos obtenidos en el banco de pruebas mediante el dinamométrico.

Rpm	Potencia (HP)	Potencia motor (HP)	Potencia transmisión (HP)	Torque (Nm)
2600	2	1,9	0,0	1,3
3500	16	16,2	0,0	8,6
4000	18	17,7	0,0	8,1
4500	21	22,3	1,7	8,5
4900	24	25,6	1,7	11,1
5300	24	25,6	2,0	7,9
5900	20	21,9	2,1	6,0
6400	25	27,1	2,2	6,9
6900	24	26,8	2,4	6,3
7400	21	23,9	2,7	5,1
8000	24	26,7	3,0	5,3
8400	24	27,0	3,4	5,0
9000	23	27,1	3,7	4,7
9300	11	15,3	3,9	2,1

En la Figura 14 se visualizan las gráficas arrojadas por el banco dinamométrico posterior a la transformación de carburador a inyección electrónica, se obtuvieron las curvas

características cuyo valor fue de 27,1 Hp y un torque de 11,1 Nm.

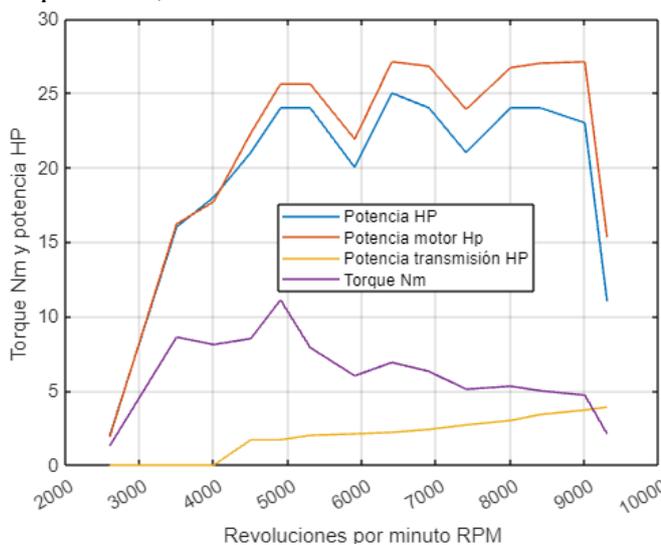


Figura 14. Curvas generadas mediante un banco dinamométrico a inyección.

2.7.1. Emisiones contaminantes pruebas a inyección

La prueba fue realizada con la motocicleta en ralentí, el proceso se realizó a 1250 rpm, la toma de resultados se divide en 3 pruebas cada una con duración de 2 minutos. En la Tabla 14 se detalla los valores y promedios obtenidos en cada prueba realizada.

Tabla 14. Datos y promedios obtenidos tras las pruebas realizadas a una motocicleta a inyección electrónica.

Tiempo (min)	CO (% v)	HC (ppm)	O ₂
Primera prueba			
2,31	7,30	382	4,74
2,30	7,32	385	4,58
2,29	7,34	388	5,02
Segunda prueba			
2,25	6,81	398	5,08
2,27	6,82	400	5,12
2,29	6,83	398	5,17
Tercera prueba			
2,20	6,71	136	5,20
2,15	6,73	137	5,72
2,23	6,75	137	5,32
Promedio	6.95	306,77	5,20

2.8. Desviación estándar para CO, HC y O₂ para inyección electrónica.

Tabla 15. Datos de desviación estándar de CO en inyección electrónica.

Datos de CO a inyección electrónica	
Numero de datos	9
Promedio	6,9566
Límite máximo	7,2323
Límite mínimo	6,6809
Desviación estándar	0,2756

En la Figura 15 se observa la desviación estándar al analizar el límite máximo y el límite mínimo obteniendo una desviación de 0,2756 % que se encuentran dentro de los límites establecidos.

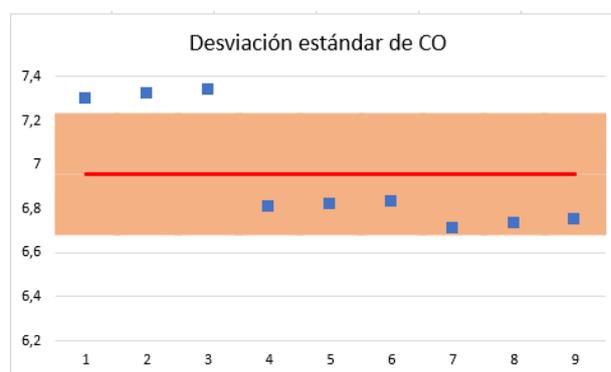


Figura 15. Desviación estándar de monóxido de carbono a inyección.

Tabla 16. Datos de desviación estándar de HC en inyección electrónica.

Datos de HC a inyección electrónica	
Numero de datos	9
Promedio	306,777
Límite máximo	434,508
Límite mínimo	179,046
Desviación estándar	127,730

En la Figura 16 se observa la desviación estándar al analizar el límite máximo y el límite mínimo obteniendo una desviación de 127,730 ppm que se encuentran dentro de los límites establecidos.

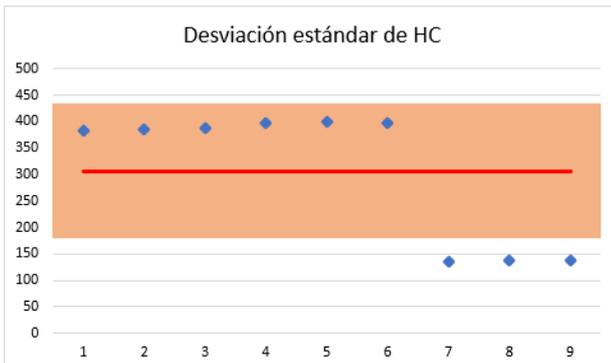


Figura 16. Desviación estándar de hidrocarburos en inyección.

Tabla 17. Datos de desviación estándar de O₂ en inyección electrónica.

Datos de O ₂ a inyección electrónica	
Numero de datos	9
Promedio	5,1055
Límite máximo	5,4324
Límite mínimo	4,7787
Desviación estándar	0,3268

En la Figura 17 se observa la desviación estándar al analizar el límite máximo y el límite mínimo obteniendo una desviación de 0,5814 % que se encuentran dentro de los límites establecidos.



Figura 17. Desviación estándar de oxígeno en inyección.

2.7. Consumo específico a inyección.

La prueba de consumo fue realizada recorriendo la ruta desde Tumbaco hasta la Universidad Politécnica Salesiana campus sur, la gasolina empleada fue extra de 85 octanos.

La moto fue llenada completamente, la capacidad del tanque de combustible es 12 litros y se llena con 6,50 dólares americanos. Ruilova I. [13] hace referencia a la Ec (1) anteriormente mencionada. Para el cálculo actual genero una autonomía de 97,79 km/gal.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de Potencia y torque

En la Tabla 18 se aprecian los datos obtenidos de la potencia del motor HP estos datos demuestran la comparativa de las pruebas realizadas a carburador e inyección electrónica.

Tabla 18. Datos de potencia carburador vs inyección.

Datos de Potencia del motor HP		
Rpm	Carburador	Inyección electrónica
2600	17,1	1,9
3500	10,6	16,2
4000	18,5	17,7
4500	23,7	22,3
4900	23,8	25,6
5300	20,5	25,6
5900	24,2	21,9
6400	25,2	27,1
6900	24,6	26,8
7400	22,6	23,9
8000	25,4	26,7
8400	25,3	27,0
9000	18,2	27,1
9300	6,4	15,3

Los resultados generados tras las pruebas en el banco dinamométrico ayudaron a verificar la efectividad de dicho proyecto en la Figura 18 podemos apreciar el par motor (HP) que genero la motocicleta a carburador y a inyección electrónica.

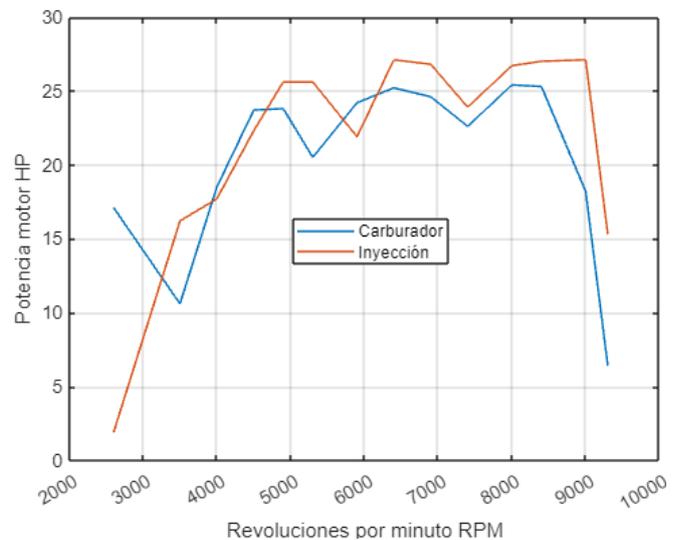


Figura 18. Comparación de potencia carburador vs inyección.

En la Tabla 19 observamos los datos obtenidos del torque (Nm), estos datos demuestran la comparativa de las pruebas realizadas a carburador y a inyección electrónica.

Tabla 19. Datos de potencia carburador vs inyección.

Datos del Torque Nm		
Rpm	Carburador	Inyección electrónica
2600	1,9	1,3
3500	5,5	8,6
4000	7,8	8,1
4500	8,8	8,5
4900	8,1	11,1
5300	6,3	7,9
5900	6,8	6,0
6400	6,5	6,9
6900	5,8	6,3
7400	4,8	5,1
8000	5,1	5,3
8400	4,7	5,0
9000	3,0	4,7
9300	1,2	2,1

Los resultados generados tras las pruebas en el banco dinamométrico registraron un aumento del torque en la Figura 19 podemos apreciar el torque (Nm) que la motocicleta obtuvo tanto en las pruebas a carburador e inyección electrónica.

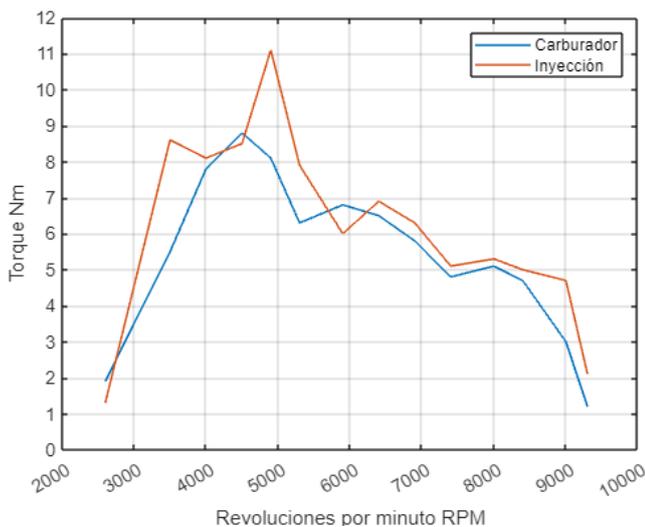


Figura 19. Comparación de torque carburador vs inyección.

En la Figura 20 se visualizan las curvas características mixtas cuyo valor máximo fue de 27,1 Hp en comparación a la prueba realizada

con el carburador el cual arrojó un valor de 25,4 HP obteniendo una ganancia de 1,7 HP en el par motor. de igual manera el torque que genero fue de 11,1 Nm en comparación a la prueba realizada con el carburador el cual arrojó un valor de 8,8 aumentando notablemente un 2,3 Nm.

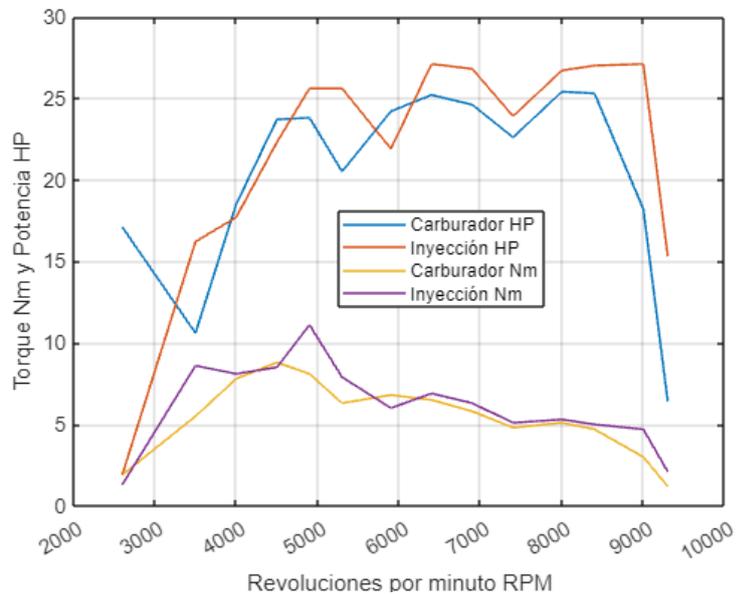


Figura 20. Curvas características de potencia y torque carburador vs inyección.

3.2. Análisis de emisiones

En la Tabla 20 observamos los valores de CO tanto a carburador como a inyección electrónica.

Tabla 20. Emisiones de CO

Emisiones de CO	
Carburador	Inyección
7.97 %	6.95 %

El monóxido de carbono es un gas nocivo para la salud, se produce cuando la mezcla es rica esto se puede controlar realizando un mantenimiento y reajuste en el carburador y en la inyección realizando una limpieza del inyector. En la Figura 21 se observa como disminuyo en 1,02 % el nivel de CO.

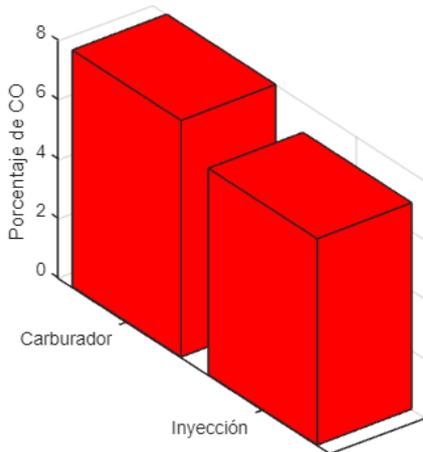


Figura 21. Porcentaje de CO carburador vs inyección.

En la Tabla 21 observamos los valores de HC tanto a carburador como a inyección electrónica.

Tabla 21. Emisiones de HC.

Emisiones de HC (ppm)	
Carburador	Inyección
371.77	306.77

Los hidrocarburos se presentan cuando la mezcla es rica. El causante puede ser exceso de combustible, problema de bujía, problema de inyector. Esto se puede controlar realizando un mantenimiento y reajuste en el carburador y en inyección realizando una limpieza de inyector y un mapeo a la ECU reduciendo el combustible que es suministrado por el inyector en la cámara de combustión. En la Figura 22 se observa como disminuyo en 65 ppm en emisión de HC.

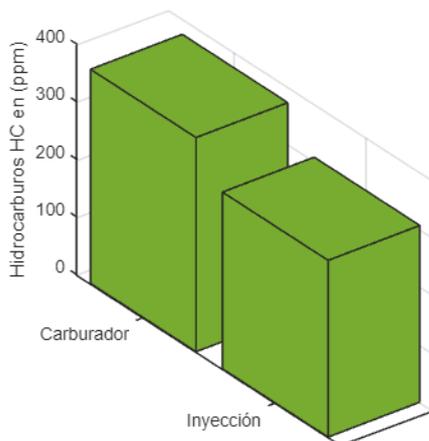


Figura 22. Porcentaje de HC carburador vs inyección.

En la Tabla 22 se observan los valores de O₂ tanto a carburador como a inyección electrónica.

Tabla 22. Emisiones de O₂.

Emisiones de O ₂ (%)	
Carburador	Inyección
5.56	5.20

Si el oxígeno presente en la salida del escape es muy bajo o 0 indica que el vehículo utilizó todo el aire y combustible para producir la combustión. Si tiene mucho oxígeno comúnmente quiere decir que tiene un problema de válvulas o un problema en el escape. Esto se puede controlar realizando un ABC de motor y a su vez instalando un catalizador o realizando una limpieza del tubo de escape. En la Figura 23 se observa como disminuyo en 0.36 % la emisión de O₂.

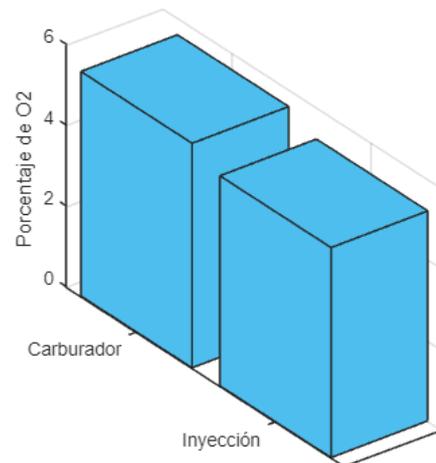


Figura 23. Porcentaje de O₂ carburador vs inyección.

3.3. Análisis de consumo

En la Tabla 23 se observa los valores de consumo de combustible tanto a carburador como a inyección electrónica.

Tabla 23. Consumo de combustible.

Autonomía Km	
Carburador	Inyección
279.97	309.99

La autonomía mejoro notablemente entregando 309,99 km de recorrido después de la conversión a inyección electrónica. En la Figura 24 se observa una comparativa de la autonomía para el sistema de carburador vs inyección electrónica.

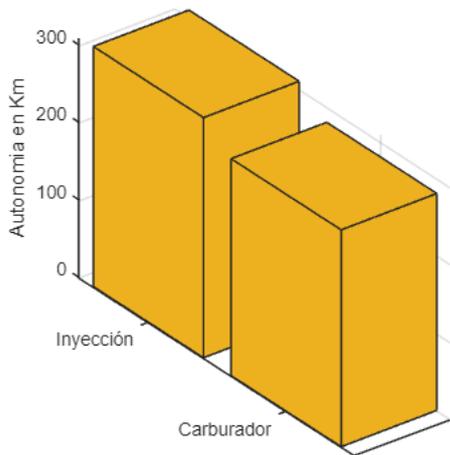


Figura 24. Autonomía en (km) inyección vs carburador.

Para el consumo de combustible se comprueba el aumento debido a la modificación realizada en 9,47 km / gal. En la Tabla 24 se aprecian los valores obtenidos tanto a carburador como a inyección electrónica.

Tabla 24. Consumo de combustible.

Consumo de combustible km / gal	
Carburador	Inyección
88,32	97,79

En la Figura 25 se observa el consumo obtenido tras la realización de la prueba.

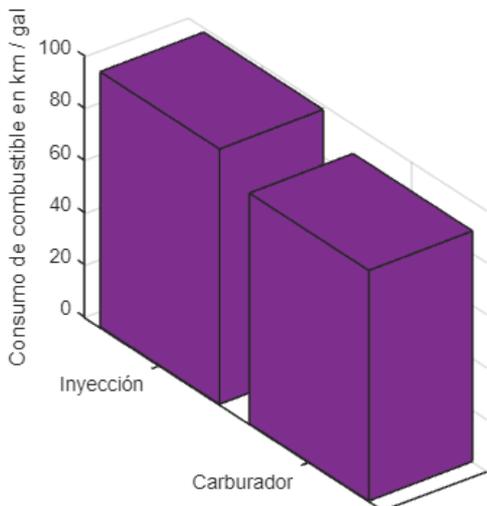


Figura 25. Consumo de combustible en (km / gal) inyección vs carburador.

4. Conclusiones

La motocicleta incrementó la potencia en 1,7 hp y el torque en 2,3 Nm, esto se debe a que el sistema a inyección electrónica es más eficiente al momento de pulverizar el combustible en la cámara de combustión generando una mejor quema de la mezcla ya que la misma es más homogénea.

Los componentes adaptados a la motocicleta fueron previamente comparados y medidos con los componentes originales sin causar así alteración alguna en el motor para lograr el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema a inyección electrónica adaptado a la motocicleta logró reducir considerablemente el nivel de emisiones contaminantes tales como CO en 1,02 %, HC en 65 ppm y el O₂ en 0,36 %.

La autonomía que se obtuvo con el sistema de inyección electrónica fue de 309,99 km a comparación del sistema de carburador que suministró 279,97 km, es decir una diferencia total de 30,02 km.

El consumo de combustible que se obtuvo con el sistema de inyección electrónica fue de 97,79 km / gal a comparación del sistema de carburador que suministró 88,32 km / gal , es decir una diferencia total de 9,49 km / gal.

Mediante el sistema OBD II se pudo acceder a los datos de la computadora para visualizar la inyección de combustible, se obtuvo con esta modificación que la motocicleta alcance las 11000 revoluciones por minuto.

2.7 Referencias

- [1] M. T. Muslim, H. Selamat, A. J. Alimin, N. Mohd Rohi, and M. F. Hushim, "A review on retrofit fuel injection technology for small carburetted motorcycle engines towards lower fuel consumption and cleaner exhaust emission," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 35, pp. 279–284, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.037.
- [2] N. Haworth, "Powered two wheelers in

- a changing world - Challenges and opportunities,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 44, no. 1, pp. 12–18, 2012, doi: 10.1016/j.aap.2010.10.031.
- [3] B. Ogunrinola and I. Oluranti, “Global Economic Crisis and Career Aspirations Among ‘Okada’ Riders in South West Nigeria: the Influence of Apprenticeship Skills Training,” no. May, 2014.
- [4] O. A. Odunlami, F. B. Elehinafe, T. E. Oladimeji, M. A. Fajobi, O. B. Okedere, and B. S. Fakinle, “Implications of Lack of Maintenance of motorcycles on Ambient Air Quality,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 413, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/413/1/012055.
- [5] F. Luis and G. Moncayo, *Internal combustion engine fundamentals*. .
- [6] U. Técnica and D. E. L. Norte, *Universidad técnica del norte*. 2021.
- [7] “Saenz | Dinamómetros de Rodillos | Bancos de Prueba sobre el Chasis con freno eléctrico para camiones.” <https://www.saenzdynos.com.ar/bco-rodillos-freno-camiones.php?lang=es> (accessed Jul. 15, 2022).
- [8] “Saenz | Dinamómetros de Rodillos | Banco de rodillos para competición.” <https://www.saenzdynos.com.ar/bco-rodillos-in-comp.php?lang=es> (accessed Jul. 15, 2022).
- [9] “CR5 Pro 250 – Motores del Sur – Loncin.” <https://motoresdelsur.com/site/cr5-pro/> (accessed May 21, 2022).
- [10] J. Miralles, A. Giménez, L. Domenech, and V. García, “Efecto de la relación de compresión en el rendimiento de motores de combustión interna a diferentes altitudes,” *Inf. Tecnol.*, vol. 26, no. 4, pp. 63–74, 2015, doi: 10.4067/S0718-07642015000400009.
- [11] D. Toledo, “Estudio de contaminación de motocicletas de 4 tiempos en la ciudad de Cuenca,” p. 67, 2016, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13160/1/UPS-CT006806.pdf>.
- [12] “ANALIZADOR DE GASES AUTOMOTRIZ QGA6000 ».” <https://www.lagrantiendadelmecanico.com/nga6000/> (accessed Jul. 21, 2022).
- [13] C. D. E. I. Automotriz, “Universidad tecnológica equinoccial,” 2015.
- [14] T. De, “Bombas eléctricas de combustible.”
- [15] SENSOVANT, “Sensores de concentracion de oxígeno,” 1, 2015, [Online]. Available: <https://sensovant.com/productos-aplicaciones/agricultura/gases/notas/aplicaciones-usos-sensores-medidores-oxigeno.html#:~:text=Acerca de los Sensores de,oxígeno que se está midiendo.>
- [16] C. Posee and C. Electr, “¿ Qué es el sensor TPS ? – Definición ¿ Para qué sirve el sensor TPS ? TPS ? Funcionamiento del sensor de posición del acelerador.”