



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR MOTOCICLETAS DE 4 TIEMPOS A
INYECCIÓN MEDIANTE EL SUMINISTRO DE HIDRÓGENO AL SISTEMA DE
ADMISIÓN DEL MOTOR**

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

AUTOR: HUGO ORLANDO UQUILLAS PARRA

TUTOR: ING. CHRISTIAN OMAR PULLA MOROCHO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Hugo Orlando Uquillas Parra con documento de identificación N° 0106353287 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana puede usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 19 de enero del 2024

Atentamente,

Hugo Orlando Uquillas Parra

0106353287

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

Yo, Hugo Orlando Uquillas Parra con documento de identificación N° 0106353287, manifiesto mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Análisis de emisiones producidas por motocicletas de 4 tiempos a inyección mediante el suministro de hidrógeno al sistema de admisión del motor”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 19 de enero del 2024

Atentamente,



Hugo Orlando Uquillas Parra

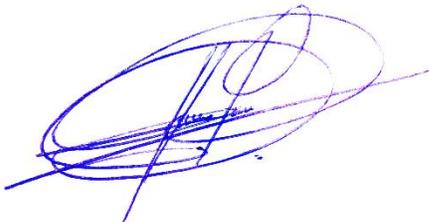
0106353287

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Omar Pulla Morocho con documento de identificación N° 0103570602, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR MOTOCICLETAS DE 4 TIEMPOS A INYECCIÓN MEDIANTE EL SUMINISTRO DE HIDRÓGENO AL SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR, realizado por Hugo Orlando Uquillas Parra con documento de identificación N° 0106353287, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 19 de enero del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Ing. Christian Omar Pulla Morocho, MSc.

0103570602

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado hacia las personas que me dieron su apoyo incondicional, mis padres Laura y Vicente, por su esfuerzo y confianza que depositaron en mi al momento de comenzar la carrera. Así mismo a Evelyn, que por medio de su apoyo y cariño me ha impulsado a no rendirme y me ha enseñado que a pesar de los problemas que se tenga hay que seguir adelante y nunca rendirse por más difícil que se ponga la vida, a mi hija Aurora Arlette que ella me enseña cada día como ser una mejor persona y a toda mi familia que me apoyo para no rendirme y poder finalizar mi carrera que tanto anhelada estudiar.

Hugo Orlando Uquillas Parra

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su perseverancia y esfuerzo que tanto realizan en todo momento por ayudarme a salir adelante en carrera universitaria, de manera en especial a mis papá y mamá por ser un ejemplo a seguir durante toda esta trayectoria universitaria, a mi hija y a mi mujer por darme alientos a seguir con mis estudios y lograr mis metas.

A mi tutor Ing. Christian Pulla por su orientación y tiempo que dedico para ayudarme con la culminación de esta tesis.

A todas las personas que me ayudaron estoy infinitamente agradecido por su orientación e influencia en el crecimiento profesional y propio.

Hugo Orlando Uquillas Parra

RESUMEN

El actual trabajo de titulación está enfocado en implementar sistemas de hidrógeno como aditivo el cual se han ido mejorando radicalmente, lo cual ayuda a reducir las emisiones de gases contaminantes vehiculares que han ido aumentando radicalmente con el paso del tiempo y son nocivos para los seres vivos. Así, el objetivo de la investigación fue el análisis de las emisiones de las motocicletas al administrar hidrógeno al cuerpo de admisión del motor, para comparar los parámetros de gases en motocicletas a inyección electrónica de 4 tiempos.

Para ello se implementó una metodología experimental para la dar procedimientos y a los resultados por medio de los análisis de los gases del motor de motocicleta al estar en ralentí, que esto depende de la motocicleta a la que se encuentre adecuada las revoluciones por minuto con un tipo de combustible, en este caso “Ecopaís”, esto sin hidrógeno, luego se procedió a suministrar el hidrógeno con una concentración de hidróxido de sodio al 25% y agua destilada del 75%, con aperturas de la válvula del generador de hidrógeno con rangos de 0%, 33%, 66% y al 100% de apertura, esto se repite con un aumento de revoluciones por minuto que van de entre 2000 a 2100 esto basado en la normativa INEN 2203, INEN 136.

Una vez obtenido los datos se procede a analizarlos en Excel y en software Minitab.

Para poder conocer el comportamiento de los valores del monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), Dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) estos datos ayudan a entender el comportamiento de forma más clara y llegar a un análisis correcto.

Se realiza el análisis de las gráficas para entender como están afectado el hidrógeno en los niveles de gases contaminantes de las motocicletas, con las gráficas obtenidas se procede a obtener una interpretación de estas para poder expresar lo que está sucediendo con estos niveles de emisiones.

Finalmente, con el valor ya analizado se compara con los valores iniciales o sin modificación y se logró determinar que los niveles del CO y HC tuvieron una disminución de sus niveles en cada tipo de apertura con efectos positivos este análisis.

ABSTRACT

The current degree project is focused on implementing hydrogen systems as an additive which have been radically improved, which helps reduce vehicle pollutant emissions that have increased radically over time and are harmful to living beings. Thus, the objective of the research was the analysis of motorcycle emissions by administering hydrogen to the engine intake manifold, to compare the gases parameters in 4-stroke electronic injection motorcycles.

For this, an experimental methodology was implemented to give procedures and results through the analysis of motorcycle engine gases while idling, which depends on the motorcycle to which the revolutions per minute are suitable with a type of fuel, in this case "Ecopaís", this without hydrogen, then hydrogen was supplied with a concentration of 25% sodium hydroxide and 75% distilled water, with openings of the hydrogen generator valve with ranges of 0%, 33%, 66% and 100% opening, this is repeated with an increase in revolutions per minute ranging from 2000 to 2100 based on the INEN 2203, INEN 136 regulations.

Once the data is obtained, it is analyzed in Excel and Minitab software.

In order to know the behavior of the values of carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (HC), carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) these data help to understand the behavior more clearly and arrive at a correct analysis.

The graphs are analyzed to understand how hydrogen is affecting the levels of polluting gases from motorcycles, with the graphs obtained, an interpretation is made to be able to express what is happening with these emission levels.

Finally, with the value already analyzed, it is compared with the initial or unmodified values, and it was determined that the CO and HC levels decreased their levels in each type of opening with positive effects this analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCIÓN	XVIII
PROBLEMA	XVIII
IMPORTANCIA Y ALCANCES	XIX
DELIMITACIÓN	XIX
OBJETIVOS	XX
Objetivo General	XX
Objetivos Específicos	XX
CAPÍTULO 1	1
ESTADO DEL ARTE “MOTOCICLETAS”	1
1. Fundamentación teórica	1
1.1. Historia	1
1.2. Evolución de la motocicleta	2
1.3. Estructura de una motocicleta	3
1.4. Motor	5
1.4.1. Tipo de motores	5
1.5. Motor de combustión interna de 4 tiempos	6
1.5.1. Descripción del ciclo ideal termodinámico de un motor a 4 tiempos	7
1.5.2. Componentes de un motor de 4 tiempos de motocicleta	8
1.6. Sistema de inyección electrónica de motocicletas	9

1.6.1.	<i>Funcionamiento del sistema de alimentación por inyección electrónica</i>	9
1.7.	<i>Componentes producidos por los gases de escape</i>	12
1.8.	<i>Gases emitidos</i>	13
1.8.1.	<i>Gases no contaminantes</i>	13
1.8.2.	<i>Gases contaminantes</i>	14
1.9.	<i>Contaminación producida por motocicletas</i>	17
1.10.	<i>Efectos de los gases producidos por la combustión en la salud humana</i>	18
1.11.	<i>Normativas ecuatorianas de regulación ambiental</i>	18
1.12.	<i>Hidrógeno</i>	19
1.12.1.	<i>Historia del hidrógeno</i>	19
1.12.2.	<i>Propiedades generales</i>	20
1.13.	<i>Poder calorífico del hidrógeno</i>	22
1.14.	<i>Seguridad en el uso del hidrógeno</i>	23
1.15.	<i>Obtención del hidrógeno</i>	23
1.15.1.	<i>Electrolisis</i>	24
1.15.2.	<i>Maneras adicionales de obtención de hidrógeno</i>	25
1.16.	ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO	26
1.17.	<i>Ventajas y desventajas del hidrógeno</i>	26
1.18.	<i>Combustible nacional</i>	27
2.	CAPÍTULO 2	30
	<i>Obtención de muestras de las emisiones de las motocicletas</i>	30
2.1.	<i>Mezcla de combustible con el hidrógeno</i>	30
2.2.	<i>Rango óptimo de operación</i>	30
2.3.	<i>Tiempo de reacción del motor</i>	31
2.4.	<i>Generador de hidrógeno</i>	31
2.5.	<i>Datos físicos del componente electrolítico</i>	32
2.5.1.	<i>Hidróxido de sodio</i>	32
2.5.2.	<i>Especificaciones del componente electrolítico</i>	32
2.5.3.	<i>Agua destilada</i>	33

2.6.	<i>Esquema de conexión general de funcionamiento del equipo</i>	34
2.6.1.	<i>Esquema de conexión del prototipo de alimentación gasolina- hidrógeno</i>	34
2.7.	<i>Implementación del sistema</i>	35
2.8.	<i>Analizador de gases MAHA MGT 5</i>	35
2.9.	<i>Ficha técnica de las motocicletas</i>	37
2.9.1.	<i>Royal Enfield Hunter 350</i>	37
2.9.2.	<i>Yamaha XTZ 150</i>	38
2.10.	<i>Mediciones de emisiones contaminantes</i>	39
2.11.	<i>Recomendaciones antes de la prueba</i>	41
2.12.	<i>Procedimiento para la toma de datos de la motocicleta</i>	43
2.12.1.	<i>Procedimiento para la generación del hidrógeno</i>	43
2.12.2.	<i>Procedimiento para la adaptación del hidrógeno en la motocicleta</i>	43
2.12.3.	<i>Proceso para la toma de datos en la motocicleta</i>	45
2.13.	<i>Validación de datos: Comprobación de gases</i>	46
2.13.1.	<i>Sin hidrógeno</i>	48
2.13.2.	<i>Con hidrógeno</i>	48
2.14.	<i>Comprobaciones Yamaha XTZ 150</i>	50
2.14.1.	<i>Sin hidrógeno</i>	50
2.14.2.	<i>Con hidrógeno</i>	51
3.	CAPÍTULO 3	53
3.1.	<i>Base de datos</i>	53
3.2.	<i>Análisis de emisiones: Excel</i>	54
3.2.1.	<i>Motocicleta Royal Enfield Hunter 350</i>	54
3.2.2.	<i>Motocicleta Yamaha XTZ 150</i>	59
3.3.	<i>Análisis de emisiones: Minitab</i>	63
3.3.1.	<i>Motocicleta Royal Enfield Hunter 350</i>	63
3.3.2.	<i>Motocicleta Yamaha XTZ 150</i>	76
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	91

<i>BIBLIOGRAFIA</i>	92
<i>ANEXOS</i>	95
Anexo 1. Aperturas de la válvula del generador	95
Aperturas de la válvula del generador	95
Anexo 2. Pruebas Royal Enfield Hunter 350	95
Pruebas Royal Enfield Hunter 350	95
Anexo 3. Pruebas Yamaha XTZ 150	95
Pruebas Yamaha XTZ 150	95
Anexo 4. Generador de hidrógeno	96
Generador de hidrógeno	96
Anexo 5. Analizador de gases para la toma de datos	97
Analizador de gases para la toma de datos	97
Anexo 6. Muestras realizadas (Referenciales) Yamaha XTZ 150	97
Muestras realizadas (Referenciales) Yamaha XTZ 150	97
Anexo 7. Muestras realizadas (Referenciales) Royal Enfield Hunter 350	98
Muestras realizadas (Referenciales) Royal Enfield Hunter 350	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes de un motor de motocicleta de combustión interna	8
Tabla 1.1 VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	12
Tabla 1.2 Efectos de los gases de la combustión en la salud humana.....	18
Tabla 1.3 Poder calorífico de los combustibles	22
Tabla 1.4 Manera de obtención del hidrógeno.....	25
Tabla 1.5 Ventajas y desventajas del hidrógeno.....	26
Tabla. 2 Gráfica de la influencia del hidrógeno en los motores de combustión interna	30
Tabla 2.1 Especificaciones del hidróxido de sodio.....	32
Tabla 2.2 Identificación del agua destilada.....	33
Tabla 2.3 Datos técnicos del motor de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350	37
Tabla 2.4 Datos técnicos del motor de la motocicleta Yamaha XTZ 150.....	38
Tabla 2.5 Límites máximos de emisiones permitidas para las motocicletas (Prueba en ralentí)	46
Tabla 2.6 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralentí (sin hidrógeno)	48
Tabla 2.7 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 350 a 2100 (sin hidrógeno)	48
Tabla 2.8 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura).....	49
Tabla 2.9 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura).....	49
Tabla 2.10 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura).....	49
Tabla 2.11 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura).....	49
Tabla 2.12 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura).....	50
Tabla 2.13 Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura).....	50
Tabla 2.14 Mediciones de la motocicleta Yamaha XTZ 150 a ralentí (sin hidrógeno).....	50

Tabla 2.15 Mediciones de la motocicleta Yamaha XTZ 150 a 2100 rpm (sin hidrógeno) ...	51
Tabla 2.16 Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura).....	51
Tabla 2.17 Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura).....	51
Tabla 2.18 Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura).....	51
Tabla 2.19 Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura).....	52
Tabla 2.20 Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura).....	52
Tabla 2.21 Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura).....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0.1 Posición geográfica _____	XIX
Figura 1.1 Primera motocicleta de la historia _____	2
Figura 1.2 Sucesos destacados en la evolución de la motocicleta _____	3
Figura 1.3 Chasis de motocicleta de última generación _____	3
Figura 1.4 Partes de un neumático de la motocicleta _____	4
Figura 1.5 Motor de combustión interna de 2 tiempos _____	5
Figura 1.6 Motor de 4 tiempos de una motocicleta _____	6
Figura 1.7 Diagrama de funcionamiento del motor Otto _____	7
Figura 1.8 Estructura y componentes de un motor de motocicleta _____	8
Figura 1.9 Procedimientos del sistema de inyección electrónica _____	10
Figura 1.10 Componentes del sensor ECT _____	11
Figura 1.11 Elementos producidos por la combustión de un motor a gasolina _____	13
Figura 1.12 Gases principales que contaminan el aire _____	14
Figura 1.13 Distribución de emisiones de óxido nitroso según su procedencia _____	16
Figura 1.14 Línea de tiempo del hidrógeno _____	19
Figura 1.15 Propiedades físicas del hidrógeno _____	20
Figura 1.16 Propiedades químicas del hidrógeno _____	21
Figura 1.17 Procesos de obtención del hidrógeno _____	24
Figura 1.18 Producción de hidrógeno verde (por electrolisis) _____	25
Figura 1.19 Forma de almacenar el hidrógeno de almacenar el hidrógeno _____	26
Figura 1.20 Precios de combustible en el ecuador (cifra en USD por galón) _____	29
Figura 2.1 Generador de hidrógeno de celda seca _____	31
Figura 2.2 Datos físicos y termodinámicos del hidróxido de sodio (NaOH) _____	32
Figura 2.3 Conexión para el esquema del prototipo del generador de hidrógeno a la admisión 34	
Figura 2.4 Esquema de conexión para la implementación en la motocicleta _____	34
Figura 2.5 Datos técnicos del analizador de emisiones, analizador combinado _____	36
Figura 2.6 Fotografía de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 _____	37

Figura 2.7 Fotografía de la motocicleta Yamaha XTZ 150	38
Figura 2.8 Analizador de gases MAHA MGT 5	45
Figura 2.9 Procedimiento para la adquisición de datos	47
Figura 3.1 Datos obtenidos de monóxido de carbono	54
Figura 3.2 Datos obtenidos del dióxido de carbono	55
Figura 3.3 Datos obtenidos del dióxido de carbono	57
Figura 3.4 Datos obtenidos del oxígeno	57
Figura 3.5 Datos obtenidos del factor lambda	58
Figura 3.6 Datos obtenidos del monóxido de carbono	59
Figura 3.7 Datos obtenidos del dióxido de carbono	60
Figura 3.8 Datos obtenidos del hidrocarburo no combustionado	61
Figura 3.9 Datos obtenidos del oxígeno	61
Figura 3.10 Datos obtenidos del factor lambda	62
Figura 3.11 Modelo matemático para el CO	63
Figura 3.12 Gráfica de residuos para CO	64
Figura 3.13 Análisis de varianza del CO	65
Figura 3.14 Modelo matemático del CO ₂	66
Figura 3.15 Gráfica de residuos para CO ₂	66
Figura 3.16 Análisis de varianza del CO ₂	68
Figura 3.17 Modelo matemático del HC	68
Figura 3.18 Gráfica de residuos del HC	68
Figura 3.19 Análisis de varianza del HC	70
Figura 3.20 Modelo matemático del O ₂	70
Figura 3.21 Gráfica de residuos del O ₂	70
Figura 3.22 Análisis de varianza del O ₂	72
Figura 3.23 Modelo matemático del factor LAMBDA	72
Figura 3.24 Gráfica de residuos del LAMBDA	73
Figura 3.25 Análisis de varianza del LAMBDA	74
Figura 3.26 Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a ralenti	74

Figura 3.27 Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a 2100 rpm	75
Figura 3.28 Modelo matemático para el CO	77
Figura 3.29 Gráfica de residuos para CO	77
Figura 3.30 Análisis de varianza del CO	78
Figura 3.31 Modelo matemático para el CO ₂	79
Figura 3.32 Gráfica de residuos para CO ₂	79
Figura 3.33 Análisis de varianza del CO ₂	81
Figura 3.34 Modelo matemático para el HC	81
Figura 3.35 Gráfica de residuos para el HC	81
Figura 3.36 Análisis de varianza del HC	83
Figura 3.37 Modelo matemático para el O ₂	83
Figura 3.38 Gráfica de residuos para O ₂	83
Figura 3.39 Análisis de varianza del O ₂	85
Figura 3.40 Modelo matemático para LAMBDA	85
Figura 3.41 Gráfica de residuos para LAMBDA	85
Figura 3.42 Análisis de varianza de LAMBDA	87
Figura 3.43 Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a ralentí	87
Figura 3.44 Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a 2100 rpm	88

INTRODUCCIÓN

El crecimiento del parque automotor de motocicletas es preocupante ya que aumenta las emisiones de gases contaminantes y tiene un gran impacto ambiental generado por motocicletas de motores de combustión interna, por motivo de la pandemia (COVID 19) el uso de motocicletas incremento drásticamente por motivo de que las personas no podían salir de sus hogares y realizaban pedido a domicilio.

Con el propósito de reducir la contaminación se implementó el hidrógeno como aditivo al sistema de admisión del motor, implicando desafíos importantes, por medio de un prototipo realizado de generador de hidrógeno propuesta para mitigar las emisiones contaminantes y el mismo ser administrado y que se produzca su combustión.

El hidrógeno permite el uso de varias mezclas con combustibles, como gasolina – hidrógeno, etanol – hidrógeno, etc. La combinación de hidrógeno y gasolina ofrece series de ventajas en términos de eficiencia y desempeño, por ello asegura la reducción significativa de emisiones contaminantes.

El presente estudio intenta crear un aporte pequeño para el hidrógeno en motores de combustión interna y la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente.

Se realizarán por método experimental para la toma de datos de muestras de emisiones de gases contaminantes de 2 motocicletas a inyección electrónica por ello se tomará con ayuda de un analizador de gases unos resultados y se verificará tu comportamiento, permitirá tener resultados que serán vitales para hacer comparaciones validas.

A su vez es método descriptivo ya que se usará información obtenida de las muestras y se buscará interpretar los resultados obtenidos.

PROBLEMA

El aumento de la contaminación por fuentes fósiles representa un conflicto con el medio ambiente demasiado alto, precisamente en las zonas urbanas por el incremento del parque automotor y del desarrollo de la industria. (Ministerio del Ambiente, 2022)

Nota. Mapa de la localización de la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca. Tomado de (maps, 2023)

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar las emisiones producidas por motocicletas de 4 tiempos a inyección mediante el suministro de hidrógeno al sistema de admisión del motor para la reducción de su impacto ambiental.

Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte a partir de fuentes bibliográficas para la implementación de hidrógeno al sistema de admisión de los motores de motocicletas.
- Obtener muestras de las emisiones de gases contaminantes con y sin adición de hidrógeno al sistema de admisión del motor de la motocicleta, para su análisis respectivo.
- Analizar los muestreos mediante programas de estadística básica para la determinación de gráficas, esquemas y resultados.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE “MOTOCICLETAS”

1. Fundamentación teórica

1.1. Historia

Las motocicletas son vehículos de dos ruedas equipados con un motor a gasolina de combustión interna. El chasis y las ruedas se encuentran basados como de un vehículo. La rueda motriz en la parte posterior genera lo que es la tracción o movimiento mientras que la rueda delantera da la dirección a la motocicleta, en el castellano es común mente conocido como moto. Se pueden transportar de una a dos personas en motocicleta.

La primera motocicleta a motor se fabricó en 1885 en Alemania por los ingenieros Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach. Estaba basada en una bicicleta de madera a la que le adaptaron un motor de combustión interna de un cilindro y 0.5 caballos de fuerza.

Posteriormente, Enfield fabricó en 1892 el primer modelo de serie, mientras que en Estados Unidos las compañías Orient-Aster y Indian produjeron sus primeros modelos comerciales en 1898. (Ganneau, 2003)

Para la década de 1910, marcas como Triumph, BMW y Harley-Davidson ya producían modelos más confiables y con mayor potencia impulsados por motores de dos tiempos. Durante la Primera Guerra Mundial, la motocicleta cobró importancia como vehículo militar. (Suzuki, 2019)

Para el año 1904 se crea la primera Federación Internacional de Motociclismo (FIM) una organización gubernamental enfocada en la regulación y reglamentación de los eventos de las carreras de motocicletas alrededor del mundo.

Para años posteriores se desarrollaron motores de combustión interna lo que aumentaron la potencia de este mejorando e innovando las motocicletas.

Para la década de los 70's marcas japonesas ingresan al mercado especialmente se enfocaron en las de todo terreno, desde entonces se pudo apreciar variedad de diseños y avances tecnológicos especializados en todos sus materiales de los que fueron fabricados.

En la actualidad en el mercado del mundo la mayoría predominan marcas japonesas, americanas, indias y europeas. Pero a su vez hay motocicletas que han ido invadiendo con motocicletas de procedencia china lo que han sido de mala calidad y falta de cumplimiento a las normas y estándares de emisiones contaminantes. (DOLORES RIVERA & DOMÍNGUEZ LANDA, 2013)

Figura 1.1

Primera motocicleta de la historia



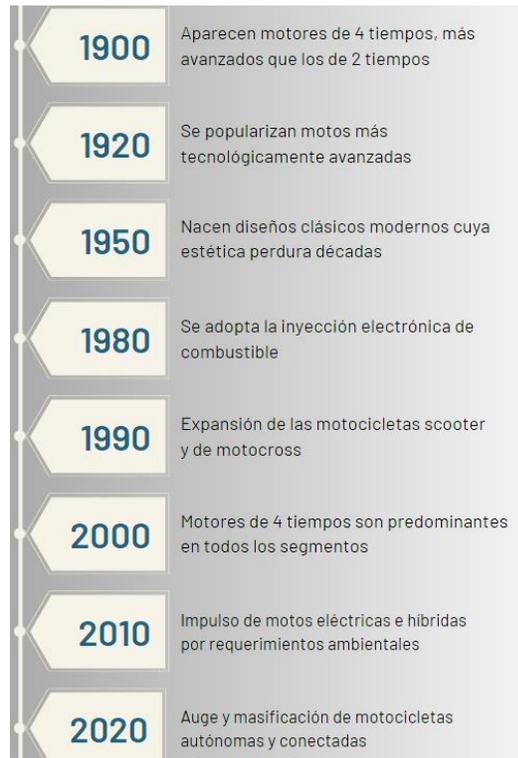
Nota. Motor de dos cilindros a vapor con dos pistones de 164 cc accionado por carbón. Fuente <https://ducatimadrid.com/noticias/quien-invento-la-moto/>

1.2. Evolución de la motocicleta

Han evolucionado desde simples motocicletas de un solo cilindro hasta enormes máquinas con motores tecnológicamente avanzados que pueden alcanzar velocidades de más de 300 km/h y soportar viajes largos.

Se pueden clasificar por su utilización podemos tener motos deportivas, Naked, de calle o utilitarias, tipo turismo y sport-turismo, custom y choppers, scooters, supermotard, de cross y enduro. (Espiriturider, 2020)

Figura 1.2
Sucesos destacados en la evolución de la motocicleta



Nota. La evolución de las motocicletas con el pasar del tiempo busca tener los mejores desempeños y beneficios para el medio ambiente. Fuente. Del autor

1.3. Estructura de una motocicleta

Chasis

El chasis de la motocicleta constituye un elemento estructural crucial pues en él se ensamblan componentes vitales como el motor y el asiento del piloto. Independiente de la configuración específica, todo chasis cuenta con una pipa de dirección en la sección delantera para fijar la suspensión y el manubrio; también presenta una zona de anclaje del basculante con el amortiguador posterior. Un aspecto primordial del chasis es poder soportar las intensas cargas dinámicas que se generan durante la conducción sin que se deforme su estructura, garantizando una óptima estabilidad de la motocicleta. Hay materiales muy livianos como el magnesio o las fibras de carbono, lo más común es acero o aleaciones de aluminio para la fabricación de chasis, buscando tener resistencia mecánica y peso reducido. (M. Calero. D. Morales, 2014)

Figura 1.3
Chasis de motocicleta de última generación



Nota. Carrocería de motocicleta por medio de avances tecnológicos. Fuente <https://blog.tamaritmotorcycles.com/chasis-de-moto>

Neumáticos y frenos

Los neumáticos deben cumplir requisitos específicos para cada eje. La rueda delantera está diseñada para enfrentar condiciones de dirección y frenado, mientras que la rueda trasera se adapta a condiciones de tracción. Esta distinción impide el intercambio de neumáticos entre ambos ejes. La principal diferencia se evidencia en el diseño del dibujo de la banda de rodadura, siendo esta la razón por la cual la rueda trasera suele tener una mayor anchura. (M. Calero. D. Morales, 2014)

Figura 1.4
Partes de un neumático de la motocicleta



Nota. Componentes que se debe de tomar en cuenta en un neumático de motocicleta, como el modelo de neumático, anchura, diámetro, fabricante, etc. Tomado de: <https://www.tienda-moto.com/blog/wp-content/uploads/2017/04/datos-neumatico-moto-670x367.jpg>

1.4. Motor

1.4.1. Tipo de motores

Motor de dos tiempos

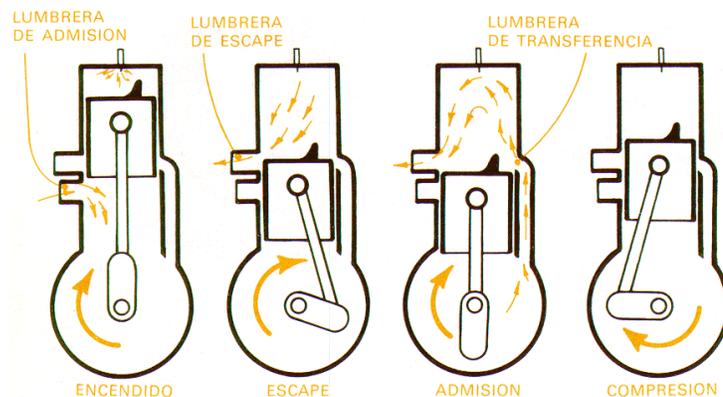
Los motores de dos tiempos se caracterizan por su ciclo termodinámico completo de transformación de energía térmica a mecánica ocurre únicamente durante dos carreras del pistón:

- La ascendente, en la que tienen lugar la admisión y compresión de la mezcla fresca.
- La descendente, donde se suceden la combustión con expansión de gases y finalmente la evacuación de los residuos quemados.

De este modo, en solo un giro de la manivela se cierra el proceso, de allí que también se los denomina “monocilíndricos”.

En la historia la mayoría de las motocicletas empleaban motores de dos tiempos, actualmente su uso se ha circunscrito principalmente a modelos de baja cilindrada como ciclomotores, así como a motos de competición, dada sus prestaciones de par motor y liviandad relativos frente a motores de combustión interna de cuatro tiempos. (Mourelo, 2012)

Figura 1.5
Motor de combustión interna de 2 tiempos



Nota. El motor de 2 tiempos realiza las fases de admisión – compresión, y también otra fase de explosión – escape, lo realiza en 2 movimientos del pistón, tiene que realizar una mezcla del combustible con un aceite para su funcionamiento. Tomado de <http://www.surgarden.es/blog/funcionamiento-de-un-motor-de-2-tiempos/>

Motor de cuatro tiempos

El motor de cuatro tiempos, también denominado de ciclo Otto, se caracteriza porque la conversión de la energía química del combustible a energía mecánica se lleva a cabo en cuatro etapas bien diferenciadas, de allí su nombre. Cada una de esas cuatro fases ocurre a lo largo de un recorrido completo del pistón y conforman en conjunto un ciclo de funcionamiento.

Figura 1.6

Motor de 4 tiempos de una motocicleta



Nota. Los motores de combustión interna de 4 tiempos hay ido mejorando su tecnología para tener el mejor rendimiento y economía. Fuente: <https://www.auteco.com.co/como-funciona-un-motor-4-tiempos/>

1.5. Motor de combustión interna de 4 tiempos

Los motores de combustión interna funcionan mediante un proceso termodinámico que aprovecha la reacción química de combustión. Esta reacción exotérmica tiene lugar en la cámara de combustión ubicada en el interior del propio motor y libera energía en forma de calor, la cual es convertida en trabajo mecánico.

Existen diversas variaciones de motores de combustión interna, por ello se revisará de los motores alternativos por ser los más utilizados en motocicletas.

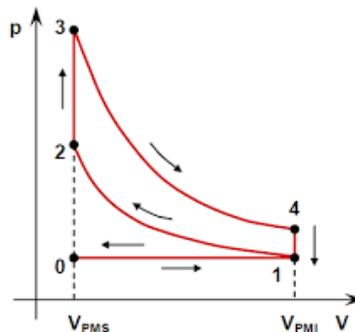
El principio de operación de los motores alternativos radica en que los gases de la combustión presionan el pistón, impulsándolo linealmente dentro del cilindro. El movimiento alternante del pistón se transmite por medio de la biela al cigüeñal, el cual gracias a esto gira continuamente transformando el desplazamiento rectilíneo en rotatorio.

De esta manera, se logra convertir mediante los componentes del motor la energía química del combustible en trabajo mecánico útil para propulsar el vehículo o motocicleta. (VILDA, 2019)

1.5.1. Descripción del ciclo ideal termodinámico de un motor a 4 tiempos

Figura 1.7

Diagrama de funcionamiento del motor Otto



Fuente: <https://makinandovelez.wordpress.com/2017/11/12/diagrama-pv-de-un-motor-de-ciclo-teorico-otto/>

El periodo de los motores de encendido por explosión, el cual se procede a realizar en dos vueltas del cigüeñal. El ciclo en si comprende al proceso de admisión, compresión, expansión y de escape, el cual se describe el diagrama P-v (Presión – volumen) Fig.1.7

Admisión: Recorrido 0-1. El pistón se encuentra en el **PMS** (punto muerto superior) hacia el **PMI** (punto muerto inferior), la válvula de la admisión (**VA**), se encuentra abierta en ese momento. El cilindro procede a ser llenado con la mezcla aire/ combustible.

Compresión: Recorrido 1-2. En ese momento las dos válvulas se encuentran cerradas (**VA**) y la válvula de escape (**VE**), y el pistón se desplaza desde el **PMI** al **PMS** y realiza toda una carrera completa. La mezcla de combustible y aire se comprime lo que da una compresión isoentrópica.

Encendido: (recorrido 2-3) el pistón llega al **PMS**, procede a realizar el encendido de la chispa proveniente de la bujía y se inflama la mezcla aire/combustible en la cámara de combustión, aumentando la presión en el punto de **2** a **3**.

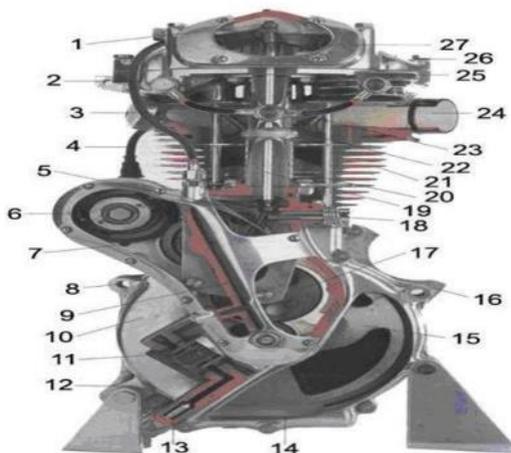
Trabajo: Recorrido 3-4. En este momento las dos válvulas se encuentran cerradas y el pistón se desplaza desde el PMS al PMI lo cual realiza una carrera completa. El trabajo es isoentrópico.

Escape: Se realiza la evolución del punto 1-0. La válvula VE se encuentra abierta mientras que la VA se encuentra cerrada, el pistón se desplaza desde el PMI al PMS, lo que realiza una carrera completa. (JORDÁN GUILLÉN y otros, 2010)

1.5.2. Componentes de un motor de 4 tiempos de motocicleta

Figura 1.8

Estructura y componentes de un motor de motocicleta



Nota. estructura y composición de un motor de motocicleta de 4 tiempo. Tomado de:
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/650/3/FECYT%20852%20TESIS.pdf>

La composición del motor de motocicleta es parecida al motor de vehículo solo que la diferencia es más ligero y adaptado para varios tipos de utilización. (ROSERO AGUIRRE & RUALES ORTEGA, 2010)

Tabla 1

Componentes de un motor de motocicleta de combustión interna

NUMERACIÓN	COMPONENTE
1	Regulador de balancín con tuerca atornillable
2	Cañería para la alimentación del aceite
3	Conducto de admisión
4	Cable de conducción de corriente del magneto a la
5	bujía de encendido
6	Botador

7	Magneto
8, 16	Engranaje del árbol de levas
9	Agujero para el montaje del motor
10, 14	Conducto del aceite
11	Block- cárter
12	Bomba de aceite
13	Soporte para el montaje
15	Válvula de aceite de no retorno
17	Cigüeñal
18	Engranaje de distribución
19	Descompresor para detener el motor por medio de la
20	válvula de escape
21	Varilla levanta válvulas
22	Pistón
23, 25	Aleta de enfriamiento
24	Cámara de combustión
26	Tapa de cilindro
27	Conducto de escape
	Perno de retención de la tapa válvulas
	Balancín

Nota. Se puede describir los principales partes del motor de motocicleta, pero existen más partes no mencionadas que existen en el motor. Fuente: (ROSERO AGUIRRE & RUALES ORTEGA, 2010)

1.6. Sistema de inyección electrónica de motocicletas

Los sistemas de inyección electrónica de combustible controlan precisamente la cantidad de carburante que se suministra al motor. Su objetivo es lograr una combustión más eficiente y menos contaminante al dosificar el combustible en el momento adecuado. Además de regular la mezcla aire/combustible, estos sistemas permiten controlar con exactitud el avance del encendido, mejorando el desempeño del motor y entregando mayor potencia y par a diferentes regímenes. La inyección electrónica regula automáticamente las variaciones en la operación del motor debido a cambios de conducción, altitud y carga. Los fabricantes de motocicletas están adoptando crecientemente esta tecnología por sus ventajas en eficiencia, desempeño y capacidad de regulación automática. Les permite cumplir normas de emisiones más estrictas sin sacrificar potencia. (Donaire, 2021)

1.6.1. Funcionamiento del sistema de alimentación por inyección electrónica

Los modernos sistemas de suministro de combustible emplean componentes electrónicos mediante múltiples sensores, la inyección electrónica puede evaluar simultáneamente variables como la presión en el colector de admisión, la temperatura del aire de combustión o el grado de apertura del acelerador. De esta manera, la unidad de control determina

con gran velocidad y precisión la cantidad justa de combustible a inyectar en cada cilindro según la situación.

Establecer la dosificación de combustible más apropiada en todo momento, al coordinar estos parámetros cruciales, se optimiza el proceso de combustión para maximizar la potencia y el par motor, al tiempo que se reducen drásticamente las emanaciones contaminantes. (Abrirarchivos TI y tecnología, 2023)

Figura 1.9
Procedimientos del sistema de inyección electrónica



Nota. En la gráfica se logra apreciar los componentes del sistema de inyección electrónica, información tomada de (https://revistamoto.com/wp_rm/wp-content/uploads/2017/07/Screenshot_48.jpg)

Componentes importantes del sistema de inyección electrónica

- La unidad de control (ECU)
- Sensor de posición de la mariposa de aceleración (TPS)
- Sensor de flujo de masa de aire (MAF)
- Sensor de temperatura del motor (ECT)
- Sensor de oxígeno (Sonda Lambda)
- Sensor de posición del cigüeñal (CKP)
- Bomba de gasolina

- Inyector de combustible

La unidad de control (ECU)

Es conocida como ECU es el cerebro o el principal ejecutor de todas las acciones de la motocicleta, principalmente del sistema de inyección electrónica. Se basa a partir de la recopilación de datos obtenido por los sensores, los procesa los datos obtenidos y enviar en forma de señales a los inyectores para realizar el control de la cantidad de combustible que envía al inyector.

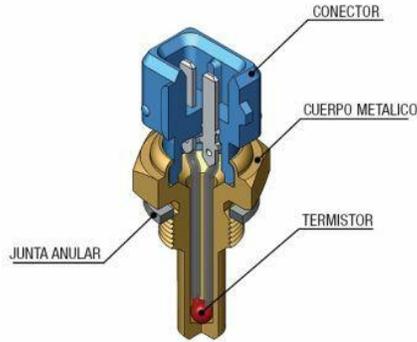
Sensor de temperatura del motor (ECT)

El sensor ECT, también conocido como sensor de temperatura del refrigerante, es un dispositivo electrónico que monitorea la temperatura del refrigerante en un motor de combustión interna. Este sensor es esencial para mantener el rendimiento óptimo del motor y prevenir posibles problemas como daños al motor o reducción del rendimiento. El funcionamiento del sensor ECT se basa en el cambio de resistencia del sensor dependiendo de la temperatura del refrigerante. A medida que aumenta la temperatura del refrigerante, la resistencia del sensor ECT disminuye. La ECU (unidad de control del motor) utiliza esta información para calcular el tiempo de encendido y el tiempo de inyección.

El sensor ECT está conectado a un circuito que normalmente se alimenta con un voltaje de referencia de 5 V. El cambio de resistencia del sensor ECT se convierte en un cambio de voltaje y la ECU lo procesa.

Cuando el motor está frío y la temperatura ambiente es de aproximadamente 20 °C, la resistencia del sensor ECT es de 2000 a 3000 ohmios. Después de arrancar el motor, la temperatura del refrigerante comienza a aumentar gradualmente. A medida que el refrigerante se calienta, la resistencia del sensor ECT disminuye proporcionalmente. A 90°C, la resistencia del sensor ECT está entre 200 y 300 ohmios.

Figura 1.10
Componentes del sensor ECT



Nota. Componentes principales del sensor ECT. Tomado de <https://www.ingenieriamecanicaautomotriz.com/que-es-el-sensor-de-temperatura-de-motor-y-como-funciona/>

Inyector de combustible

El inyector, que funciona como una válvula electromagnética que habilita o interrumpe el flujo de combustible hacia los cilindros. Al activarse su bobina, el inyector dosifica el carburante en forma de neblina finamente pulverizada, optimizando la posterior combustión. (Álvarez Álvarez & Álvarez Peralta, 2023)

1.6.1.1. Ventajas de la inyección electrónica

Tabla 1.1
VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA

DESCRIPCIÓN
Mejor economía de combustible
Respuesta más rápida del motor
Reducción de emisiones contaminantes
Ajuste automático a diferentes condiciones
Mejora el rendimiento
Aumenta la seguridad

Nota. Aspectos más importantes que tiene la inyección electrónica. Fuente (TOROCHE CRIOLLO & AGILA MACAS, 2023)

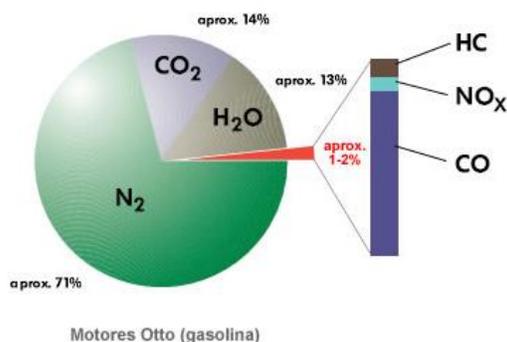
1.7. Componentes producidos por los gases de escape

Durante la combustión de la gasolina en la cámara de un motor de 4 tiempos, la reacción ideal con el oxígeno debería producir únicamente agua, dióxido de carbono y nitrógeno, compuestos no contaminantes. Sin embargo, debido a que la combustión real no es perfectamente eficiente, también se generan residuos de gases altamente contaminantes que son liberados a la atmósfera. Entre estos residuos se encuentran el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados.

La formación de estos subproductos nocivos para el medio ambiente se debe a diversos factores durante la combustión en el motor, como pueden ser temperaturas y presiones no óptimas, mezcla de aire/combustible inapropiada, tiempos de combustión variables, entre otros. Esto hace que no se logre la combustión completa del carburante y se emitan los mencionados gases contaminantes por el tubo de escape de los vehículos. Su efecto nocivo demanda estrategias para controlar y reducir estas emisiones. (LEMA TIGRE & VALAREZO VITE, 2022)

Figura 1.11

Elementos producidos por la combustión de un motor a gasolina



Nota. Composición de los gases de escape de un ciclo descriptivo de un motor Otto. Tomado de https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90489/fichero/150917+TFG_completo+V48.pdf

1.8. Gases emitidos

1.8.1. Gases no contaminantes

Los gases no producen efectos adversos al medio ambiente, según lo determina el ingeniero (P. Vintimilla, 2015) los siguientes:

Nitrógeno (N₂)

El nitrógeno, un gas incoloro e inodoro, constituye el 78% del aire que inhalamos y participa en el proceso de combustión junto con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno inhalado se libera de nuevo en forma pura en los gases de escape; solo una fracción pequeña se combina con el oxígeno (O₂) para formar óxidos nítricos (NO_x).

Oxígeno (O₂)

El oxígeno, un gas incoloro, inodoro e insípido, representa el 21% del aire que respiramos. Es esencial para el proceso de combustión; en una mezcla ideal, el consumo de combustible debería ser total. Sin embargo, en el caso de una combustión incompleta, el oxígeno remanente es expulsado a través del sistema de escape.

Agua (H₂O)

El agua es un subproducto de la combustión y se expulsa a través del sistema de escape durante la fase de calentamiento del motor. En días más fríos, puede observarse como un humo blanco que emerge del escape, o si se condensa a lo largo del tubo, puede dar lugar a goteo. Es un componente inofensivo de los gases de escape.

Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono se genera al quemar combustibles que contienen carbono, como la gasolina. Durante este proceso, el carbono se combina con el oxígeno inhalado. Es un gas incoloro y no combustible. El dióxido de carbono contribuye a reducir la capa atmosférica que normalmente protege contra la penetración de los rayos UV, lo que puede dar lugar a cambios climáticos. La conciencia pública sobre las emisiones de CO₂ ha aumentado en el contexto de las discusiones sobre alteraciones climáticas y el efecto "invernadero".

Sin embargo, a menudo no se alcanzan concentraciones peligrosas en zonas abiertas.

El (CO) reacciona con el oxígeno de la atmósfera para formar dióxido de carbono, lo que contribuye al calentamiento global. También es un precursor del ozono troposférico.

Las principales fuentes de emisiones son los motores de combustión interna utilizados en el transporte y, en menor escala, en los sectores civil e industrial.

1.8.2. Gases contaminantes

Estos contaminantes son propensos a dar problemas en la salud y efectos al medio ambiente, esto lo estipula el Ingeniero (P. Vintimilla, 2015) los siguientes:

Figura 1.12

Gases principales que contaminan el aire



Nota. Se presentará de diferentes formas tales como humo, polvo, cenizas, hollín, aerosoles, etc. Fuente: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/paginas/generalidades/principales-contaminantes.aspx>

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono, conocido como el "asesino silencioso" por sus propiedades fisicoquímicas, utiliza múltiples mecanismos toxicológicos que explican sus potenciales efectos adversos sobre la salud humana. Estos incluyen: Compete con el oxígeno y altera la curva de disociación de la hemoglobina. Al ingresar al cuerpo, el monóxido de carbono se unirá a las enzimas del grupo de la hemoglobina, expulsando el oxígeno del cuerpo. Se forman complejos de carboxihemoglobina en la sangre, que interfieren en el transporte de oxígeno a las células y tejidos, provocando una hipoxia celular generalizada. (Téllez y otros, 2005)

Hidrocarburos (HC)

Estos compuestos por la unión de hidrógeno y carbono se refieren a los combustibles no completamente quemados o quemados parcialmente expulsados a través del escape de un automóvil. Entre estos, el benceno destaca como un compuesto cancerígeno. Las principales fuentes de benceno en el aire incluyen las emisiones de vehículos motorizados y las pérdidas por evaporación durante la manipulación, distribución y almacenamiento de la gasolina.

Óxido de nitrógeno (NO_x)

Tienen un aspecto amarillento, se forman durante la combustión en vehículos motorizados y plantas eléctricas. Este gas tóxico e irritante es precursor de la formación de partículas de nitrato, contribuyendo a la producción de ácidos en el ambiente. El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se generan por las altas temperaturas en las combustiones, resultando en la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno del aire para formar óxido nítrico, que luego se oxida parcialmente a NO₂. Por ende, los motores de combustión interna emiten óxidos de nitrógeno con proporciones significativas de NO y NO₂.

Dióxido de azufre (SO₂)

En cuanto a este se produce durante la quema de combustibles y el procesamiento de minerales. A diferencia de otros gases mencionados, el SO₂ es incoloro, no inflamable y no explosivo.

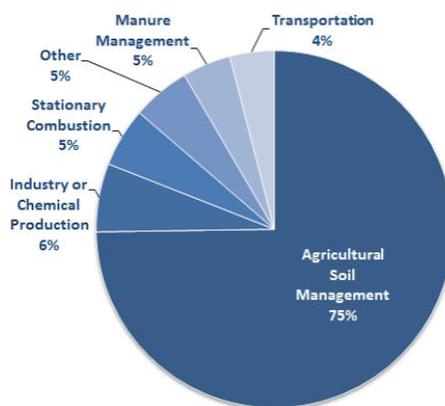
Óxido nitroso (N₂O)

Además de los intermedios en el tercer mecanismo de formación de (NO) explicado anteriormente, El propio (N₂O) es otra fuente importante de óxido nitroso, ya que es 296 veces más abundante, es más reactivo que el (CO₂) en términos de contribuir al calentamiento global y facilitar el acceso a la capa de ozono estratosférica y contribuye con su destrucción. (PROF. F. PAYRI & PROF. J. M. DESANTES, 2011)

Lo aproximado de un 40% de emisiones por óxido nitroso tiene origen en los antropógenos, y de este 40% solo el 4% proviene de los vehículos y el transporte del mundo, como se puede ver en la figura 1.4:

Figura 1.13

Distribución de emisiones de óxido nitroso según su procedencia



Fuente: <http://epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/n2o.html#Reducing>

Partículas en suspensión (MPC)

Las partículas son cualquier sustancia presente en los gases de escape que existen en estado líquido o sólido en condiciones ambientales. La principal vía de formación de partículas de hollín se produce mediante la colisión de dos compuestos aromáticos policíclicos, creando

partículas con una estructura tridimensional. Su formación se produce desde la llama hasta el sistema de escape y se describe detalladamente a continuación:

La primera etapa se llama nucleación. Ocurre en regiones cercanas a la zona de reacción, ricas en combustible y caracterizadas por altas temperaturas, donde la concentración de radicales y iones es máxima. Implica la formación de una fase sólida a partir de una fase gaseosa de iones anteriores. Debido a su pequeño tamaño, estos núcleos no desempeñan un papel significativo en la masa total de hollín. Sin embargo, son muy importantes para el proceso de producción final; porque actúan como núcleos que promueven el crecimiento de la siguiente semilla.

Metales pesados

Los más representativos son el plomo, el mercurio, el arsénico, el cadmio y el níquel. El plomo tiene el mayor impacto en los motores. Sin embargo, con su eliminación del combustible, sus emisiones se han reducido significativamente. El comercio de gasolina con plomo en los países de la Unión Europea las regulaciones anunciadas por los países, pero en algunas zonas lo comercializan en pequeñas cantidades les podrán seguir permitiendo la venta de gasolina con un contenido de plomo no superior a 0,15 g/l, máximo no superior al 0,03% de la cantidad total ventas, para su uso en vehículos usados de un tipo especial y distribuidos a través de grupos de intereses especiales. (Sosa, 2015)

1.9. Contaminación producida por motocicletas

Conforme a lo indicado por (WILLIAM H. CROUSE, 1992) en su obra "Mecánica de la Motocicleta", la motocicleta puede ser fuente de contaminantes desde cuatro puntos específicos. Dichos contaminantes pueden escapar tanto del depósito de gasolina como del carburador, el cárter y el sistema de escape. Tanto el depósito de gasolina como el carburador emiten vapores de gasolina, mientras que el cárter de un motor de cuatro tiempos libera una mezcla de aire-gasolina parcialmente quemada, expulsada a través de los anillos del pistón. Los contaminantes provenientes del sistema de escape incluyen gasolina quemada (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y, en caso de que haya azufre en la gasolina, óxido de azufre (SOx).

En los gases de escape, tanto HC como CO resultan de la combustión incompleta del CH (gasolina) en los cilindros del motor. La elevada temperatura de combustión da lugar a la generación de óxidos de nitrógeno (NOx). Aunque los automóviles deben cumplir normativas de emisión relacionadas con tres contaminantes (HC, CO y NOx), las emisiones totales de NOx de todas las motocicletas son tan reducidas que las autoridades pertinentes no han establecido una regulación al respecto. (WILLIAM H. CROUSE, 1992)

1.10. Efectos de los gases producidos por la combustión en la salud humana

Tabla 1.2

Efectos de los gases de la combustión en la salud humana

Efectos en la salud humana	
<p>Monóxido de carbono (CO)</p> <p>Tóxico: Resalta la alta toxicidad del gas CO para los humanos.</p> <p>Dolor de cabeza, mareos, debilidad, náuseas: Enumera algunos de los principales efectos adversos por intoxicación de CO</p> <p>Confusión, pérdida de conocimiento: Menciona dos efectos graves de mayor severidad.</p> <p>Muerte: Destaca el efecto extremo de causar la muerte por exposición a niveles elevados.</p>	
<p>Hidrocarburos (HC)</p> <p>Irritación de ojos y vías respiratorias: los HC pueden irritar ojos, nariz y garganta al respirarlos.</p> <p>Cefalea y mareos: desencadena dolores de cabeza intensos y episodios de vértigo o mareos.</p> <p>Daño al sistema nervioso central: puede tener efectos tóxicos en el cerebro y médula espinal al inhalarlos.</p>	
<p>Óxido de nitrógeno</p> <p>Irritación e inflamación de vías respiratorias: los NOx irritan las mucosas de nariz, garganta y pulmones, causando tos, dificultad respiratoria.</p> <p>Daño pulmonar: con exposiciones prolongadas, los NOx pueden causar daño al tejido de los pulmones, creando cicatrices.</p> <p>Mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias: la inflamación e irritación producida por los NOx debilita las defensas pulmonares.</p>	

Nota. Contaminación producidos por la combustión de motores. Información tomada de: <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/tecnologias-limpias/contaminacion-de-los-motores-ii/#efectos-de-los-gases-de-escape>

1.11. Normativas ecuatorianas de regulación ambiental

La Agencia Nacional de Transito (ANT), proceso de varios estudios con algunas consideraciones, se realiza la emitida de la resolución de la contaminación vehicular y sus parámetros que indican los niveles de ruido y emisiones contaminantes, esto basándose en las

normativas (INEN) y en el texto unificado de legislación ambiental secundaria TULAS) del (Ministerio del Ambiente), libro IV, Anexo 5 relacionado con el tema tratado.

- **Normativa de emisiones de gases contaminantes en motores a gasolina**

- Según lo que define la norma Técnica Ecuatoriana PRTE INEN 136 “MOTOCICLETAS” permite dar a conocer los límites de los valores máximos de emisiones permitidas para lo que corresponde a motocicletas, a su vez al resto de normativas que se basa esa norma, en porcentaje de contaminación tomado en consideración los valores del CO y HC. (NORMALIZACIÓN, 2017)
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 203: 2000: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí. Prueba estática.
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 204: 2002: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límite permitido de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. (Normativa 2204, 2023)

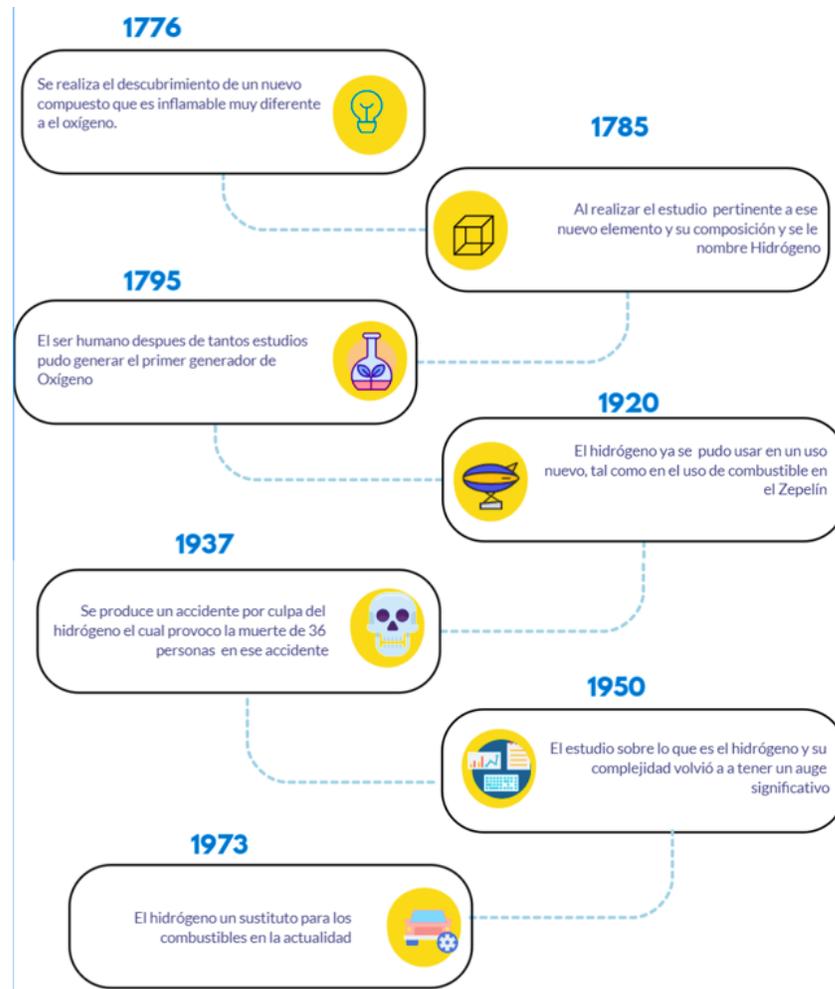
1.12. Hidrógeno

1.12.1. Historia del hidrógeno

Para 1766 el científico Henry Cavendish al hidrógeno lo reconocieron como elemento químico, mientras que para 1783 fue bautizo como hidro- agua, genos- generador, al pasar el tiempo, en 1838 combina H₂ y O₂ lo que da a producir agua y una corriente eléctrica. Para 1875: Julio Verne publica “La isla misteriosa, donde se da a conocer al hidrógeno como combustible. Para 1960: se crea el combustible de las misiones espaciales. En el 2020 BWW, TOYOTA FCV-R se pudo generar en un auto a base de hidrógeno. (Alcántara, 2019)

Figura 1.14

Línea de tiempo del hidrógeno



Fuente: del autor

1.12.2. Propiedades generales

El hidrógeno posee algunas propiedades tanto físicas como químicas de lo que permitirían ser un elemento potencialmente de energía sustentable y a su vez ecológicamente con el medio ambiente.

Propiedades físicas

Figura 1.15
Propiedades físicas del hidrógeno

Propiedad	Valor	Unidades
Inodoro, incoloro y sin sabor		
Estado ordinario	Gas	
Estructura cristalina	Hexagonal	
Es la molécula más pequeña conocida		
Densidad en estado gaseoso(a 20°C y 1atm)	0,08376	<i>kg/m³</i>
Densidad en estado Liquido	0,0708	<i>kg/m³</i>
Volumen específico del gas (a 20°C y 1atm)	11,9	<i>m³/kg</i>
Volumen específico liquido (-253°C Y 1atm)	0,014	<i>m³/kg</i>
Punto de fusión	14,025	<i>K</i>
Punto de ebullición	20,268	<i>K</i>
Temperatura crítica	- 239,8	<i>°C</i>
Energía específica de combustión	120	<i>MJ/kg</i>
Entalpía de vaporización	0,44936	<i>KJ/mol</i>
Entalpía de fusión	0,05868	<i>KJ/mol</i>
Presión crítica	1,293*10 ⁶	<i>Pa</i>
Volumen molar	22,42*10 ⁻³	<i>m³/mol</i>
Facilidad de efusión, como también difusión		
Optima conductividad calorífica		
Relación de expansión	1:848	

Nota. Datos específicos de las propiedades del hidrógeno. Tomado de: L.G. JODRA, “EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO”. Rev. R. Acad.Cienc. Exact.Fis. Nat. (Esp), p.1, 2005

Propiedades químicas

Figura 1.16

Propiedades químicas del hidrógeno

Propiedad	valor	Unidades
Peso atómico	100974	<i>uma</i>
Posee un esta de oxidación	+1, -1	
Solubilidad en agua	a 0°C :2,1 en 100 partes a 80°C : 0,8	<i>cm3</i> <i>cm3</i>
Isotopos abundancia	H-1 99,985% H-2(deuterio) 0,015% H-3 (radiactivo)	
Radio atómico (Radio de Bohr)	53	<i>pm</i>
Radio iónico	208	<i>pm</i>
Radio covalente	37	<i>pm</i>
Radio medio	25	<i>pm</i>
Configuración electrónica	1s ¹	
Completa su nivel de valencia con un electrón capturado, para así poder producir el anión h ⁻		
Se combina con metales, a través de enlaces iónicos	Alcalinos y alcalinotérreos(aceptó berilio y magnesio)	
Forma enlaces tipo covalentes	Con los metales	
Forma enlaces metálicos	Con los elementos de transición	

Nota. Datos específicos de las propiedades químicas que tiene el hidrógeno. Tomado de: L.G. JODRA, “EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO”. Rev.R. Acad.Cienc. Exact.Fis. Nat. (Esp), p.1, 2005

1.13. Poder calorífico del hidrógeno

El hidrógeno tiene un poder calorífico superior al de la gasolina, por lo que en teoría se necesita menos hidrógeno para producir la misma energía. Sin embargo, la eficiencia no depende solo del poder calorífico, sino también de la densidad energética, el almacenamiento y la disponibilidad. El hidrógeno tiene una densidad mucho menor que la gasolina, por lo que se requiere una gran cantidad de hidrógeno para igualar la energía de poca gasolina. Además, el hidrógeno es altamente inflamable y difícil de almacenar y transportar. A pesar de su alto poder calorífico, el uso del hidrógeno como combustible viable en vehículos aún enfrenta varios desafíos antes de poder convertirse en una alternativa real a la gasolina.

Tabla 1.3
Poder calorífico de los combustibles

Combustible	KJ/g	Kcal/g	BTU/lb
Hidrógeno	141,9	33,9	61
Gasolina	47	11,3	20
Diésel	45	10,7	19,3
Etanol	29,7	7,1	12
Propano	49,9	11,9	21

Nota. Se puede observar algunas comparaciones para saber el poder calorífico que cada uno de ellos tiene. Fuente: (Reyes et al, 2018)

Según la Tabla 1.3, el hidrógeno tiene un poder calorífico más alto que la gasolina, por lo que mezclar los dos combustibles crea una combinación de los dos. Combinando hidrógeno con gasolina existente, se puede lograr un aumento de potencia en proporción a la cantidad de hidrógeno suministrada al motor, especialmente durante la aceleración.

1.14. Seguridad en el uso del hidrógeno

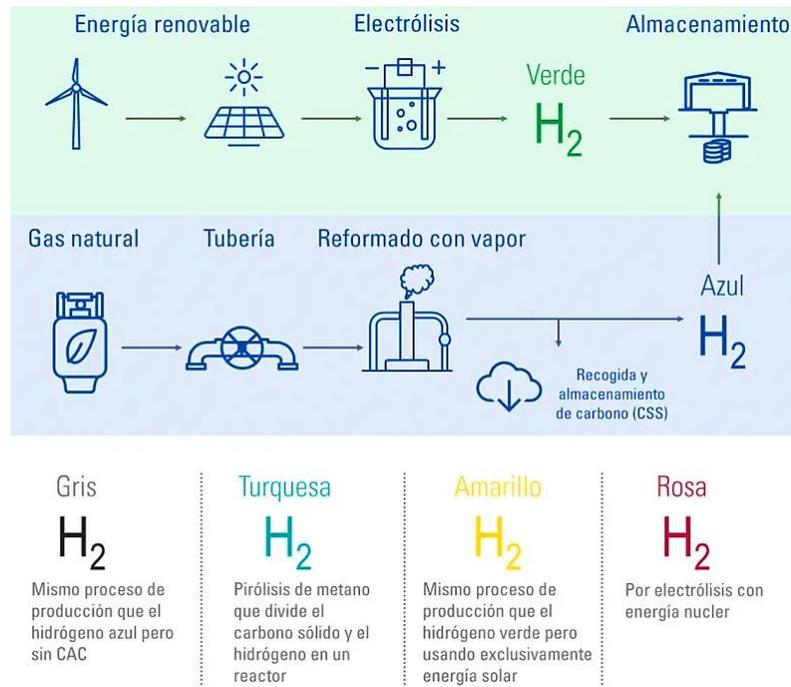
Es cierto que el hidrógeno reacciona fuertemente con el oxígeno (en el aire), por lo que hay que tener cuidado. Cabe mencionar que se deben seguir precauciones de seguridad con todos los productos químicos, especialmente con la gasolina y el gas natural, ya sea en nuestros hogares, negocios o transporte. El hidrógeno explotará si se cumplen dos condiciones. La primera es una concentración del 4 al 75 por ciento en volumen con respecto al aire, es decir, una mezcla de combustible y oxidante. La segunda condición es que debe haber una chispa, una fuente de calor u otra fuente de ignición. (Alcántara, 2019)

1.15. Obtención del hidrógeno

El principal método de obtención de hidrógeno es la electrólisis, proceso conocido desde el siglo XIX. La electrólisis es una forma limpia de producir hidrógeno ultrapuro a partir de agua. Sin embargo, sólo el 4% de los 45 millones de toneladas de hidrógeno que se consumen anualmente en todo el mundo se produce de esta forma. Esto se debe a que la electrólisis requiere grandes cantidades de electricidad y es costosa, especialmente cuando se produce a partir de fuentes de energía renovables. Actualmente, la opción más económica para obtener hidrógeno es el uso del reformado con vapor, que descompone las moléculas de gas en vapor de agua en presencia de un catalizador. Este proceso representa el 48% de la producción mundial. Se trata de una opción poco contaminante para producir hidrógeno a partir de combustibles fósiles, pero sigue emitiendo CO₂ durante la producción y no es una alternativa renovable. La gasificación

del carbón, que representa el 18% de la producción mundial, puede convertirse en una alternativa una vez que se desarrollen tecnologías limpias, pero sigue siendo un recurso no renovable y altamente impuro.

Figura 1.17
Procesos de obtención del hidrógeno



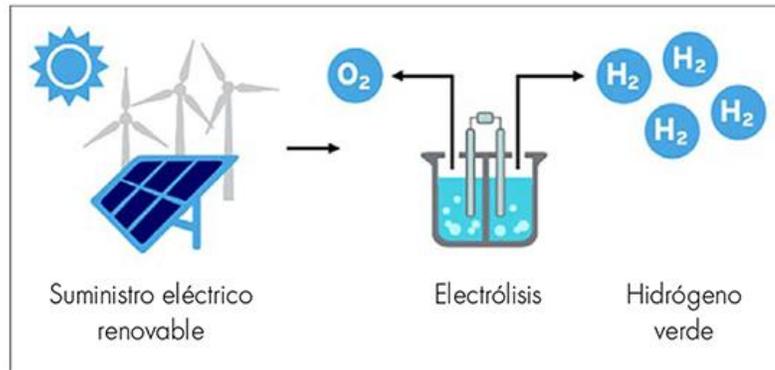
Nota. Se puede obtener el hidrógeno de varias formas de formas sostenibles y otras de forma no tan recomendables. Fuente <https://www.tuvsud.com/es-es/temas/hidrogeno/cadena-valor-hidrogeno/produccion-hidrogeno>

1.15.1. Electrólisis

Hay dos tipos principales de electrólisis: directa y pulsada. La electrólisis directa fue descrita por Faraday, consiste en colocar dos electrodos en una solución electrolítica y hacer pasar una corriente a través dicha solución.

Una solución de electrolitos es solo un poco de agua con un poco de ácido, sal o alguna otra sustancia útil que mejora el flujo de corriente sin agotarse en el proceso. La electrólisis directa es muy fácil de lograr, pero no muy eficiente. Por otra parte, la electrólisis pulsada es mucho más eficiente con requisitos de potencia de entrada enormemente reducidos, pero es más complicada de obtener y mantener la configuración de frecuencia óptima.

Figura 1.18
Producción de hidrógeno verde (por electrolisis)



Nota. Si la energía eléctrica es utilizada de fuentes renovables (solar, eólica, hidráulica), el producto de ello es conocido como hidrógeno verde. Fuente <https://www.induambiente.com/informe-tecnico/calderas/claves-del-hidrogeno-verde>

1.15.2. Maneras adicionales de obtención de hidrógeno

Tabla 1.4
Manera de obtención del hidrógeno

MANERAS DE OBTENER EL HIDRÓGENO	Generación directa
	a. Fusión nuclear (Fusión fría o Fusión a alta temperatura)
	b. Reacción de agua (hidrólisis o hidrólisis en polvo)
	c. Descomposición del dióxido de carbono (reacción de Sabatier o con material catalizador)
	Electrolisis del agua
	a. Generación de hidrógeno
b. Generación de oxígeno	
Proceso de Wöhler	
a. Hidrógeno generado a partir de otros compuestos	
b. Hidrógeno producido en una reacción de hidrosililación	
Hidrogenación de combustibles fósiles	
a. Conversión de metano (CH ₄) en hidrógeno y carbón	
b. Proceso utilizado para reducir las emisiones de CO ₂ y mejorar la eficiencia de combustibles fósiles	
Electrosíntesis del hidrógeno	
a. Hidrógeno generado a partir de hidratos de metales	
b. Hidrógeno producido en una reacción de hidrogenación de gases nobles	

Nota. Estas formas de obtener el hidrógeno son algunas de forma sostenible en cambio otras tienen efectos negativos para el medio ambiente Fuente: <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/como-obtener-hidrogeno.html>

1.16. ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO

El hidrógeno es altamente inflamable y debe almacenarse adecuadamente a alta presión o en recipientes especialmente diseñados para almacenar líquidos.

Hay varias formas de almacenar hidrógeno, incluido el almacenamiento comprimido en cilindros, el almacenamiento criogénico de líquidos, el almacenamiento de productos químicos en compuestos sólidos o líquidos y el almacenamiento de hidruros metálicos. Cada método tiene ventajas y desventajas en términos de eficiencia, seguridad, costo y facilidad de uso. Para quienes utilizan generadores personales, almacenar hidrógeno en casa puede ser una opción recomendada, pero debe hacerse con cuidado y con ciertas precauciones de seguridad.

Figura 1.19
Forma de almacenar el hidrógeno



Nota. Se pueden almacenar de distintas formas, pero con el debido cuidado y seguridad que amerita cada proceso de almacenaje. Tomado de (TOROCHE CRIOLLO & AGILA MACAS, 2023)

1.17. Ventajas y desventajas del hidrógeno

Tabla 1.5
Ventajas y desventajas del hidrógeno

Ventajas del hidrógeno	Desventajas del hidrógeno
<ul style="list-style-type: none"> • Puede obtenerse de fuentes renovables como energía solar, eólica e hidroeléctrica. • Su combustión es más segura y eficiente que la de otros combustibles. • No produce contaminantes atmosféricos dañinos como el CO₂ u otros óxidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Es costoso de producir a partir de fuentes renovables, requiriendo grandes cantidades de energía. • Al ser un gas altamente inflamable, se debe almacenar y transportar con muchas precauciones. • Existe el riesgo de fugas, fragilidad y corrosión en los materiales utilizados.

Información tomada de: <https://www.baxi.es/ayuda-y-consejos/normativa-y-renovables/hidrogeno-ventajas-y-desventajas>

1.18. Combustible nacional

El proceso de la obtención de la gasolina es a partir del tratamiento del petróleo crudo mediante la técnica de destilación fraccionario. La gasolina tiene una composición de gasolina la que está compuesta de algunos hidrocarburos de bajo peso molecular, siendo más volátil, ayudando al arranque de un motor térmico cuando este se encuentra en frío.

La gasolina cuando es muy volátil en lugares cálidos puede llegar a producir mucho vapor excesivo el cual a su vez puede ser muy inflamable.

Los requisitos operativos y de elaboración de los vehículos propulsados por motores de combustión interna varían ampliamente. Su composición química consta de moléculas de carbono e hidrógeno y normalmente contiene de 7 a 11 átomos de carbono unidos a átomos de hidrógeno.

El octano es considerado la capacidad del combustible de un motor para prevenir la detonación prematura y la tasa de vaporización. Además, el índice de octanaje es un parámetro importante para evaluar la calidad antidetonante de la gasolina, es decir, su capacidad para inflamarse sin provocar una explosión en un motor de combustión interna. Hay tres formas de medir esta propiedad:

- Número de octano (M.O.N);
- Número de octano probado (R.O.N)
- Número de octanaje de funcionamiento.

El M.O.N se utiliza para evaluar la capacidad de la gasolina para evitar la auto detonación cuando está en altas velocidades.

El R.O.N mide la tendencia de exposición a bajas velocidades.

El Número de octano de funcionamiento indica cómo se comporta en vida real el combustible cuando se encuentra en el motor del automóvil.

En el país se puede comercializar dos tipos de combustibles para vehículos a gasolina los cuales son: ECOPAIS 85 Y SUPER 95.

Específicamente, en el Anexo 1 (Requisitos Técnicos) de la mencionada Resolución, numeral II sobre las "Especificaciones de Calidad de Combustibles", punto 6 para gasolinas Extra y Ecopais, se indica el rango permitido para el Número de Octano:

"Número de Octano (NOM): 85,0 mínimo" (Hidrocarburífero, 2021)

La gasolina ECOPAIS es un combustible elaborado en Ecuador y comercializado por la empresa pública Petroecuador. También llamada como "gasolina verde", este combustible se produce a partir de la mezcla de etanol con gasolina regular, esto por tener un esfuerzo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la calidad del aire. El etanol utilizado es proveniente de la caña de azúcar cultivada en Ecuador, lo que impulsa el mercado de la industria local y la economía nacional. La gasolina ECOPAIS tiene propiedades de alta antidetonantes y cumple teóricamente con los requerimientos de estándares internacionales de calidad y finalidad, lo que permite un excelente desempeño en motores de combustión interna.

Es importante señalar que, de acuerdo con el fabricante, la gasolina ECOPAIS ofrece diversos beneficios medioambientales, dado que su fabricación se realiza de manera sostenible. Al emplear mezclas nacionales de gasolina y etanol anhidro de origen local como materias primas, disminuye la necesidad de importar combustibles y respalda la industria nacional.

La comercialización de este producto a lo largo del país está sujeta a regulaciones gubernamentales, con tarifas fijadas por debajo de las que rigen para la gasolina tradicional.

De igual manera, la gasolina SUPER se clasifica como un tipo de combustible destinado a motores de combustión interna de alto rendimiento. En la resolución ARCH-001-2021 en el anexo 1 sobre requisitos técnicos, numeral II de Especificaciones de calidad de combustible, punto 5 para gasolina super, se establece el parámetro de:

"Número de octano (NOM): 95,0 mínimo". ((ARCH), 2021)

Conforme a los datos proporcionados por la entidad estatal Petroecuador, la gasolina SUPER cuenta con una formulación química específica diseñada para satisfacer las demandas de los motores modernos, proporcionando un desempeño superior en comparación con otras variantes de gasolina. Este tipo de combustible posee un octanaje mínimo de 95 y carece de plomo, lo que la convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente al reducir las

emisiones de gases contaminantes. Adicionalmente, se le incorpora un porcentaje de etanol con el objetivo de mejorar las características de rendimiento del combustible. (Petroecuador, 2022)

Figura 1.20
Precios de combustible en el Ecuador (cifra en USD por galón)



Nota. Los datos brindados en la imagen son del 2022 por que desde esa fecha no ha tenido modificaciones al precio, a su vez se puede ver como el precio de combustibles han ido variando. Tomado de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/gasolina-super-premium-ecoplus-noviembre/>

2. CAPÍTULO 2

Obtención de muestras de las emisiones de las motocicletas

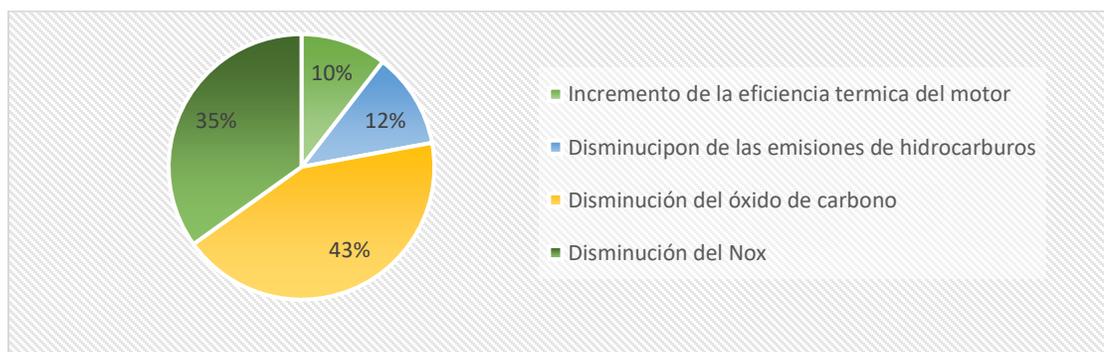
2.1. Mezcla de combustible con el hidrógeno

El hidrógeno se destaca como un combustible con ciertas ventajas en comparación con los combustibles convencionales, como la gasolina y el diésel. Se ha notado que el hidrógeno posee una velocidad de llama laminar superior, una distancia de extinción más reducida y un coeficiente de difusión más elevado. Se ha explorado la opción de introducir hidrógeno en los motores, lo que podría mejorar la vaporización y la mezcla de combustible, acelerar la combustión y reducir el enfriamiento de la pared fría y las variaciones cíclicas. Además, la mezcla de hidrógeno podría acercar el motor a una combustión de volumen constante ideal, potencialmente aumentando la eficiencia térmica. (Tamayo y otros, 2018)

Los principales efectos del hidrógeno en los motores de 4 tiempos según afirma (Llanes y otros, 2017)

Tabla. 2

Gráfica de la influencia del hidrógeno en los motores de combustión interna



Nota. Principales efectos del hidrógeno que tiene en los motores a gasolina. Información tomada de: (Llanes, Rocha, Salazar, & Medrano, 2017)

2.2. Rango óptimo de operación

La habilidad de un sistema para funcionar de manera efectiva y eficiente se conoce como su rango de operación. En el contexto tanto gasolina como hidrógeno, este hace un intervalo de mezcla de combustible que puede ser ajustado para asegurar el funcionamiento apropiado del motor.

El autor (Tenempauay, 2015), El intervalo de operación común para un sistema de mezcla gasolina- hidrógeno también conocido como Flex- fuel puede experimentar una variación considerable, oscilando entre un 5% y un 85%, según la proporción de mezcla entre gasolina y el combustible generado a partir de fuentes renovables, como el hidrógeno.

2.3. Tiempo de reacción del motor

Por medio de un estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), se observó que el tiempo de respuesta medio en vehículos equipados con motores de inyección de combustible fue de 40-60 ms cuando utilizaban gasolina y de 50-80 ms cuando empleaban E85. (Remón, 2017)

2.4. Generador de hidrógeno

El generador para utilizar fue producido o elaborado por (TOROCHE CRIOLLO & AGILA MACAS, 2023) en un generador encargado de la elaboración del hidrógeno por medio de un proceso de electrólisis ya mencionado en el 1er capítulo, tiene una conexión a un módulo Arduino con el objetivo de que el usuario utilice de la mejor manera que desee.

El generador tiene una composición por medio de placas de acero inoxidable de 304 las que están enlazados entre si los cuales son los encargados de producir la electrólisis en el sistema, el generador por celdas secas es el que produce el hidrógeno y oxígeno gaseoso, lo que puede ser almacenado y recolectado para la utilización en la alimentación de vehículos.

Figura 2.1
Generador de hidrógeno de celda seca



Nota. El generador tiene alimentaciones de energía de 12v lo cual se puede conectar a la motocicleta para su funcionamiento tanto para el generador de hidrógeno como para la electroválvula para la apertura de este. Fuente: imagen del generador de hidrógeno de la tesis de (TOROCHE CRIOLLO & AGILA MACAS, 2023)

2.5. Datos físicos del componente electrolítico

2.5.1. Hidróxido de sodio

Figura 2.2

Datos físicos y termodinámicos del hidróxido de sodio (NaOH)

Punto de ebullición: 1388°C (a 760 mm de Hg)
Punto de fusión: 318.4 °C
Índice de refracción a 589.4 nm: 1.433 (a 320 °) y 1.421 (a 420 °C)
Presión de vapor: 1mm (739 °C)
Densidad: 2.13 g/ml (25 °C)
Solubilidad: Soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter. 1 g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.
pH de disoluciones acuosas (peso/peso): 0.05 %:12; 0.5 %: 13 y 5 %: 14

Nota. Información del hidróxido de sodio lo más principal. Tomado de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/52231185/hoja-de-seguridad-ii-hidroxido-de-sodio-formula-nao->

Para permitir la electrólisis en el sistema, se utilizará hidróxido de sodio como componente electrolítico. El hidróxido de sodio, cuya fórmula química es NaOH, es un compuesto inorgánico que consiste en una base metálica extremadamente alcalina. De acuerdo con la información consultada, esta sustancia facilita la conducción de la corriente eléctrica necesaria para la electrólisis. El hidróxido de sodio se eligió como es un electrolito en este sistema debido a sus propiedades como base fuerte que permite la disociación iónica requerida en el proceso de electrólisis que se llevará a cabo. Según (THERMOFISHER, 2021) al colocar una mezcla al 5% de la misma en el agua produce un pH cercano a un 14.

Este elemento lo escogieron porque es un producto que no es sometido a fiscalización.

2.5.2. Especificaciones del componente electrolítico

Tabla 2.1

Especificaciones del hidróxido de sodio

Especificaciones del Hidróxido de Sodio al 20%	
Contenido (acidimétrico)	Min. 20 %
Carbonatos (como Na ₂ CO ₃)	Máx. 1 %
Cloruros (Cl)	Máx. 0,002 %
Fosfatos (como PO ₄)	Máx. 0,005 %
Silicatos (SiO ₂)	Máx. 0,003 %
Sulfatos (SO ₄)	Máx. 0,005 %
Nitrógeno total (como N)	Máx. 0,001 %
Aluminio (Al)	Máx. 0,001 %
Metales pesados (Pb)	Máx. 0,001 %
Hierro (Fe)	Máx. 0,001 %

Tomado de: (THERMOFISHER, 2021)

2.5.3. Agua destilada

El agua destilada es aquella que ha sido sometida a un proceso de destilación, donde el agua se calienta hasta evaporarse y luego se condensa nuevamente al enfriarse para ser recolectada en estado líquido. En este proceso se remueven la mayoría de los minerales, sales y contaminantes del agua, resultando un agua de alta pureza.

Datos técnicos:

- Temperatura de ebullición: 100°C
- Apariencia: Líquido incoloro, sin olor, insípido.
- pH: 5.0 – 7.0 (neutro)
- Viscosidad: 1.002/120
- Conductividad eléctrica: 0.5-2 µS/cm
- Sólidos disueltos totales: < 10 mg/L

Incompatibilidad o materiales que se deben de evitar

Amalgamas de metales alcalinos, bario y calcio metálico, carburo de calcio, ferrosilicio, fósforo de magnesio, nitruro de litio, bario. (Sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables).

Uso principal en baterías de plomo-ácido para reposición de niveles. También industria farmacéutica, automotriz, de precisión.

Se almacena en recipientes de vidrio o plástico bien cerrados en lugar fresco y oscuro.

No conduce corriente eléctrica por su bajo contenido de minerales ionizables. (MOLLABS, 2022)

Tabla 2.2

Identificación del agua destilada

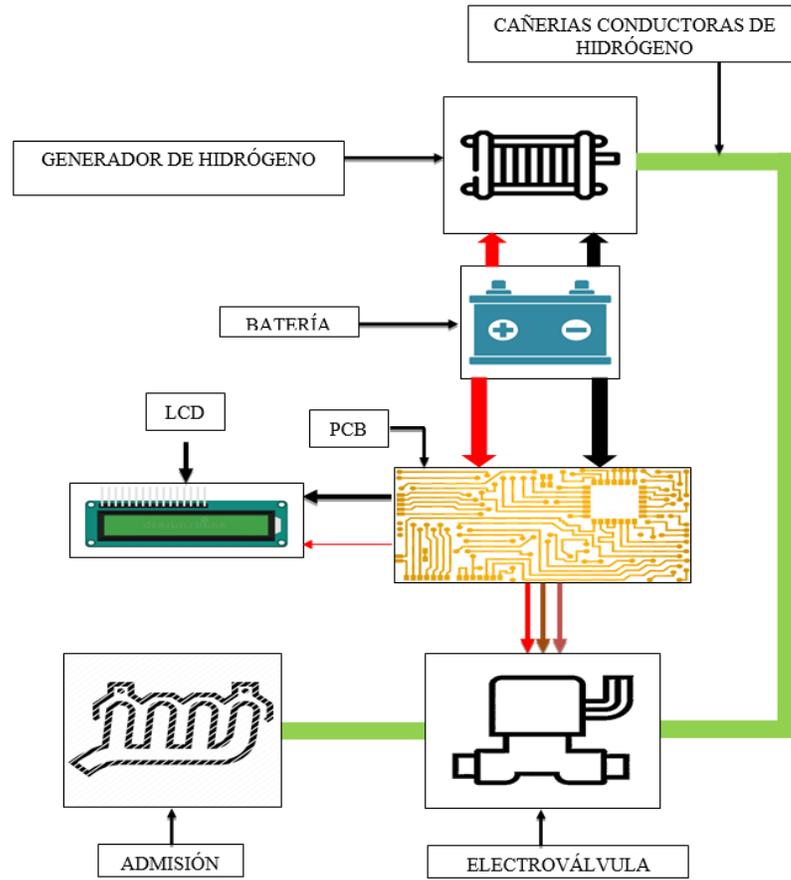
Sinónimos:	Agua
Fórmula:	H ₂ O
Peso molecular:	18,02g/mol
Composición:	H ₂ O 100%
Código Interno:	R2002, R2003, R2004
Número CAS:	7732-18-5
Número ONU:	N.D
Clases ONU:	Sustancia no clasificada.
Usos:	Reactivo para análisis en laboratorio.

Fuente: (MOLLABS, 2022)

2.6. Esquema de conexión general de funcionamiento del equipo

Figura 2.3

Conexión para el esquema del prototipo del generador de hidrógeno a la admisión

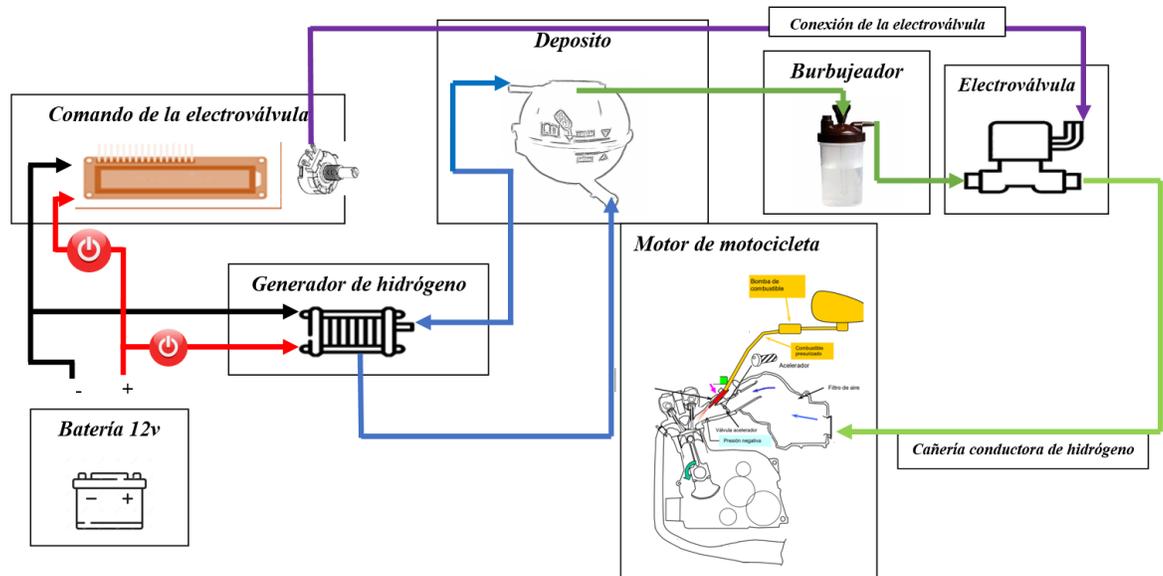


Nota. Descripción de los elementos del generador de hidrógeno y su conexión. Fuente: (TOROCHE CRIOLLO & AGILA MACAS, 2023)

2.6.1. Esquema de conexión del prototipo de alimentación gasolina- hidrógeno

Figura 2.4

Esquema de conexión para la implementación en la motocicleta



Nota. Se observa la conexión que se debe de colocar al generador para que el hidrógeno se pueda administrar correctamente en el motor. Fuente: del autor.

2.7. Implementación del sistema

El generador de hidrógeno, se le conecta al sistema de alimentación de la motocicleta, en este caso por sistema de alimentación de inyección electrónica para poder verificar las emisiones, al momento de reaccionar con el hidrógeno como combustible adicional. Para este caso se le administrara antes del filtro de aire ya que el motor al momento de estar encendido genera un aspirado de aire por lo que es más efectivo para suministrar el hidrógeno, lo pueda absorber y mezclar con el combustible de la motocicleta.

Se le mandaría antes del filtro de combustible ya que si se le manda directo a la admisión entraría sin ser filtrado por el filtro de aire y esto podría en algún caso de que ingrese alguna impureza desde el generador o del burbujeador no lo podría filtrar y se modificaría la muestra que se estaría tomando, por ello, es necesario y recomendable mandarle antes del filtro de aire, pero tomando unas debidas precauciones al momento de implementar el hidrógeno.

2.8. Analizador de gases MAHA MGT 5

- Es un analizador de gases de corriente parcial sin indicador de unidad básicas, para lo que es todo de análisis de HC, CO, CO₂, O₂ con un cálculo de valor de landa.
- Dispone de un control interno de protección a la penetración de condensación.
- Separador activo de agua condensada mediante bomba separadora de membrana

- Posibilidad de evaluación de gases CNG, LPG y motores de gasolina
- Indicación de los resultados en monitor del PC/Laptop (Opcional)
- Opciones: - Posibilidad ampliación medición gas NO. - Módulo de indicación LED (como indicación paralela)
- Test interno automático Contenido envío:
- Equipo básico analizador de gases con caja chapada de acero, recubrimiento en polvo RAL 5010
- Separador de agua y filtro principal combinados
- Filtro de carbón activo, Conexión al gas de calibración, Sensor O2 externo, receptor de la sonda gas metálica 400 mm, Manguera de sonda (8m) con filtro anterior derivador de condensación, manuales de uso, Certificados. (MANUEALZZ, 2023)

Figura 2.5

Datos técnicos del analizador de emisiones, analizador combinado

MGT 5:	
Gases mesurables	HC, CO, CO2, O2, NO (Option)
Principio de medición espectrometría de Infrarrojo	HC, CO, CO2
Principio de medición detección electroquímica	O2, NO
Tiempo de calentamiento	480 s
Índice de flujo	3,5 l/min
la presión de trabajo	0,75 bar - 1,1 bar
Clase de precisión	0 (OIML)
Tensión de a bordo	12 V / 42 V
Alimentación de corriente	1/N/PE 85 V/285 V 50 Hz
Dimensiones totales (La x An x Al)	240 mm x 560 mm x 300 mm
Peso	10 kg
CO - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 15 % Vol. / 0,01
CO2 - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 20 % Vol. / 0,01
HC - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 9999 ppm / 0,1 (Hexan) 0 - 20000 ppm / 1 (Propan)
O2 - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 25 % Vol. / 0,01
Lambda (calculada)	0,5 - 9,99 / 0,01
NO (Opcional) - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 5000 ppm / 1

Nota. Descripción de todos los aspectos que tiene el analizador de gases MAHA MGT 5. Tomado de (MANUEALZZ, 2023)

2.9. Ficha técnica de las motocicletas

2.9.1. Royal Enfield Hunter 350

Figura 2.6

Fotografía de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350



Nota. La motocicleta se encuentra en sus mejores prestaciones ya que solo dispone de 23 km de recorrido.
Fuente: del autor

Tabla 2.3

Datos técnicos del motor de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350

Especificaciones de la motocicleta	
Motor	
Cilindrada	349 cc
Ciclo	4 Tiempos
Tipo de motor	Mono cilíndrico
Cilindros	1
Válvulas por cilindro	2
Alimentación	Inyección electrónica
Refrigeración	Por aire y radiador de aceite
Diámetro por carrera	75 mm x 85.8 mm
Compresión	9.1:1
Potencia máxima	20.2 HP @ 6.100 rpm
Torque máximo	27 Nm a 4000 rpm
Combustible	Gasolina sin plomo
Normativa	BS6
Número de marchas	5 marchas hacia adelante
Grado de viscosidad	SAE 10w50
SAE	13 Lt
Capacidad del depósito	
Chasis	
Tipo de chasis	Doble cuna tubular de acero desdoblada
Freno delantero	
Si	
ABS	Disco
Sistema	300 mm
Diámetro	Pinza flotante 2 pistones
Pinza	

Freno trasero	Si
ABS	Disco
Sistema	270 mm
Diámetro	Pinza flotante de un solo pistón
Pinza	
Rueda delantera	17"
Diámetro de rin	110/70-17
Medida de neumáticos	
Rueda trasera	17"
Diámetro de rin	140/70-17
Medida de neumáticos	

Nota. Datos específicos de la motocicleta. Tomado de <https://royalenfieldec.com/motos-royal-enfield/hunter-350/>

2.9.2. Yamaha XTZ 150

Figura 2.7

Fotografía de la motocicleta Yamaha XTZ 150



Nota. La motocicleta se encuentra con algunos factores en tomar en cuenta en el momento del análisis.
Fuente: del autor

Tabla 2.4

Datos técnicos del motor de la motocicleta Yamaha XTZ 150

Especificaciones de la motocicleta	
Motor	
Cilindrada	149 cc
Ciclo	4 Tiempos
Tipo de motor	Monocilíndrico
Cilindros	1
Alimentación	Inyección electrónica
Presión de compresión	1218-1568 kPa/420 rpm
Diámetro de cilindro	57,300-57,310 mm
Compresión	9.6:1
Combustible	Gasolina sin plomo
Número de marchas	5 marchas hacia adelante
Grado de viscosidad SAE	SAE 10w40

Transmisión	
Relación de reducción primaria	3,409 (75/22)
Relación de cambio	
1ra	2,714 (38/14)
2da	1,789 (34/19)
3ra	1,318 (29/22)
4ta	1,045 (23/22)
5ta	0,875 (21/24)
Relación de reducción secundaria	2,929 (41/14)
Transmisión final	Cadena
Rueda delantera	
Tipo de aro	Rueda de radios
Medida	19 x 1,85
Tipo de neumático	Con cámara
Rueda trasera	
Tipo de aro	Rueda de radios
Medida	17 x 2,15
Tipo de neumático	Con cámara
Freno delantero	
Tipo	Freno hidráulico de un disco
Diámetro exterior x espesor del disco	230,0 x 2,5 mm (9,06 x 0,14 in)
Freno trasero	
Tipo	Freno de Tambor
Diámetro interior del tambor de freno	130,0 mm (5,12 in)

Nota. Esta tabla es adaptada de Yamaha Motor Company Ltd. (2019). Manual de servicio XTZ 150. Yamaha Prints.

2.10. Mediciones de emisiones contaminantes

Con el objetivo de examinar las emisiones contaminantes, se llevarán a cabo los procedimientos dictados en la norma INEN 2203 del año 2013. Esta norma técnica estandarizada detalla los lineamientos y etapas involucradas en la medición y análisis de los gases emitidos por los vehículos.

Siguiendo lo estipulado en la mencionada norma 2203, se realizarán las mediciones bajo condiciones controladas de operación del vehículo. Asimismo, se hará uso del equipo de medición y muestreo de gases requerido.

Los resultados del análisis permitirán determinar los niveles de emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y otros gases regulados. De esta manera se podrá evaluar el desempeño ambiental del vehículo con relación a los límites máximos permisibles.

Esta normativa establece pasos para el proceso de medición lo que establece lo siguiente:

- a. El equipo debe de ser sometido a un periodo de tiempo de calentamiento y estabilización tomando en cuenta lo que estipule el fabricante.
- b. Retirar todo material (partículas, sustancias extrañas o agua) estos que se encuentren alojados en la sonda de prueba
- c. Verificar que la transmisión de la motocicleta se encuentre en neutro.
- d. Revisar en la motocicleta el sistema de escape que se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de estos.
- e. Si es que la motocicleta no cumple con lo anterior mencionado no se lograra hacer la prueba.
- f. El motor debe de estar en temperatura normal de operación.
- g. Cuando se cumpla lo anterior y en condiciones de marcha mínima (ralentí) se procederá a colocar la sonda permaneciendo fijas dentro del sistema de escape
- h. Esperar lo que diga el fabricante o se estabilice la muestra a analizar.
- i. Tomar datos de la muestra realizada. (Normativa 2203)

En las pruebas de emisiones contaminantes, los datos válidos son aquellos que provienen de las mediciones de valores máximos registrados. Es importante destacar que, si el vehículo sometido a prueba no cumple estrictamente con las especificaciones requeridas, no se podrán llevar a cabo las mediciones de gases contaminantes.

Los límites establecidos de emisiones están sujetos a actualizaciones y modificaciones periódicas a través de la jurisprudencia competente. Dado lo anterior, es imprescindible consultar de forma oportuna y diligente la normativa vigente del Ecuador, así como cualquier disposición emitida por las autoridades pertinentes que se encuentre en vigor al momento de las pruebas. Esto a fin de disponer de los datos precisos y actuales con respecto a los parámetros máximos de emisiones permitidos.

Así pues, mediante la revisión diligente de los límites aplicables al momento de ejecución de mediciones, es posible contrastar de forma certera el desempeño real del vehículo probado con respecto al cumplimiento de la legislación de control de emisiones.

2.11. Recomendaciones antes de la prueba

En primeras instancias se debe de tomar algunos factores de seguridad al momento de generar el hidrógeno ya que el hidrógeno al ser muy volátil es muy peligroso al manipular.

Recomendaciones al momento de manipular el hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio es una sustancia incoloro e inodoro, pero extremadamente corrosivo y tóxico. Su manipulación debe ser llevada a cabo con sumo cuidado, para evitar accidentes que puedan provocar lesiones o incluso la muerte.

Para manipular el hidróxido de sodio, es importante seguir algunas recomendaciones básicas:

- **Guantes de protección:** Usar guantes de protección o látex es esencial, ya que ayudan a proteger la piel de las quemaduras que podrían ocurrir al manejar esta sustancia.
- **Mandil:** Es importante llevar un mandil ajustado que cubre la parte superior del cuerpo y que se puede asegurar para evitar el derrame accidental del producto químico.
- **Gafas de seguridad:** Debe usarse un par de gafas de seguridad para protegerse de las gotas o partículas de la sustancia que se puedan soltar durante su manipulación.
- **Mascarilla quirúrgica:** En algunas situaciones, es recomendable llevar una mascarilla quirúrgica para proteger la boca y la garganta del contacto con el hidróxido de sodio.

Recomendaciones al momento de usar el generador de hidrógeno

Al momento de usar el generador se debe de tener en cuenta lo siguiente:

- **Conexiones:** Asegúrese de que todas las conexiones estén bien unidas y estén libres de fugas. Esto es especialmente importante para evitar posibles derrames o explosiones.

- **Recipientes:** Verifique que los recipientes estén bien sellados y que no dispongan de fugas ni pérdida de líquidos. Asegúrese de que todos los recipientes estén bien anclados para evitar que se desplacen o caigan.
- **Generador de hidrógeno:** Verifique que el generador de hidrógeno esté en buen estado y que las partes mecánicas funcionen correctamente.
- **Conexión del sistema de seguridad:** Asegúrese de que el sistema de seguridad esté conectado y esté funcionando correctamente.

Recomendaciones que se deben de tomar en cuenta al momento de verificar la motocicleta

Para ello se debe de seguir las recomendaciones siguientes:

- La motocicleta debe de estar en sus mejores condiciones y prestaciones, sin fugas de aceite.
- El suministro de aire debe de ser limpio y si es posible, se recomienda cambiar el filtro de aire.
- Realizar el mantenimiento correspondiente al sistema de alimentación, el filtro de gasolina y verificar que el motor no este votando humo azul ni negro, ya que ya es señal de que el motor está en mal estado.
- Realizar un chequeo completo del motor para garantizar su correcto funcionamiento.

Cuando se le suministre el hidrógeno, es necesario realizar la correcta instalación de la tubería del generador. Para ello, se deben de seguir algunas precauciones, como:

- Usar mandil, zapatos de seguridad, gafas y guantes para protegerse del riesgo de quemaduras y daños.
- Verificar que el equipo utilizado esté en perfectas condiciones de uso y que el gasoducto tenga un correcto flujo de hidrógeno.
- Realizar una inspección exhaustiva de la tubería y los equipos involucrados para asegurar que estén funcionando correctamente y que no existan fugas o filtraciones.

2.12. Procedimiento para la toma de datos de la motocicleta

2.12.1. Procedimiento para la generación del hidrógeno

- a. Configure todos los elementos necesarios de protección, como mandil, zapatos de seguridad, gafas y guantes, para evitar quemaduras y daños.
- b. Coloque una probeta de 50 ml en el recipiente del generador (se puede usar otros instrumentos dependiendo de la necesidad o cantidad a usar)
- c. Preparación de la mezcla de 25% de hidróxido de sodio y 75% de agua destilada:
 - Coloque 75 ml de agua destilada en el recipiente del generador.
 - Coloque 25 ml de hidróxido de sodio en el recipiente del generador.
- d. Una vez preparada la mezcla, llene el recipiente del burbujeador con agua hasta el nivel máximo del recipiente.
- e. Conecte el generador a una alimentación de 12v, que puede ser la de la motocicleta.
- f. Realice una conexión para el generador y otra para el sistema que verifica la apertura de la válvula de salida del hidrógeno.
- g. Utilice un encendedor para verificar si hay salida de hidrógeno al encender la apertura de la válvula en un 7%. Si el hidrógeno está saliendo, el encendedor se encenderá.

Este procedimiento garantiza una generación segura y efectiva del hidrógeno para alimentar la motocicleta. Al seguir estas instrucciones, se evita la exposición al riesgo de quemaduras y se asegura la correcta función del sistema.

2.12.2. Procedimiento para la adaptación del hidrógeno en la motocicleta

Una vez ya generando el hidrógeno, se va a realizar unas adecuaciones a la motocicleta

Proceso de adaptación del tubo de escape:

- a. Para cada motocicleta, se realizó una adaptación de la salida del tubo de escape, el tubo de acero tiene un diámetro interior de 21.79 mm para la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 y otro tubo de acero con un diámetro exterior de al menos 19.10 mm para la motocicleta Yamaha XTZ 150 respectivamente.
- b. Luego, se acoplo de tal forma que no existan fugas de gases del tubo de escape.

- c. Posteriormente, se revisó el agujero del escape que sirve para expulsar el agua condensada por la combustión, se le tapó aquel agujero para que las muestras no tengas variaciones.
- d. Para garantizar que la sonda del analizador ingrese correctamente, se revisó y ajustó la longitud del tubo adicional.

Proceso de ajuste de la manguera del generador de hidrógeno:

- a. Antes de conectar la manguera del generador de hidrógeno, se revisó por donde sería más factible introducir el hidrógeno para que tenga la mejor combustión.
- b. Con la motocicleta apagada, se conectó la manguera primero a la toma de vacío de los gases de recirculación del Carter por lo que no resulto de forma efectiva, por lo que se introdujo antes del filtro de aire por lo que es un punto más efectivo para la absorción del hidrógeno.
- c. Se revisó la conexión y se ajustó si era necesario para garantizar un flujo de absorción adecuado y evitar la entrada de aire sucio o acumulación de hidrógeno.

Proceso de regulación de la apertura de la válvula de control del flujo de hidrógeno:

- a. Antes de encender el motor, se ajustó la válvula de control del flujo de hidrógeno hasta obtener la velocidad de revoluciones deseada del motor.
- b. Mientras el motor funcionaba con hidrógeno, se monitoreó el flujo de hidrógeno y se realizaron ajustes según sea necesario.

Pautas que se deben de tener en cuenta para el análisis de gases MAHA MGT 5

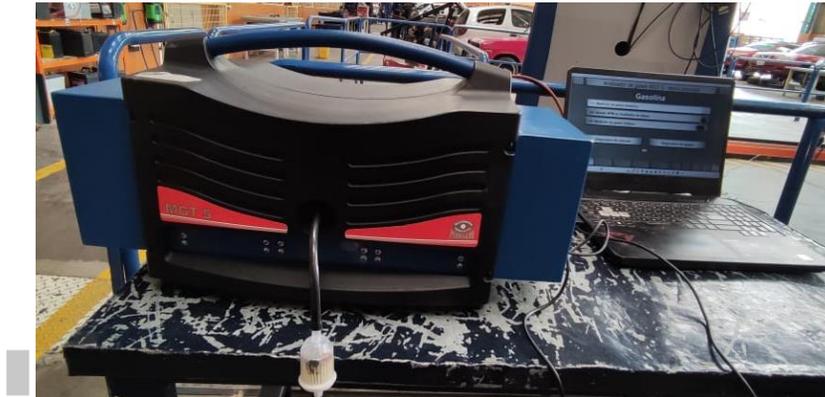
Proceso de calibración del analizador de gases.

- a. Antes de comenzar el proceso de calibración, se debe leer y comprender el manual del usuario del analizador de gases MAHA MGT 5.
- b. Para realizar la calibración, se deben seguir las instrucciones detalladas en el manual del usuario, utilizando las muestras de gas y el protocolo de calibración proporcionado por el fabricante del analizador.
- c. Una vez que la calibración haya sido completada correctamente, se debe validar la precisión del analizador comparando los resultados obtenidos con las referencias conocidas y precisas.

- d. Realiza los siguientes análisis: monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos no combustionados (HC) y dióxido de carbono (CO₂), también el análisis de: oxígeno (O₂) y monóxido de carbono corregido (CO korr).

Figura 2.8

Analizador de gases MAHA MGT 5



Nota. El analizador se le puede conectar por medio de la computadora lo cual son datos más específicos y legibles a comparación del teclado. Fuente: el autor

2.12.3. Proceso para la toma de datos en la motocicleta

- a. Asegurarse de que la motocicleta esté en buenas condiciones y que el motor esté a temperatura de funcionamiento. El motor debe de estar a temperatura optima de funcionamiento (entre 85 a 90 grados centígrados).
- b. Verificar que el equipo del analizador de gases esté calibrado y estable en sus parámetros.
- c. Colocar la sonda en la zona del escape de la motocicleta.
- d. Adaptar un tubo de acero para expandir la salida del escape y recibir mejores muestras de las emisiones a su vez tapando la parte de agujeros en la parte inferior que tiene en el escape.

Tomar datos sin hidrógeno.

- a. Se debe estabilizar la sonda durante 15 segundos antes de la primera muestra.
- b. Ingresar la sonda limpia sin impurezas al tubo de escape y esperar de 10 a 15 segundos o hasta que se estabilice los datos, anotar los datos obtenidos.
- c. Sacar la sonda, esperar hasta que los niveles de gases se vuelvan a poner en su estado normal y colocarla nuevamente para la nueva toma de datos.
- d. Volver a limpiar la sonda antes de realizar pruebas adicionales.

- e. Preparar el generador de hidrógeno.
- f. Comprobar si el generador está produciendo hidrógeno. (por medio de un vaso con agua colocar la manguera del generador y verificar si está burbujando entonces es señal que se está generando hidrógeno).
- g. Si es así, coloca la manguera del generador en el depurador de la motocicleta sin sacar el filtro de aire.
- h. Ingresar la sonda del analizador y seguir los pasos como se especificó anteriormente en textos anteriores.
- i. Tomar los datos cuando el motor este en ralentí (1050 rpm) y cuando el motor se encuentre con más revoluciones (2100 rpm).
- j. Tomar datos por lo menos 5 muestras para tener datos más exactos.

Tomar datos con hidrógeno.

- a. Realizar el mismo proceso que se realiza para la toma de datos sin hidrógeno, pero en este caso con las distintas aperturas de las válvulas.
- b. Regular la apertura de la electroválvula de 33%, 66% y 100% de la apertura de la válvula.
- c. Realizar al menos 5 muestras para cada regulación de la apertura de la electroválvula.
- d. Al finalizar la toma de datos se debe de apagar el generador de hidrógeno por seguridad y terminar quemando todo el hidrógeno generado.

2.13. Validación de datos: Comprobación de gases

Según la normativa (INEN 136), los rangos de emisiones máximas permitidas en el Ecuador se pueden ver en la Tabla 2.5

Tabla 2.5

Límites máximos de emisiones permitidas para las motocicletas (Prueba en ralentí)

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

**** A partir del año modelo 2014.**

Nota. Los límites del CO se miden en volumen mientras que el HC en partes por millón Fuente: (PRTE INEN 136)

Para la validación de los resultados de los datos se lo puede realizar de manera frecuente para así poder evaluar si la motocicleta cumple con los estándares de emisiones establecidas.

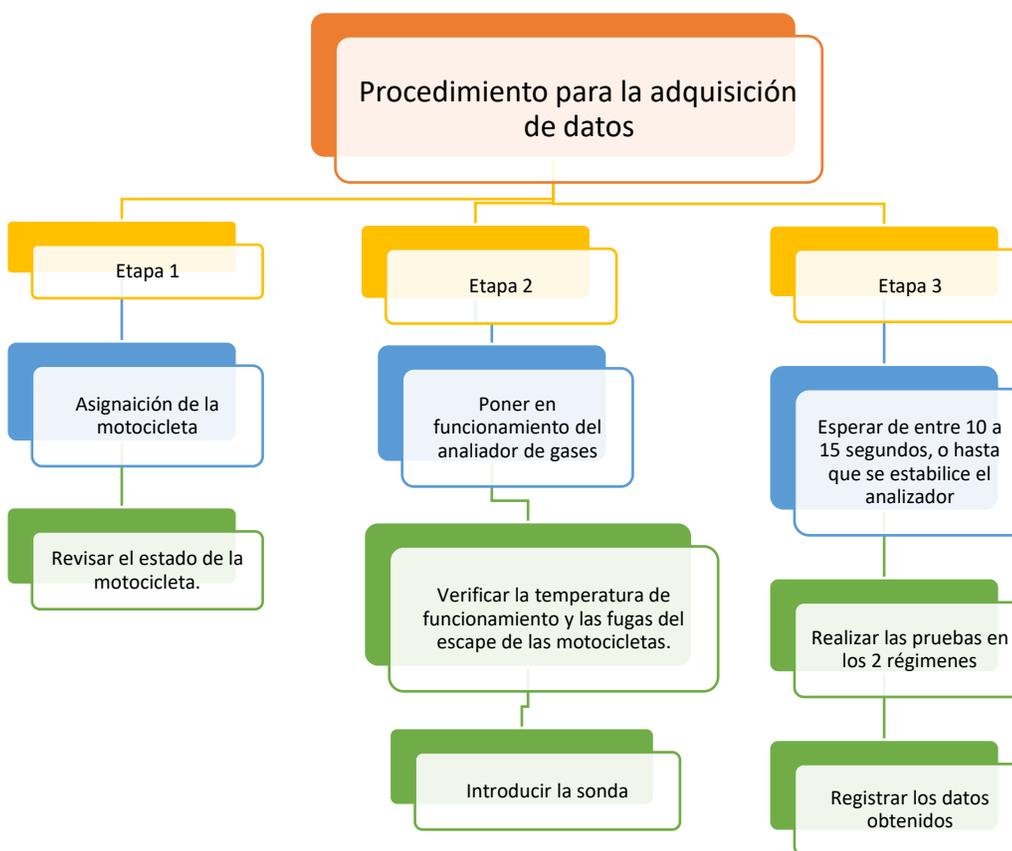
Para lo que corresponde a los datos emitidos por los gases contaminantes de motocicletas se tomó en 2 regímenes de giro del motor, los que son: ralentí (1050 a 1070 rpm) y carga completa de (2100 rpm)

Los factores para analizar son CO, CO₂, HC, O₂, son gases que determina el analizador los niveles de contaminación.

En este análisis no se toma en cuenta los valores de gases NO_x ya que en los gases aparece HC y el CO por la combustión incompleta del combustible en los cilindros. Los niveles NO_x de emisiones de las motocicletas son muy inferiores por lo que las autoridades no disponen de un plan para establecer una normativa que incluya esto. (Crouse & Anglin, 1992)

Figura 2.9

Procedimiento para la adquisición de datos



Fuente: Del autor

Comprobaciones Royal Enfield Hunter 350

Para la toma de datos se realizó con los siguientes parámetros:

- Batería de 13.86 voltios
- Presión atmosférica: 756 mbar
- Sensor MAP: 233 mbar
- Tiempo de espera del analizador: 15 segundos
- Temperatura ambiente: 20 °C

2.13.1. Sin hidrógeno

Toma de datos a ralentí con 1050 rpm en la motocicleta

Tabla 2.6

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralentí (sin hidrógeno)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A RALENTÍ (1050)							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,01	124	1,355	11,1	5,76	90	1048
2	0,02	115	1,573	9,4	7,88	91	1047
3	0,03	87	1,359	11	5,76	96	1045
4	0,03	113	1,346	11	5,59	98	1054
5	0,55	163	1,305	10,7	5,42	94	1051

Nota. Se tomo datos cuando la motocicleta se encontraba en temperatura de funcionamiento normales. Fuente: Del autor

Tabla 2.7

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 350 a 2100 (sin hidrógeno)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A 2100							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,02	14	1,316	11,3	5,14	91	2018
2	0,02	15	1,412	10,5	6,22	92	1998
3	0,02	15	1,311	11,4	5,09	97	2082
4	0,02	13	1,307	11,4	5,02	96	1980
5	0,03	20	1,284	11,5	4,71	98	2102

Nota. Se implemento el análisis de gases cuando tenía unas revoluciones de 2100 rpm en la motocicleta implementada. Fuente: Del autor

2.13.2. Con hidrógeno

Para la elaboración del muestreo del hidrógeno se hizo una mezcla del 25% de hidróxido de sodio y un 75% de agua destilada, por pruebas que realizo (TOROCHE

CRIOLLO & AGILA MACAS, 2023) determinaron que esa mezcla es una de las más óptimas en cuanto desempeño y eficiencia que se tiene para esa mezcla.

- Concentración de hidróxido de sodio del 25% y agua destilada al 75%.
- En los muestreos también se media a partir del ángulo de apertura que se tenía en la válvula del generador de hidrógeno.

Tabla 2.8

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralenti (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A RALENTÍ (1050) Apertura al 33 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,33	183	1,28	11,2	4,99	83	1057
2	0,29	179	1,277	11,2	4,93	87	1060
3	0,26	165	1,275	11,3	4,86	89	1076
4	0,21	159	1,302	11,1	5,19	90	1066
5	0,18	138	1,311	11,1	5,26	92	1056

Fuente: del autor

Tabla 2.9

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A 2100 Apertura al 33 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,01	18	1,28	11,3	5,12	92	2005
2	0,01	22	1,277	10,9	5,56	91	2122
3	0,01	15	1,275	11,2	5,09	90	2064
4	0	12	1,302	11	5,35	93	2010
5	0	4	1,311	10,8	5,7	94	2089

Nota. Los valores obtenidos se dieron en condiciones normales de a motocicleta. Fuente: del autor

Tabla 2.10

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralenti (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A RALENTÍ (1050) Apertura al 66 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,03	34	1,19	12,5	3,45	90	1047
2	0,03	34	1,19	12,4	3,45	89	1049
3	0,02	31	1,202	12,2	3,56	89	1057
4	0,02	30	1,206	12,1	3,6	88	1040
5	0,02	30	1,209	12,1	3,61	90	1047

Fuente: del autor

Tabla 2.11

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A 2100, Apertura al 66 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,03	34	1,19	12,5	3,4	91	2089
2	0,03	34	1,19	12,4	3,42	89	2078
3	0,02	31	1,202	12,2	3,56	87	2088
4	0,02	30	1,206	12,1	3,6	88	2069
5	0,02	28	1,211	12,1	3,69	88	2098

Fuente: del autor

Tabla 2.12

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a ralenti (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A RALENTÍ (1050) Apertura al 100 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,02	16	1,409	10,4	6,1	91	1040
2	0,02	16	1,407	10,5	6,11	92	1038
3	0,02	16	1,403	10,5	6,05	92	1017
4	0,02	16	1,403	10,4	6,04	91	1036
5	0,02	16	1,413	10,4	6,17	89	1023

Fuente: del autor

Tabla 2.13

Mediciones de la motocicleta Royal Enfield Hunter 350 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura)

ROYAL ENFIELD HUNTER 350 A 2100, Apertura al 100 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,02	15	1,33	11,2	5,28	92	2102
2	0,02	12	1,331	11,1	5,28	92	2092
3	0,02	13	1,32	11,2	5,13	91	1999
4	0,03	13	1,324	11,1	5,15	90	2040
5	0,03	13	1,33	11,1	5,24	90	2066

Fuente: del autor

2.14. Comprobaciones Yamaha XTZ 150

Para la toma de datos se realizó con los siguientes parámetros:

- Batería de 12.70 voltios
- Presión atmosférica: 756 mbar
- Sensor MAP: 233 mbar
- Tiempo de espera del analizador: 15 segundos
- Temperatura ambiente: 19 °C

2.14.1. Sin hidrógeno

Tabla 2.14

Mediciones de la motocicleta Yamaha XTZ 150 a ralenti (sin hidrógeno)

YAMAHA XTZ 150 A RALENTÍ (1750)							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,49	265	1,048	13,6	1,59	89	1754
2	0,47	273	1,041	13,9	1,38	90	1765
3	0,5	268	1,034	13,9	1,26	92	1740
4	0,49	270	1,036	13,8	1,29	93	1762
5	0,5	273	1,034	13,8	1,25	94	1768

Fuente: del autor

Tabla 2.15

Mediciones de la motocicleta Yamaha XTZ 150 a 2100 rpm (sin hidrógeno)

YAMAHA XTZ 150 A (2100)							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,69	387	1,025	13,7	1,29	88	2098
2	0,65	736	1,019	13,7	1,44	89	2087
3	0,57	490	1,023	13,7	1,27	91	2160
4	0,59	533	1,011	13,8	1,06	91	1997
5	0,61	417	1,014	13,9	1,03	92	1978

Fuente: del autor

2.14.2. Con hidrógeno

Tabla 2.16

Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura)

YAMAHA XTZ 150 A RALENTÍ (1750) Apertura al 33 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,48	277	1,102	12,8	2,49	83	1745
2	0,45	246	1,097	12,9	2,37	85	1743
3	0,47	247	1,095	12,9	2,34	85	1748
4	0,48	243	1,102	12,8	2,47	86	1738
5	0,5	238	1,095	12,9	2,36	87	1748

Fuente: del autor

Tabla 2.17

Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 33% de apertura)

YAMAHA XTZ 150 A (2100) Apertura al 33 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,55	166	1,067	13,2	1,81	85	2087
2	0,55	186	1,084	13,1	2,16	85	2097
3	0,53	223	1,074	13,1	1,98	87	2104
4	0,58	166	1,08	13,1	2,07	89	2110
5	0,5	218	1,091	13	2,27	91	2091

Fuente: del autor

Tabla 2.18

Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura)

YAMAHA XTZ 150 A RALENTÍ (1750) Apertura al 66 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,5	216	1,09	12,9	2,24	84	1748

2	0,34	171	1,357	10,4	5,88	85	1744
3	0,36	181	1,318	10,7	5,43	87	1750
4	0,32	192	1,264	11,2	4,74	89	1751
5	0,28	177	1,264	11,2	4,68	90	1744

Fuente: del autor

Tabla 2.19

Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 66% de apertura)

YAMAHA XTZ 150 A (2100) Apertura al 66 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0.89	132	1.014	13.6	1.23	84	1748
2	0.71	148	1.014	12.4	1.38	86	1747
3	0.98	152	1.011	12.9	1.40	87	1751
4	0.58	164	1.027	14.0	1.07	87	1754
5	0.57	161	1.024	14.0	1.01	91	1745

Fuente: del autor

Tabla 2.20

Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a ralentí (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura)

YAMAHA XTZ 150 A RALENTÍ (1750) Apertura al 100 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,71	179	1,024	13,9	1,12	86	1751
2	0,78	182	1,026	13,8	1,20	87	1749
3	0,58	156	1,019	14,1	0,90	86	1752
4	0,56	157	1,021	14,0	0,93	88	1752
5	0,56	158	1,022	14,0	0,96	91	1749

Fuente: Del autor

Tabla 2.21

Mediciones de la motocicleta YAMAHA XTZ 150 a 2100 (con hidrógeno, 25 % hidrógeno con válvula al 100% de apertura)

YAMAHA XTZ 150 A (2100) Apertura al 100 % de la válvula							
Dato	CO (% Vol.)	HC (ppm)	LAMBDA	CO2(%Vol.)	O2(% vol.)	TEMP (°C)	RPM
1	0,67	166	1,023	13,9	0,93	84	2084
2	0,62	162	1,022	13,9	0,90	85	2099
3	0,59	160	1,021	13,8	1,20	88	2101
4	0,57	157	1,020	14,1	1,12	89	2115
5	0,57	154	1,019	14	1,05	91	2089

Fuente: Del autor

3. CAPÍTULO 3

Análisis de los datos obtenidos mediante programas de estadística básica para la determinación de gráficas, esquemas y resultados.

3.1. Base de datos

La evaluación de los gases de escape generados por las motocicletas es crucial para comprender su impacto ambiental y determinar el efecto de tecnologías para la reducción de emisiones, como la implementación del hidrógeno. El análisis de las muestras de los gases de escape con y sin hidrógeno ofrece una posible solución para influir en los gases contaminantes. En este capítulo se da un análisis de resultados de las muestras de gases de escape, teniendo en objetivo la comparación entre resultados obtenidos con y sin el hidrógeno.

La evaluación de los resultados de los gases de escape se basa en la adquisición de datos obtenidos en equipos de medición especializados. Estos datos incluyen la proporción de diversos gases, tales como el monóxido de carbono (CO), ya que una alta concentración puede indicar una combustión incompleta en el motor. El dióxido de carbono (CO₂) es otro gas importante que se mide en este análisis, ya que su concentración puede estar relacionada con la eficiencia del motor. Los hidrocarburos no quemados (HC) también se miden en este análisis, ya que una alta concentración puede indicar una falla en el sistema de combustión. Por último, la concentración de oxígeno (O₂) se mide para determinar la eficiencia de la mezcla de aire y combustible en el motor y a su vez la su eficiencia en el sistema de reducción de emisiones nocivas cuando se tenga con y sin hidrógeno.

Cuando se utilizan técnicas estadísticas básicas para medir resultados ambientales, también es crucial considerar el marco legal y los estándares ambientales aplicables. Al comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por las normativas, se puede determinar si se está cumpliendo con las regulaciones ambientales. Además de las métricas cuantitativas, el análisis del contexto normativo es esencial para evaluar adecuadamente el desempeño ambiental.

3.2. Análisis de emisiones: Excel

Excel es una suite de programas de hoja de cálculo, gestión de datos y análisis, desarrollada por Microsoft. Está diseñado para ayudar a los usuarios a analizar grandes cantidades de datos, tomar decisiones informadas y crear modelos matemáticos.

- Gráficos y visualizaciones de datos: Excel permite a los usuarios crear y personalizar gráficos y visualizaciones de datos para facilitar la comprensión de patrones y tendencias en los datos.
- Funciones matemáticas y estadísticas: Excel cuenta con un vasto abanico de funciones integradas para realizar cálculos y análisis, como funciones trigonométricas, estadísticas y financieras.

Nos permite realizar análisis de datos por medio de variables obtenidos dentro de un mismo grupo.

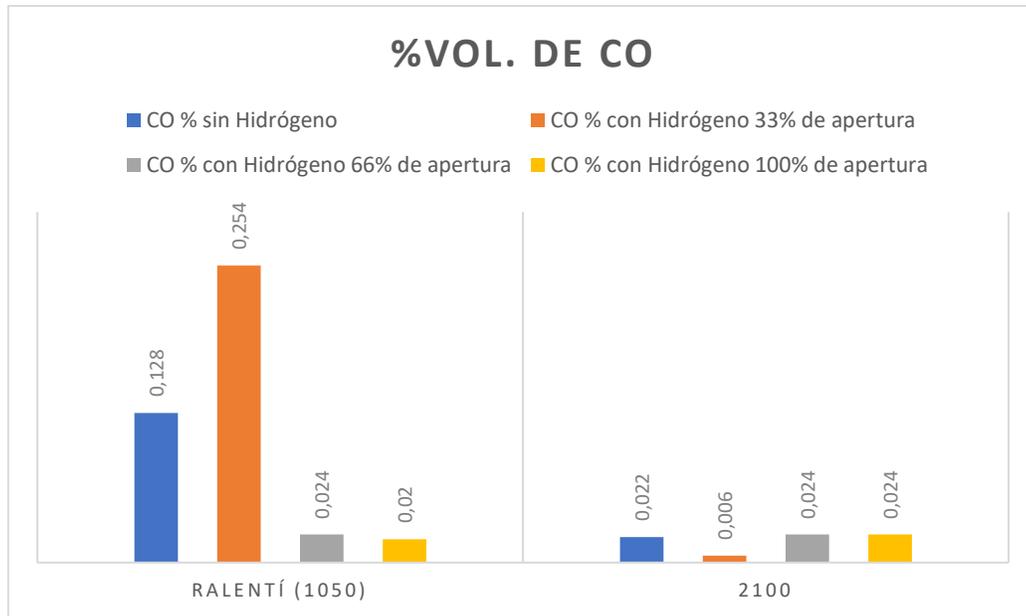
Se analizarán los datos de:

3.2.1. Motocicleta Royal Enfield Hunter 350

Monóxido de carbono

Figura 3.1

Datos obtenidos de monóxido de carbono

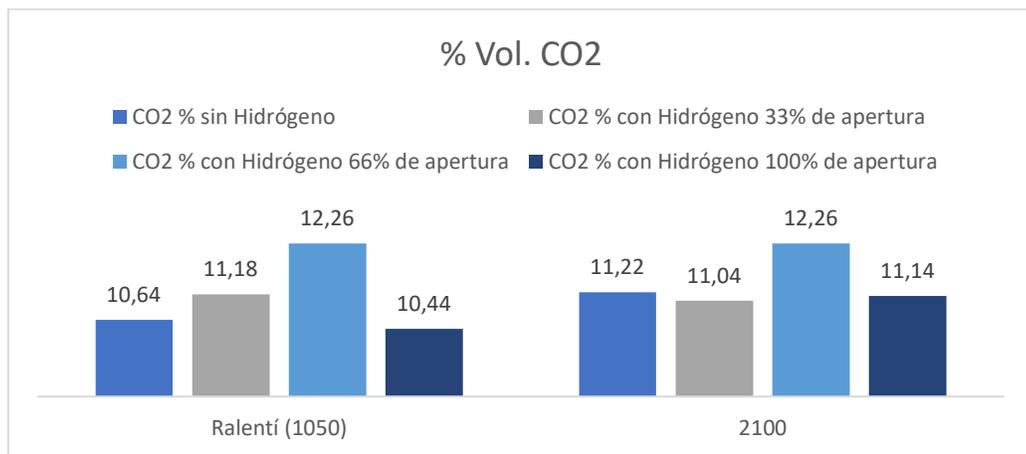


Nota. Creación propia

Dióxido de carbono

Figura 3.2

Datos obtenidos del dióxido de carbono



Nota. Creación propia

En la figura 3.1 muestra los porcentajes de monóxido de carbono (CO) y la figura 3.2 dióxido de carbono (CO₂) en dos situaciones: sin hidrógeno y con hidrógeno en diferentes concentraciones (33%, 66% y 100% de apertura). Los datos se leen de izquierda a derecha.

Primero, observemos los valores de CO sin hidrógeno:

Inicialmente, el porcentaje de CO es del 0,3% a 1050 rpm.

A medida que aumenta la velocidad a 2100 rpm, el porcentaje de CO disminuye a aproximadamente el 0,1%.

A continuación, analicemos los valores de CO con hidrógeno:

- Con una apertura del 33% de hidrógeno, el porcentaje de CO a 1050 rpm es del 0,25%, y a 2100 rpm es del 0,15%.
- Con una apertura del 66% de hidrógeno, el porcentaje de CO a 1050 rpm es del 0,2%, y a 2100 rpm es del 0,1%.
- Con una apertura del 100% de hidrógeno, el porcentaje de CO a 1050 rpm es del 0,05%, y a 2100 rpm es del 0,05%.

Se observa una disminución en el porcentaje de CO en ambas situaciones (sin hidrógeno y con hidrógeno) a medida que aumenta la velocidad del rpm. Además, el porcentaje de CO es menor con hidrógeno en comparación con la situación sin hidrógeno, especialmente a 1050 rpm.

Ahora, observemos los valores de CO₂ sin hidrógeno:

Inicialmente, el porcentaje de CO₂ es del 10,64% a 1050 rpm.

A medida que aumenta la velocidad a 2100 rpm, el porcentaje de CO₂ aumenta a aproximadamente el 11,22%.

A continuación, analicemos los valores de CO₂ con hidrógeno:

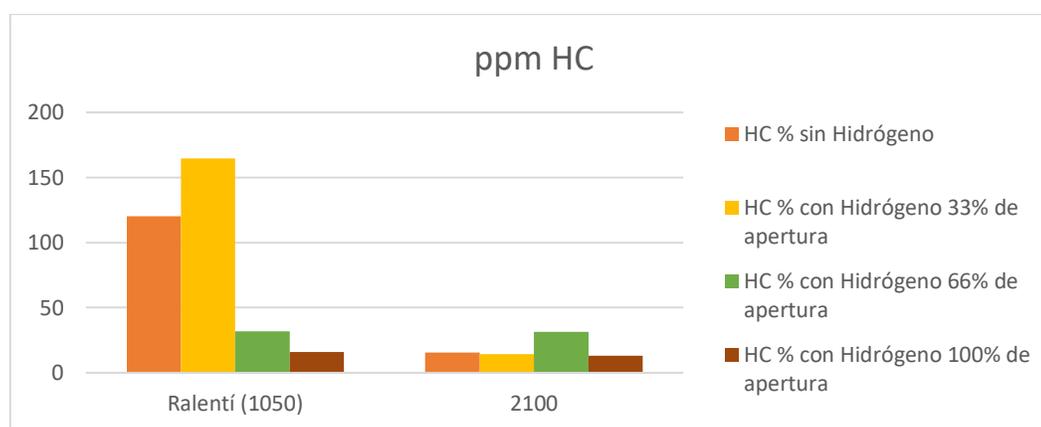
- Con una apertura del 33% de hidrógeno, el porcentaje de CO₂ a 1050 rpm es del 11,18%, y a 2100 rpm es del 11,04%.
- Con una apertura del 66% de hidrógeno, el porcentaje de CO₂ a 1050 rpm es del 12,26%, y a 2100 rpm es del 12,26%.
- Con una apertura del 100% de hidrógeno, el porcentaje de CO₂ a 1050 rpm es del 10,44%, y a 2100 rpm es del 11,14%.

En general, se observa un comportamiento mixto en los valores de CO₂. Aunque el porcentaje de CO₂ aumenta en la situación con hidrógeno con 66% de apertura a medida que aumenta la velocidad del rpm. Sin embargo, los valores de CO₂ son ligeramente más bajos en las situaciones de ralentí (1050 rpm) ya con hidrógeno en comparación con la situación de acelerado (2100 rpm) con hidrógeno.

Hidrocarburos no combustionados

Figura 3.3

Datos obtenidos del dióxido de carbono

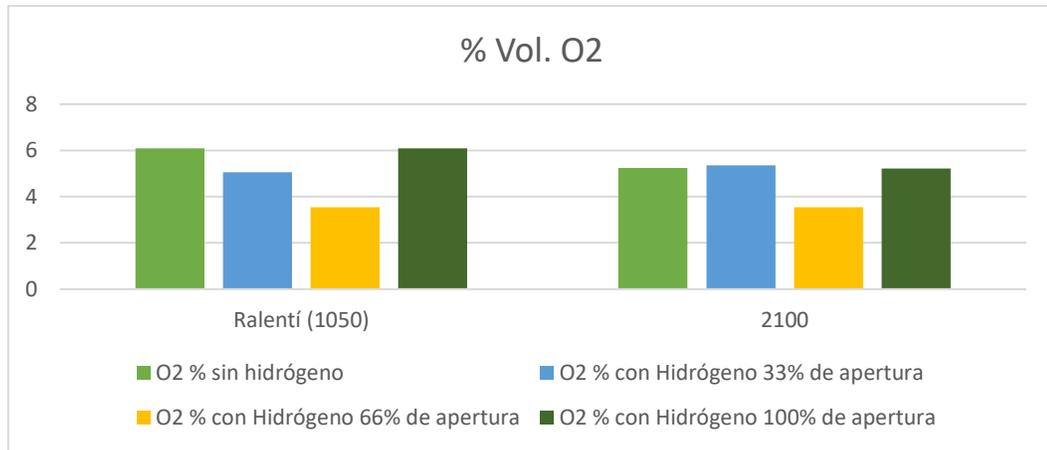


Nota. Creación propia

Oxígeno

Figura 3.4

Datos obtenidos del oxígeno



Nota. Propia creación

Claramente, los datos proporcionados consisten en dos gráficos que muestran las concentraciones de HC (hidrocarburos) (Figura 3.3) y O₂ (oxígeno) (Figura 3.4) relacionando con diferentes aperturas de la válvula del generador de hidrógeno y algunos regímenes de giro del motor.

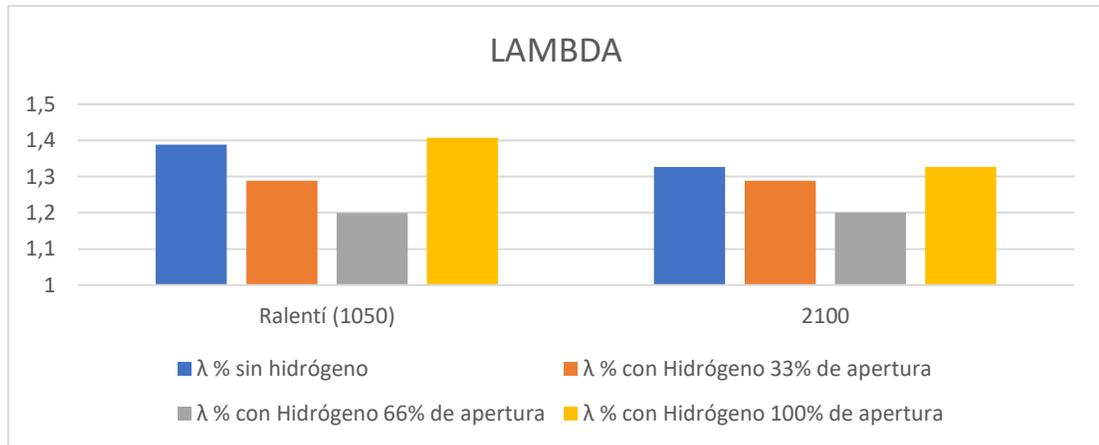
En el primer gráfico, que muestra los niveles de HC, se puede observar que a medida que la apertura de la válvula aumenta de 0% a 100%, los niveles de HC disminuyen significativamente desde aproximadamente 164.8 ppm hasta alrededor de 16 ppm. Sin embargo, cuando se agrega hidrógeno al sistema, los niveles de HC aumentan nuevamente, incluso a mayores aperturas de la válvula en específico a 33% en ralentí y un 66% en revoluciones más altas. Esto se debe a que el hidrógeno puede actuar como un agente reductor, convirtiendo los hidrocarburos incompletamente quemados en moléculas más simples y menos tóxicas.

En el segundo gráfico, que muestra los niveles de O₂, se puede ver una tendencia similar en la que los niveles de O₂ disminuyen a medida que aumenta la apertura de combustible, pero aumentan nuevamente con la adición de hidrógeno. Esto se debe a que el hidrógeno puede competir con el oxígeno para la reacción de combustión, lo que resulta en una menor cantidad de oxígeno.

Lambda

Figura 3.5

Datos obtenidos del factor lambda



Nota. Creación

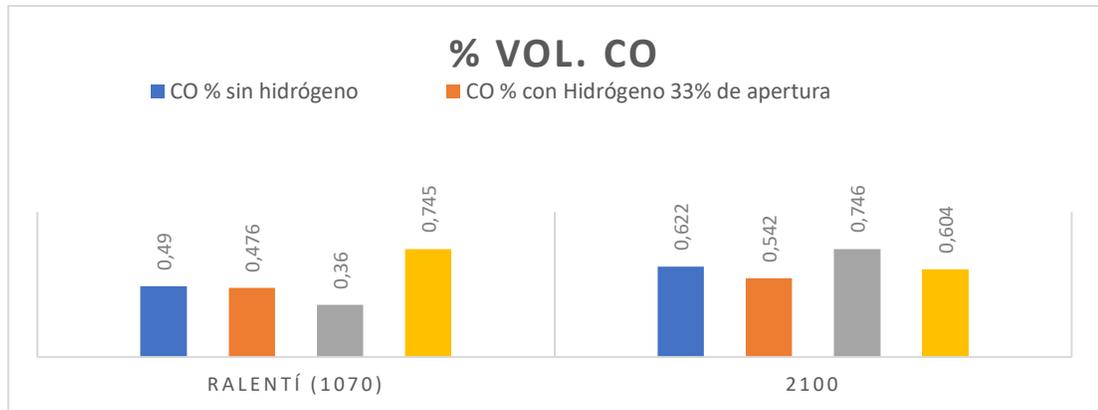
Claramente, los datos proporcionados consisten en dos conjuntos de mediciones, uno para la relación de mezcla de aire/combustible (λ) (figura 3.5) el escape del motor. Ambos se miden en diferentes configuraciones de apertura de la válvula mientras se mantienen las RPM del motor en 1050 y 2100.

Para el conjunto de datos de λ , se puede observar que a medida que aumenta la apertura (de 0% a 66%) de la válvula, la relación de mezcla de aire/combustible también disminuye (de 1,38 a 1,2 en RPM 1050 y de 1,325 a 1,2 en RPM 2100). Pero cuando aumenta la apertura al 100 % de la salida del hidrógeno se observa que existe un aumento significativo tanto en ralentí como en revoluciones altas (2100). Por lo que se observa que se tiene una mezcla más igualitaria generalmente se asocia con una combustión más eficiente y una menor producción de emisiones.

3.2.2. Motocicleta Yamaha XTZ 150

Figura 3.6

Datos obtenidos del monóxido de carbono

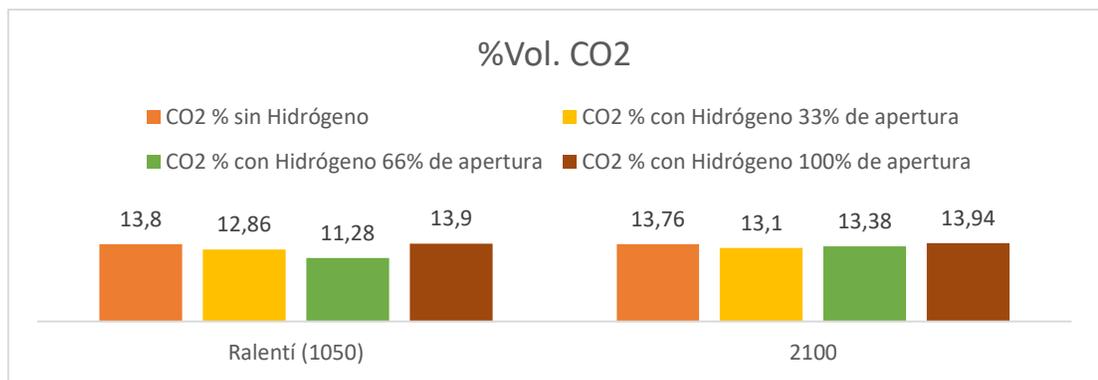


Nota. Creación propia

Dióxido de carbono

Figura 3.7

Datos obtenidos del dióxido de carbono



Nota. Creación propia

El primer dato que se presenta es la concentración de monóxido de carbono (CO) en porcentaje, tanto sin hidrógeno como con diferentes niveles de apertura de hidrógeno (33%, 66% y 100%). Se puede observar que a medida que aumenta la apertura de hidrógeno, disminuye la concentración de CO. Esto indica que la presencia de hidrógeno en el proceso está desplazando al monóxido de carbono, lo que sería una situación deseable, ya que el CO es un gas tóxico y peligroso.

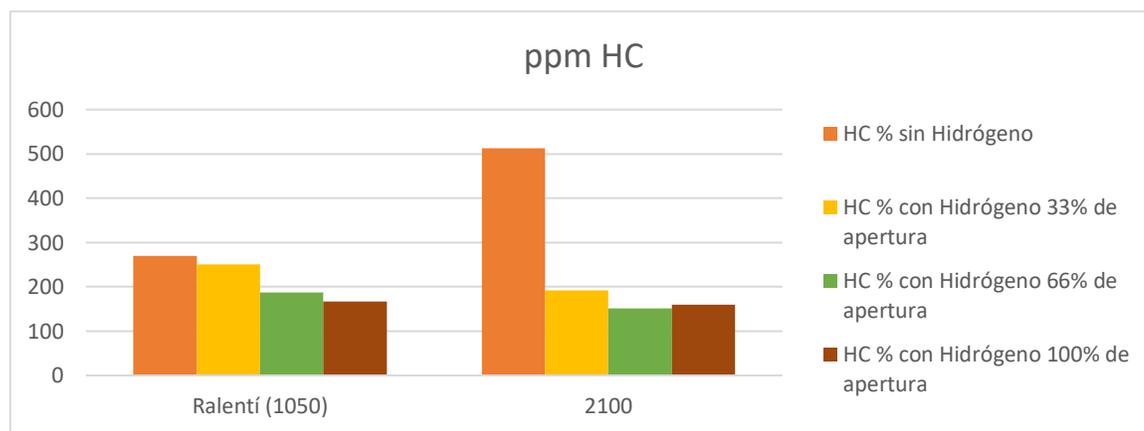
En cuanto al segundo dato, se trata de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en porcentaje volumétrico, bajo las mismas condiciones que el anterior. Se puede observar que a

medida que aumenta la apertura de hidrógeno, la concentración de CO2 disminuye ligeramente. Esto es lógico, ya que el hidrógeno está desplazando al monóxido de carbono, que a su vez se oxida para formar dióxido de carbono.

Hidrocarburos no combustionados

Figura 3.8

Datos obtenidos del hidrocarburo no combustionado

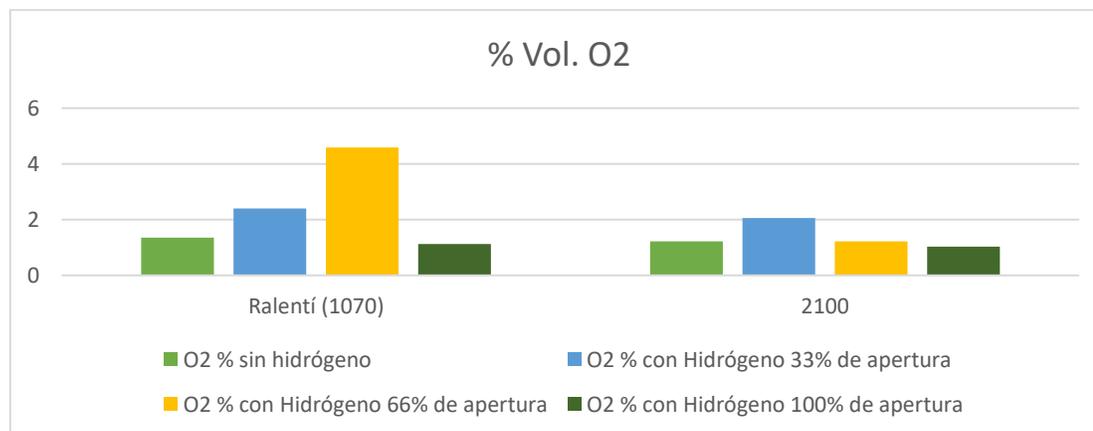


Nota. Creación propia

Oxígeno

Figura 3.9

Datos obtenidos del oxígeno



Nota. Propia creación

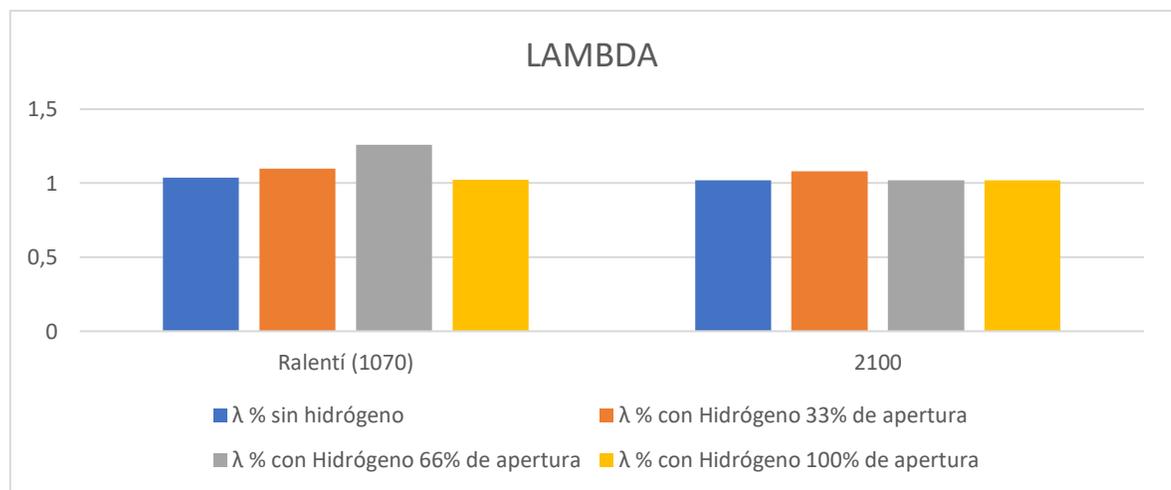
En la figura 3.9 se puede observar el comportamiento de los hidrocarburos no combustionados, se puede observar una disminución en sus emisiones cuando se aplica una cantidad de apertura de hidrógeno y se encuentra a 1050 rpm. Sin embargo, cuando se encuentra a ralentí tanto en su estado normal, cuando este acelerado (2100 rpm) esta con niveles demasiados altos por encima de los 500 ppm, esto indica que el motor está reaccionando bien al hidrógeno y el motor está en buenas condiciones por lo que reduce sus concentraciones de HC.

En la figura 3.10 se puede determinar cuando está en ralentí y a revoluciones (2100) sin hidrógeno los niveles son bajos, pero al aplicar el hidrógeno en varias aperturas (33%, 66%,100%) aumentan considerablemente, especialmente cuando se tiene en ralentí con una apertura del 66% de la válvula en ralentí, incrementa considerablemente

Lambda

Figura 3.10

Datos obtenidos del factor lambda



Nota. Propia creación

En la figura 3.11 se observa los niveles del factor lambda los cuales al tener en ralentí sin hidrógeno es casi la mezcla igual a 1 por lo que se entiende que la mezcla aire- combustible es óptima, pero esta al subir la apertura de la válvula de apertura del hidrógeno (33%, 66%, 100%)

esta va variando significativamente por lo que cuando se tiene una apertura del 66% aumenta la variación en mas 1.2 a comparación del resto que casi tiene una cercanía a 1 cuando esto está a ralenti, mientras que cuando esta revolucionado (2100) los niveles de lambda son más estables y cercanos a 1 por lo se tiene una mejor eficiencia de la mezcla aire – combustible. Por lo que el motor se encuentra en condiciones óptimas y eficientes de funcionamiento.

3.3.Análisis de emisiones: Minitab

Un análisis estadístico permite probar la hipótesis de que medias o promedios de las muestras son iguales o aparecidas.

- Por análisis de varianza se comprueba:
- La normalidad en las muestras obtenidas
- Existencia de varianza constante
- Independencia de residuos, es decir que tenga dependencia y no sean de forma de patrón
- Si existe función al azar y no patrón, significa que es independiente de los residuos.

El uso de ANOVA es útil para crear una comparación entre 2 datos a analizar la variabilidad dentro de los valores obtenidos.

El ANOVA da resultados a de las muestras en comparación a las salidas

Se dividirá ANOVA en 2 partes:

3.3.1. Motocicleta Royal Enfield Hunter 350

Monóxido de carbono

Figura 3.11

Modelo matemático para el CO

Ralenti

2100 rpm

Multiple Regression for CO Model Building Report

X1: TEMP X2: apertura

Final Model Equation
 $CO = 0,1893 - 0,1664 X2$

Multiple Regression for CO a 2100 rpm Model Building Report

X1: apertura X2: TEMP

Final Model Equation

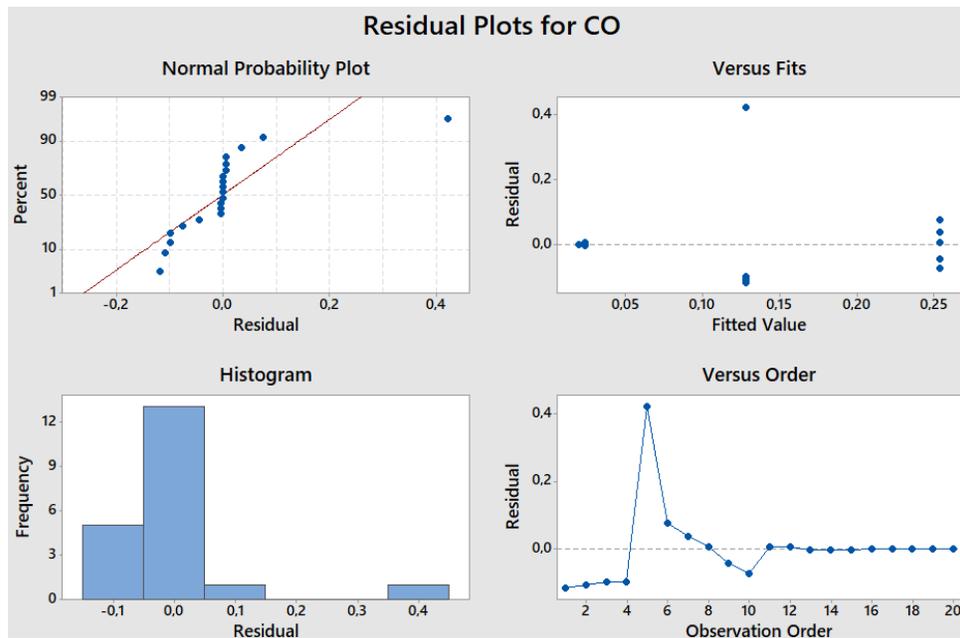
$CO \text{ a } 2100 \text{ rpm} = 3,55 - 0,000436 X1 - 0,0754 X2 + 0,000005 X1^2 + 0,000403 X2^2$

Fuente: El autor

Las emisiones de CO se pueden definir por medio de un modelo matemático dependiendo de la cantidad de emisiones con respecto a la temperatura y apertura de la válvula del generador de hidrógeno, se obtiene un estudio estadístico.

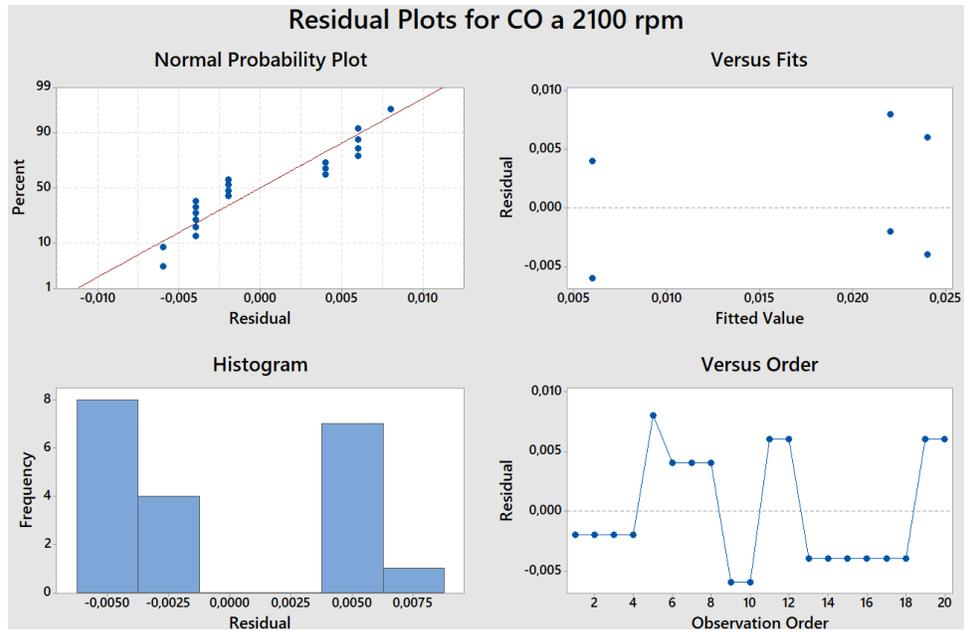
Figura 3.12

Gráfica de residuos para CO



Ralentí

2100 rpm



Fuente: Del autor

En la figura 3.12 de residuos para lo que es el CO, presenta normalidad en los datos que se ajustan a la recta, por lo cual se puede verificar por medio de histograma, mientras que, los valores pronosticados de los residuos se distribuyen aleatoriamente sin formar un patrón, lo cual establece que existen una varianza constante, y también en los residuos no están teniendo una correlación entre ellos por lo que las muestras son aleatorias tanto a ralenti como en 2100 rpm.

La figura 3.13 indica lo que viene a ser los resultados de la diferencia estadística significativa que llega a tener un valor $p = 0,025$ para ralenti mientras que para 2100 rpm $p = 0$.

Figura 3.13

Análisis de varianza del CO

	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ralenti	Apertura	2	0,1825	0,06084	4,10	0,025
	Error	16	0,2375	0,01484		
	Total	19	0,4201			

Analysis of Variance

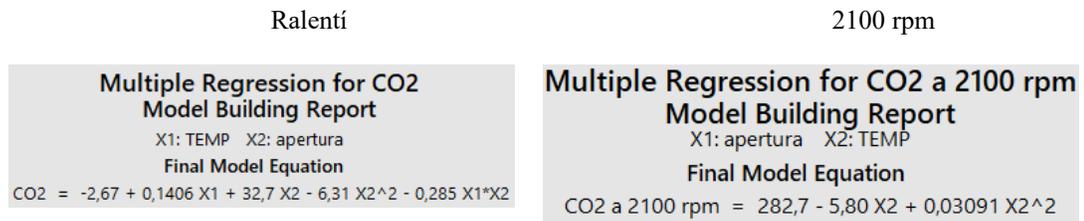
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
2100 rpm	apertura rev	3	0,001140	0,000380	13,82	0,000
	Error	16	0,000440	0,000027		
	Total	19	0,001580			

Fuente: del autor

Dióxido de carbono

Figura 3.14

Modelo matemático del CO₂



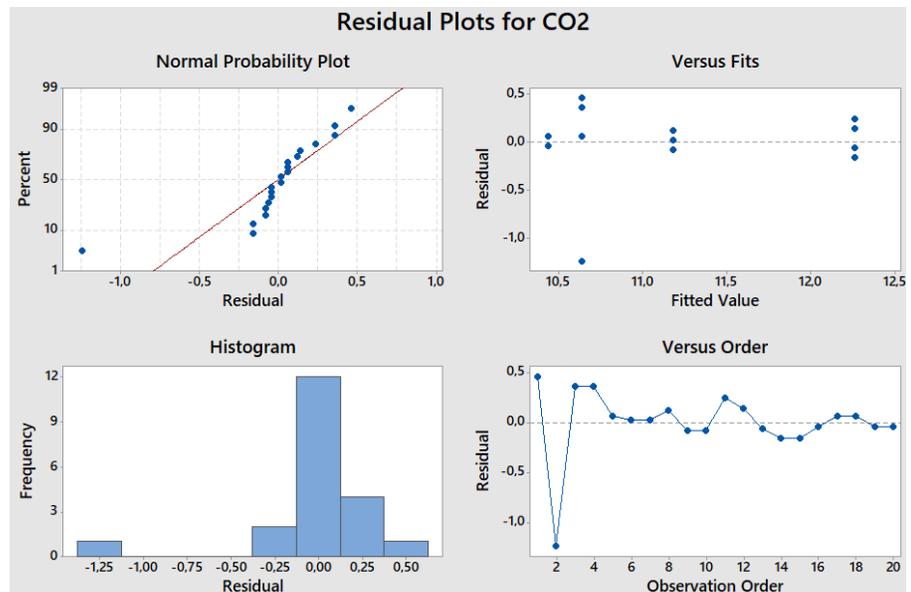
Fuente: El autor

Para el modelo matemático, la cantidad de emisiones del CO₂ en relación con la temperatura y apertura de la válvula del generador de hidrógeno, teniendo una ecuación determinada para el CO₂ tanto para ralentí como a 2100 rpm.

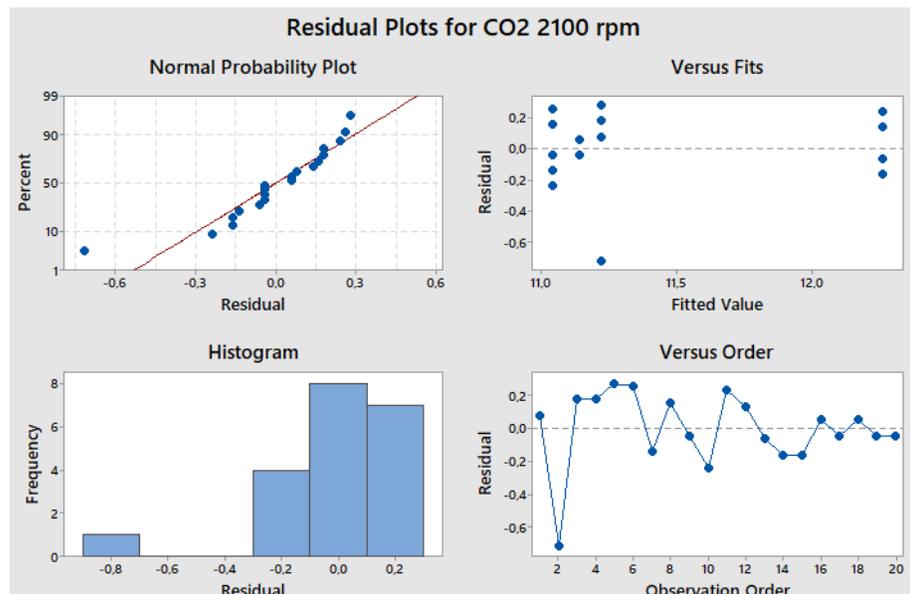
Figura 3.15

Gráfica de residuos para CO₂

Ralentí



2100 rpm



Fuente: del autor

En la figura 3.15 se puede observar la gráfica del CO₂ se puede comprobar (normal probability plot) esta se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la supuesta normalidad, a su vez lo que se observa en la gráfica (residual versus orden) no se observa ningún patrón que sigue el cuello de botella o embutido, ya que se encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras que en la gráfica (Residual versus orden) se observa que los datos son independientes y en el (Histogram) se indica una correcta distribución de los datos de la muestra, tanto en ralentí como a 2100 rpm.

La figura 3.16 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralenti como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.16

Análisis de varianza del CO2

		Analysis of Variance					
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Ralenti	apertura	3	9,978	3,3260	24,37	0,000	
	Error	16	2,184	0,1365			
	Total	19	12,162				
	Analysis of Variance						
2100 rpm	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
	apertura rev	3	4,8415	1,61383	26,24	0,000	
	Error	16	0,9840	0,06150			
	Total	19	5,8255				

Fuente: del autor

Hidrocarburos no combustionados

Figura 3.17

Modelo matemático del HC

Ralenti

2100 rpm

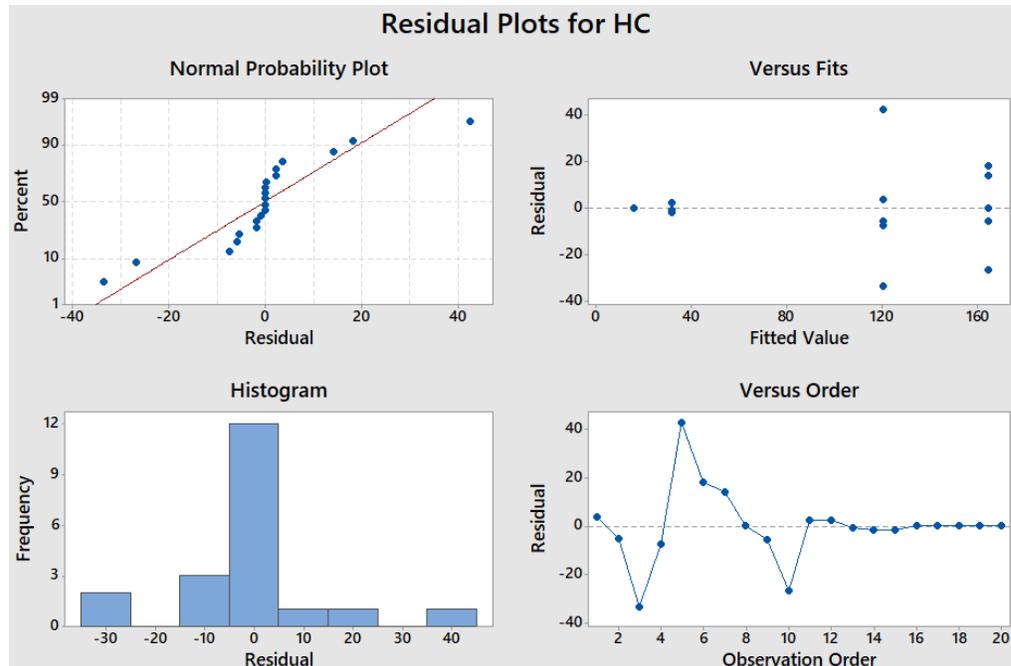
Fuente: del autor

El modelo matemático de los HC va con una relación entre la temperatura y apertura de la válvula del generador de hidrógeno, obteniendo la siguiente ecuación.

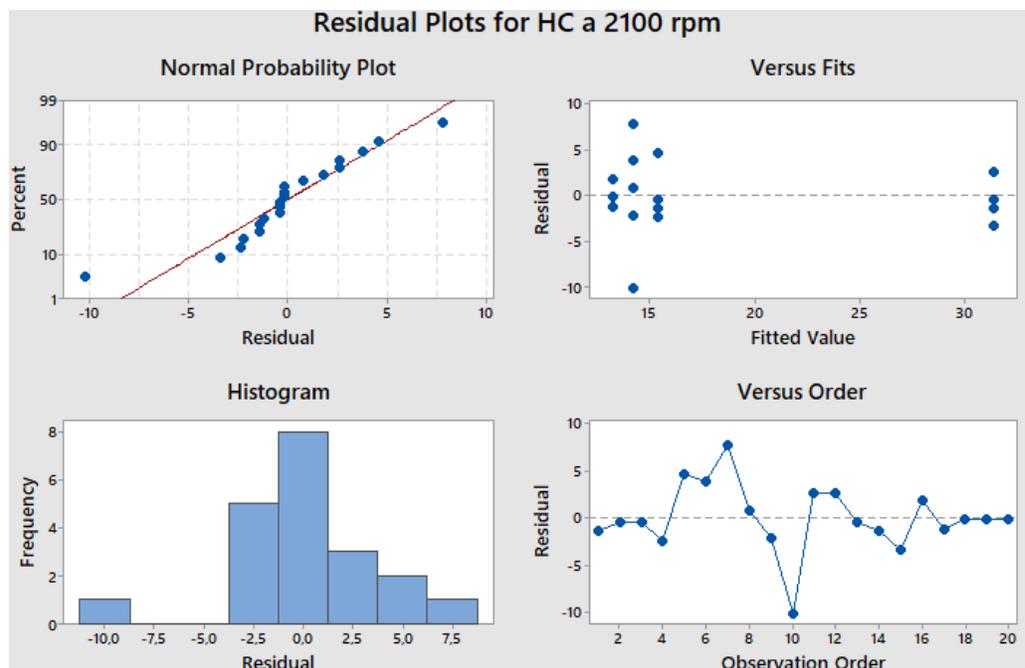
Figura 3.18

Gráfica de residuos del HC

Ralentí



2100 rpm



Fuente: del autor

En la figura 3.18 se puede observar la gráfica del HC se puede comprobar (normal probability plot) esta se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la supuesta normalidad, a su vez lo que se observa en la gráfica (residual versus orden) no se observa ningún patrón, ya que se encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras que en la

gráfica (Residual versus orden) se observa que son independientes y en el (Histogram) se indica una correcta distribución de los datos de la muestra, tanto en ralenti como a 2100 rpm.

La figura 3.19 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralenti como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.19

Análisis de varianza del HC

Analysis of Variance						
Ralenti	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
	apertura	3	76001	25333,6	93,64	0,000
	Error	16	4329	270,6		
	Total	19	80330			

Analysis of Variance						
2100 rpm	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
	apertura rev	3	1112,9	370,98	24,13	0,000
	Error	16	246,0	15,37		
	Total	19	1358,9			

Fuente: del autor

Oxígeno

Figura 3.20

Modelo matemático del O₂

<i>Ralenti</i>	<i>2100 rpm</i>
<p>Multiple Regression for O2 Model Building Report X1: TEMP X2: apertura Final Model Equation O2 = 25,25 - 0,2028 X1 - 50,8 X2 + 9,38 X2^2 + 0,446 X1*X2</p>	<p>Multiple Regression for O2 a 2100 rpm Model Building Report X1: apertura X2: TEMP Final Model Equation O2 a 2100 rpm = -7,60 + 0,1358 X2</p>

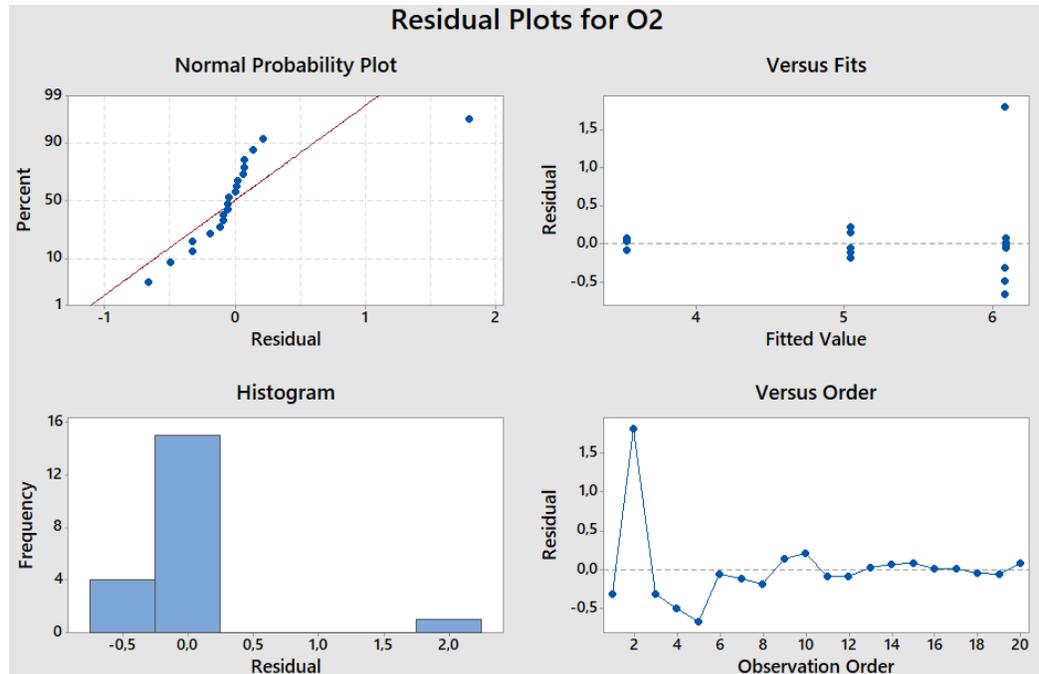
Fuente: del autor

En el modelo matemático del O₂ se tiene una relación entre lo que es la temperatura y la apertura de la válvula del generador.

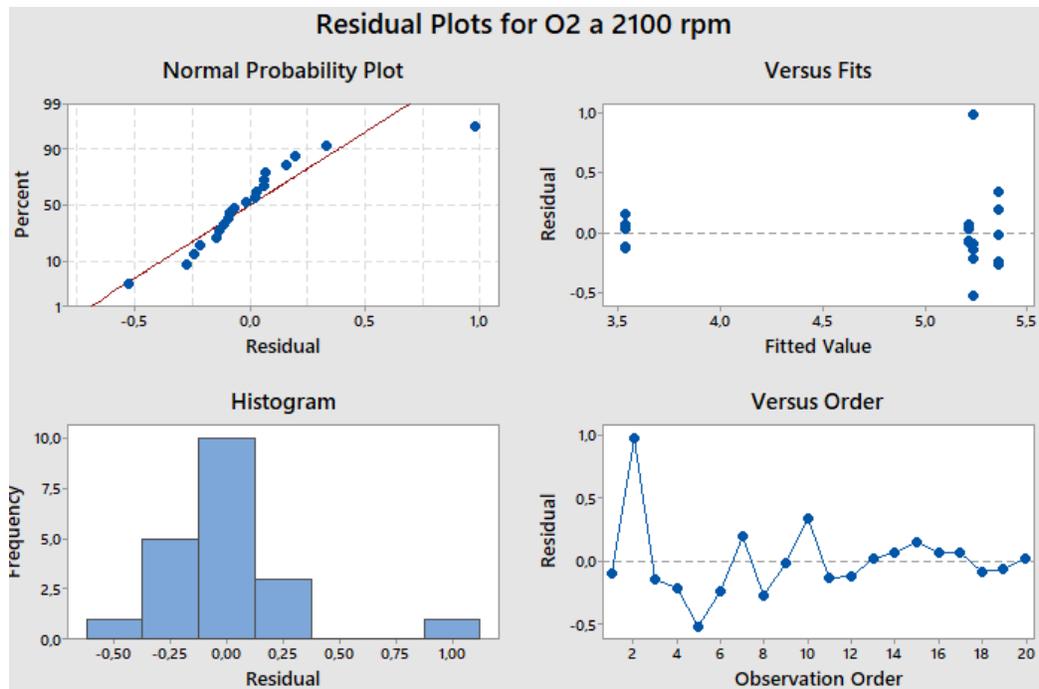
Figura 3.21

Gráfica de residuos del O₂

Ralentí



2100 rpm



Fuente: del autor

En la figura 3.21 se puede observar la gráfica del O₂ se puede comprobar (normal probability plot) esta se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la normalidad, a su vez lo que se observa en la gráfica (residual versus orden) no existe ningún patrón, ya que se

encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras que en la gráfica (Residual versus orden) se observa que los datos son independientes y en el (Histogram) se indica una correcta distribución de los datos, tanto en ralenti como a 2100 rpm.

La figura 3.22 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralenti como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.22

Análisis de varianza del O2

		Analysis of Variance					
Ralenti		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
		Apertura 2	3	21,880	7,2932	27,30	0,000
		Error	16	4,274	0,2671		
		Total	19	26,154			

		Analysis of Variance					
2100 rpm		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
		apertura rev	3	11,392	3,7973	35,97	0,000
		Error	16	1,689	0,1056		
		Total	19	13,081			

Fuente: del autor

Factor lambda

Figura 3.23

Modelo matemático del factor LAMBDA

<i>Ralenti</i>	<i>2100 rpm</i>
<p>Multiple Regression for LAMBDA Model Building Report X1: TEMP X2: apertura Final Model Equation $LAMBDA = 2,853 - 0,01553 X1 - 3,96 X2 + 0,785 X2^2 + 0,0344 X1 * X2$</p>	<p>Multiple Regression for LAMBDA a 2100 rpm Model Building Report X1: apertura X2: TEMP Final Model Equation $LAMBDA a 2100 rpm = 0,439 + 0,00924 X2$</p>

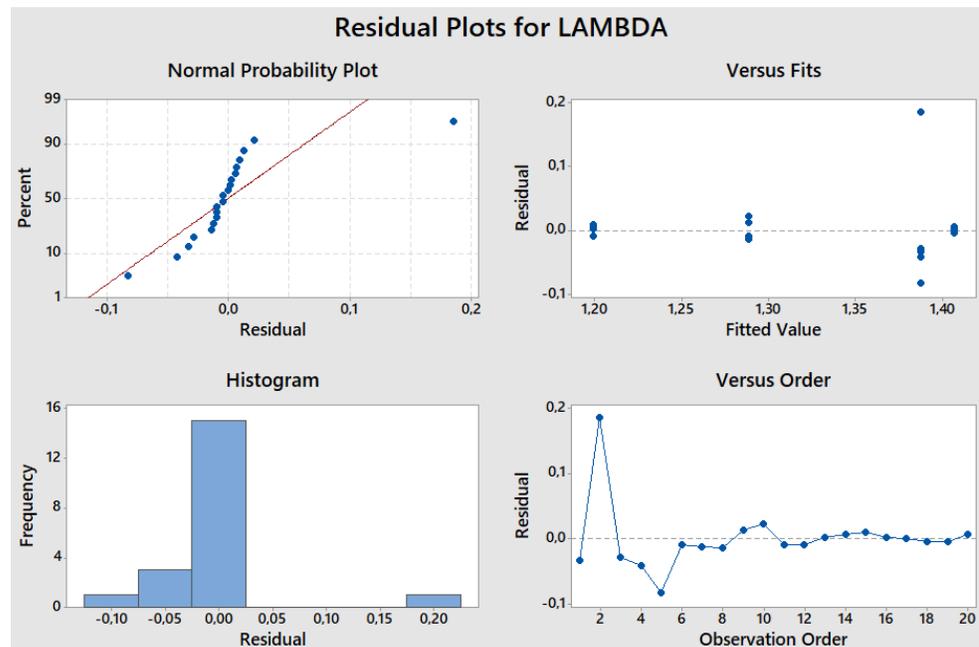
Fuente: Del autor

En el modelo matemático de $LAMBDA(\lambda)$ tiene una relación entre la temperatura y la apertura del hidrógeno, dando la siguiente formula.

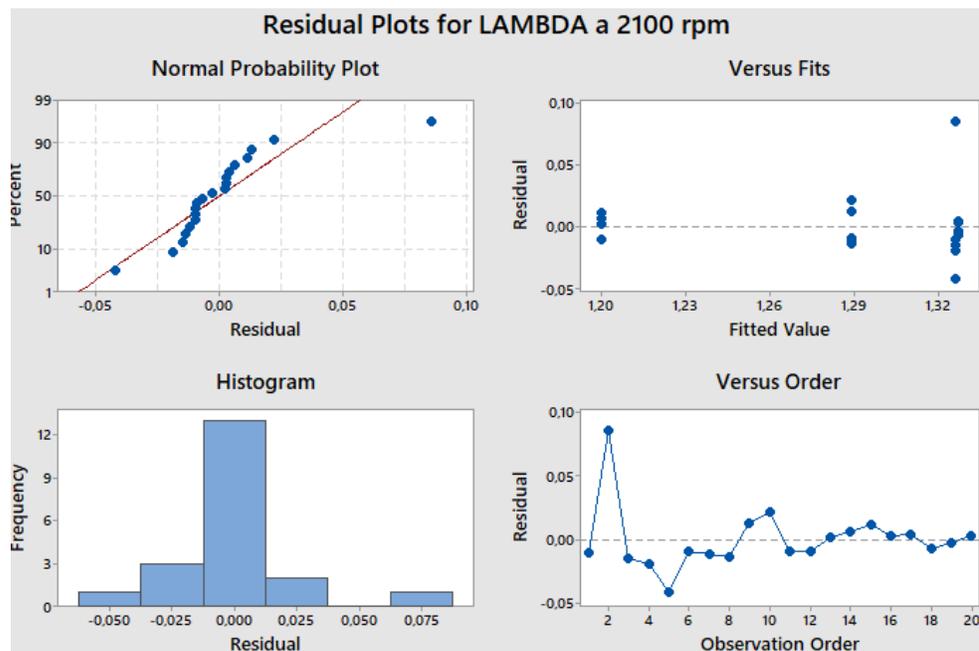
Figura 3.24

Gráfica de residuos De lambda

Ralentí



2100 rpm



Fuente: del autor

En la figura 3.24 se puede observar la gráfica de LAMBDA se comprueba la (normal probability plot) esta se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la normalidad, a su

vez se observa en la gráfica (residual versus orden) no existe ningún patrón, ya que se encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras que en la gráfica (Residual versus orden) se observa que los datos son independientes y en el (Histogram) se indica una correcta distribución de los datos, tanto en ralenti como a 2100 rpm.

La figura 3.25 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralenti como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.25

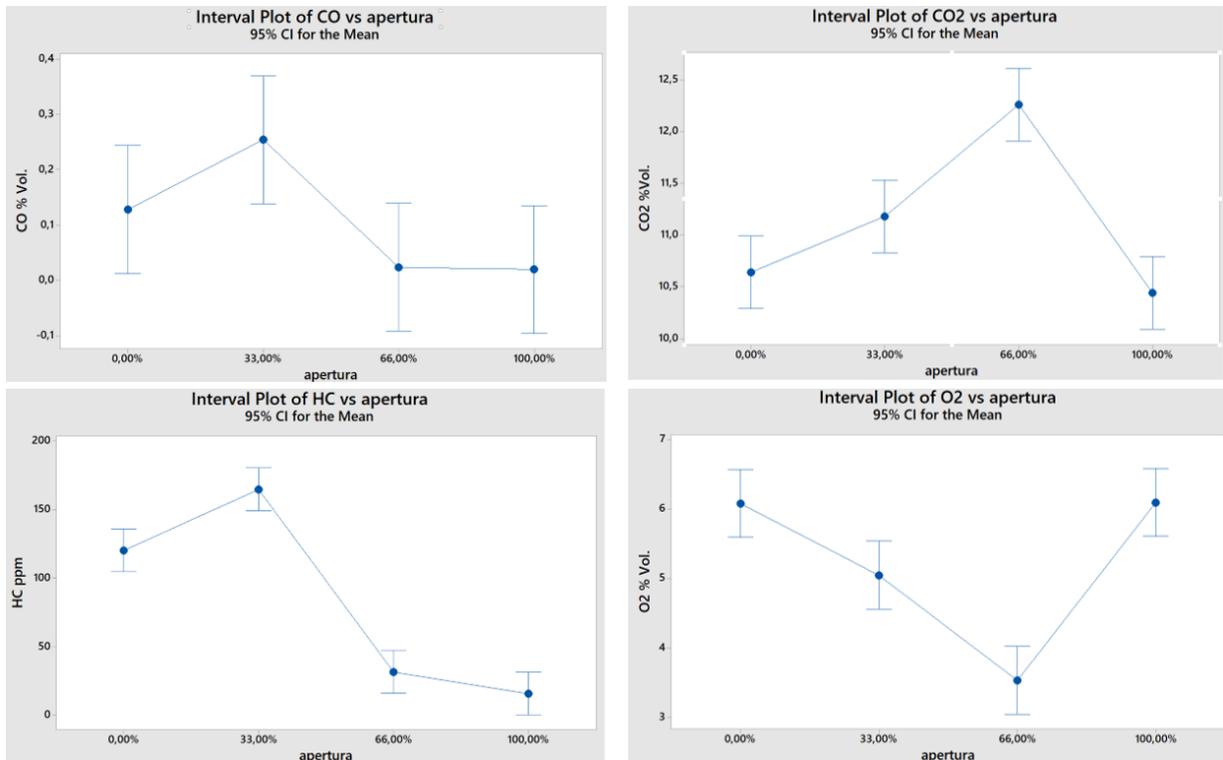
Análisis de varianza de LAMBDA

		Analysis of Variance					
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Ralenti	Apertura 2	3	0,13821	0,046070	15,93	0,000	
	Error	16	0,04627	0,002892			
	Total	19	0,18448				
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
2100 rpm	apertura rev	3	0,05360	0,017865	25,13	0,000	
	Error	16	0,01137	0,000711			
	Total	19	0,06497				

Fuente: del autor

Figura 3.26

Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a ralenti

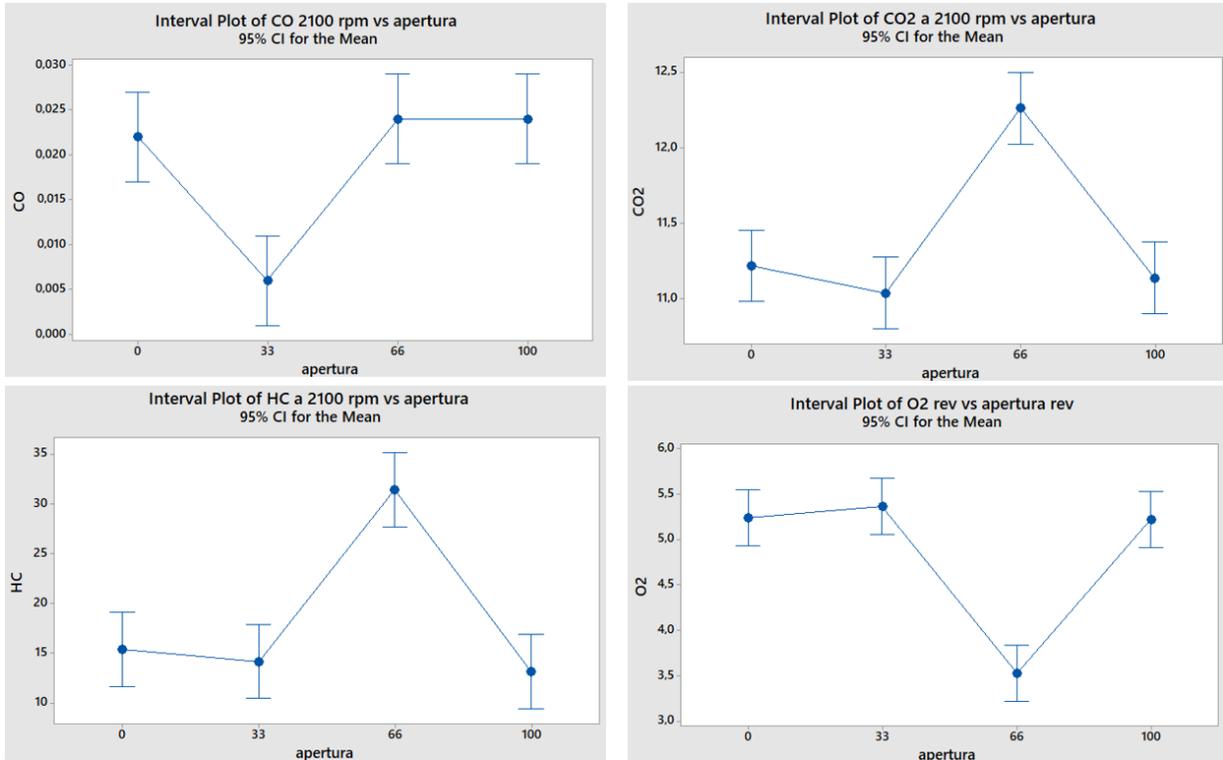


Fuente: Creación propia

En la gráfica 3.26 se puede ver el comportamiento de los distintos gases a partir de la apertura de la válvula de generador de hidrógeno, la válvula al estar en 0% de apertura significa que es la muestra original sin modificación de los gases contaminantes, por lo que se puede observar que los HC y CO disminuyen drásticamente cuando se tiene una apertura del 66 % pero en la misma apertura el CO₂ aumenta significativamente por lo que se tiene una eficiencia en la combustión para corroborar se puede observar que se tiene un valor bajo en el O₂ con una mezcla rica, al 66 % de la apertura por lo que se puede deducir que a ralentí con los resultados obtenidos si se logró reducir significativamente algunos valores de emisiones con una mezcla más optima eso al 66 % de la apertura de la válvula, por lo que si se abre al 100 % de la válvula no tiene ningún efecto positivo para el motor.

Figura 3.27

Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a 2100 rpm



Fuente: Del autor

Cuando se encuentra en 0% de apertura de la válvula el estado es original sin recibir modificación de los gases contaminantes, en un 33 % los niveles del CO están trabajando con niveles bajos de emisiones por lo que da hidrocarburos (HC) con niveles bajos, el oxígeno (O₂) se encuentra alto lo que se tiene una combustión que no se produce, se puede observar que para el 33 % de la apertura de la válvula del generador el CO₂ tiene una mezcla regular en la combustión llegando a tener un aproximado de 11,25 %. Lo que se da a entender que esta con mezcla pobre ya que para un sistema de inyección electrónica debe de estar entre los valores de 14% lo que es lo más optima, pero este valor no llega a esas perspectivas lo que se vuelve una combustión regular. Por lo que se puede analizar que, si el CO y el HC están bajos, esto significa que existe poco combustible y una combustión incompleta, pero a su vez estos niveles si se reducen lo que es satisfactorio por lo que estos elementos son muy nocivos, al tener la apertura al 66% no se evidencia que exista efectos positivos en la reducción de emisiones contaminantes.

3.3.2. Motocicleta Yamaha XTZ 150

Tabulación de datos de la motocicleta:

Monóxido de carbono

Figura 3.28

Modelo matemático para el CO

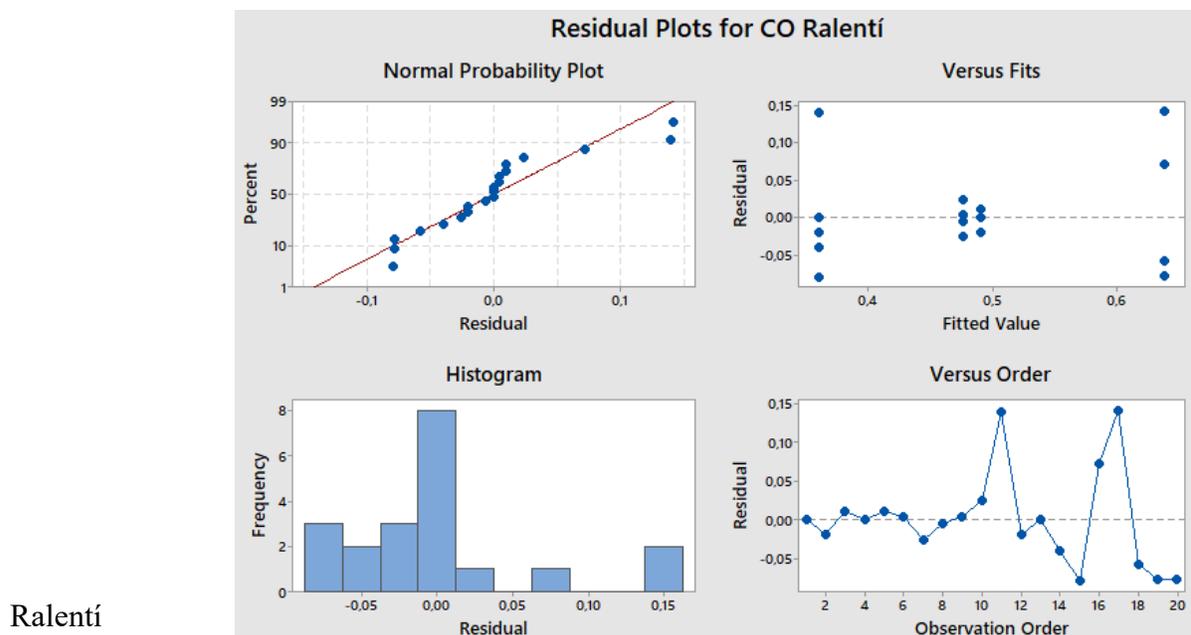


Fuente: Del autor

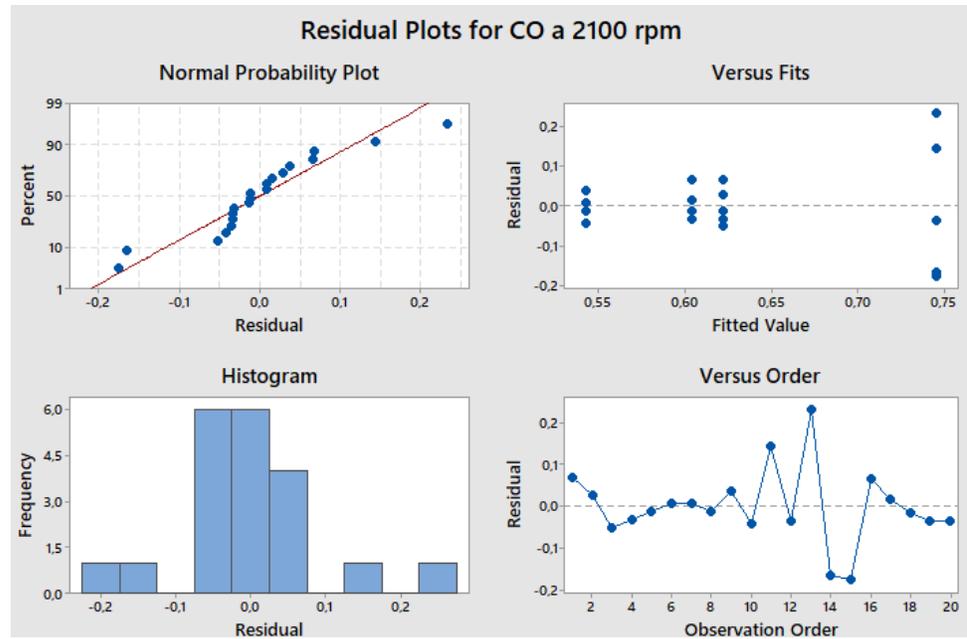
Las emisiones de CO se pueden definir por medio de un modelo matemático dependiendo de la cantidad de emisiones con respecto a la temperatura y apertura de la válvula del generador de hidrógeno, se obtiene un estudio estadístico.

Figura 3.29

Gráfica de residuos para CO



2100 rpm



Fuente: Del autor

En la figura 3.29 de residuos para lo que es el CO, presenta normalidad en los datos que se ajustan a la recta, por lo cual por medio de histograma se puede verificar, mientras que, los valores pronosticados de los residuos se distribuyen aleatoriamente sin formar un patrón, lo cual establece que existen una varianza constante, y también en los residuos no están teniendo una correlación entre ellos por lo que las muestras son aleatorias tanto a ralenti como en 2100 rpm.

La figura 3.30 indica lo que viene a ser los resultados de la diferencia estadística significativa que llega a tener un valor $p = 0,000$ ralenti mientras que para 2100 rpm $p = 0,032$.

Figura 3.30 Análisis de varianza del CO

Análisis de varianza del CO

Analysis of Variance						
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ralenti	apertura	3	0,19498	0,064993	14,69	0,000
	Error	16	0,07080	0,004425		
	Total	19	0,26578			

		Analysis of Variance					
2100 rpm		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
		apertura	3	0,1097	0,036552	3,77	0,032
		Error	16	0,1552	0,009700		
		Total	19	0,2649			

Fuente: Del autor

Dióxido de carbono

Figura 3.31 Modelo matemático para el CO₂

Modelo matemático para el CO₂

Ralentí	2100 rpm
<p>Multiple Regression for CO2 Ralentí Model Building Report</p> <p>X1: apertura X2: TEMP Ralentí</p> <p>Final Model Equation</p> <p>CO2 Ralentí = 28,25 - 0,1142 X1 - 0,1559 X2 + 0,001063 X1²</p>	<p>Multiple Regression for CO2 a 2100 r Model Building Report</p> <p>X1: apertura X2: TEMP a 2100</p> <p>Final Model Equation</p> <p>CO2 a 2100 rpm = 13,725 - 0,02478 X1 + 0,000273 X1²</p>

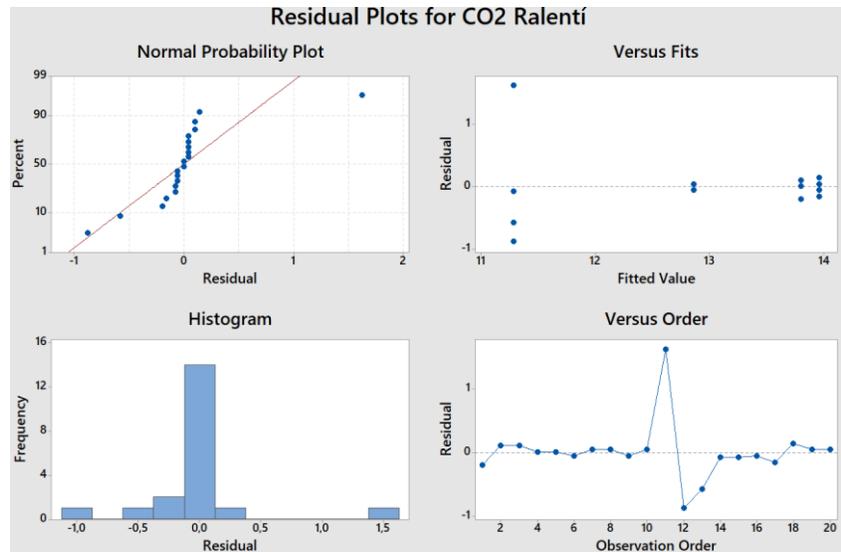
Fuente: Del autor

Para el modelo matemático, la cantidad de emisiones del CO₂ en relación con la temperatura y apertura de la válvula del generador de hidrógeno, teniendo una ecuación determinada para el CO₂ tanto para ralentí como a 2100 rpm.

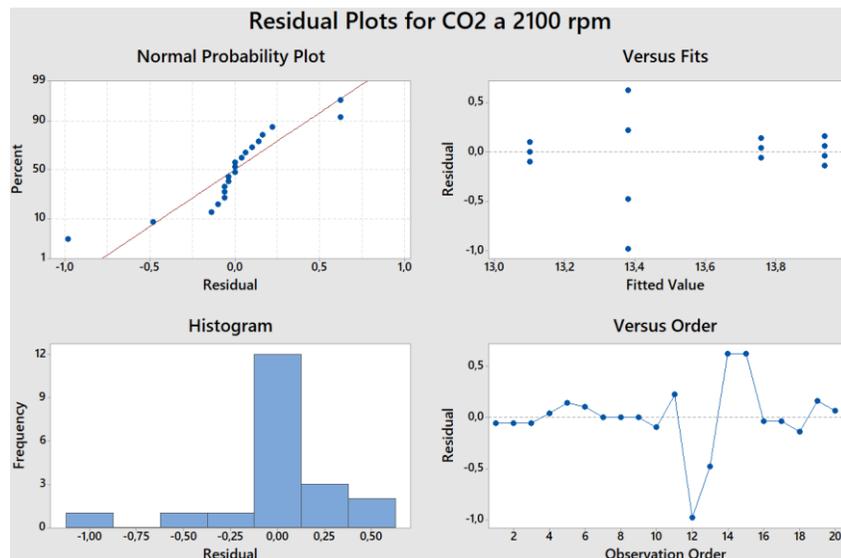
Figura 3.32

Gráfica de residuos para CO₂

Ralentí



2100 rpm



Fuente: Del autor

En la figura 3.32 se puede observar la gráfica del CO₂ se puede comprobar (normal probability plot) esta se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la supuesta normalidad, se observa en la gráfica (residual versus orden) no existe ningún patrón que sigue el cuello de botella o embudo, ya que se encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras que en la gráfica (Residual versus orden) se observa que los datos son independientes y en el (Histogram) indica una correcta distribución de los datos en la muestra, tanto en ralentí como a 2100 rpm.

La figura 3.33 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ para ralentí y a 2100 rpm un $p = 0,009$, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.33

Análisis de varianza del CO₂

		Analysis of Variance					
		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ralentí	apertura	3	22,685	7,5618	31,25	0,000	
	Error	16	3,872	0,2420			
	Total	19	26,557				
	Analysis of Variance						
		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
2100 rpm	apertura	3	2,138	0,7125	5,40	0,009	
	Error	16	2,112	0,1320			
	Total	19	4,250				

Fuente: Del autor

Hidrocarburos no combustionados

Figura 3.34

Modelo matemático para el HC

Ralentí	2100 rpm
<p>Multiple Regression for HC Ralentí Model Building Report X1: apertura X2: TEMP Ralentí Final Model Equation $HC \text{ Ralentí} = 6130 - 1,825 X1 - 128,4 X2 + 0,00654 X1^2 + 0,704 X2^2$</p>	<p>Multiple Regression for HC a 2100 rp Model Building Report X1: apertura X2: TEMP a 2100 Final Model Equation $HC \text{ a 2100 rpm} = 500,7 - 10,73 X1 + 0,0744 X1^2$</p>

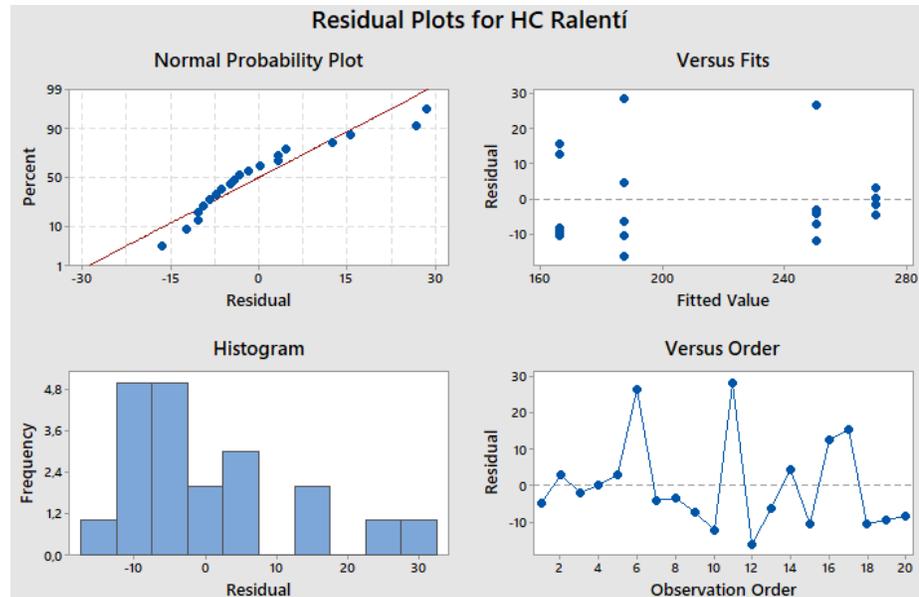
Fuente: Del autor

El modelo matemático de los HC va con una relación entre la temperatura y apertura de la válvula del generador de hidrógeno, obteniendo la siguiente ecuación.

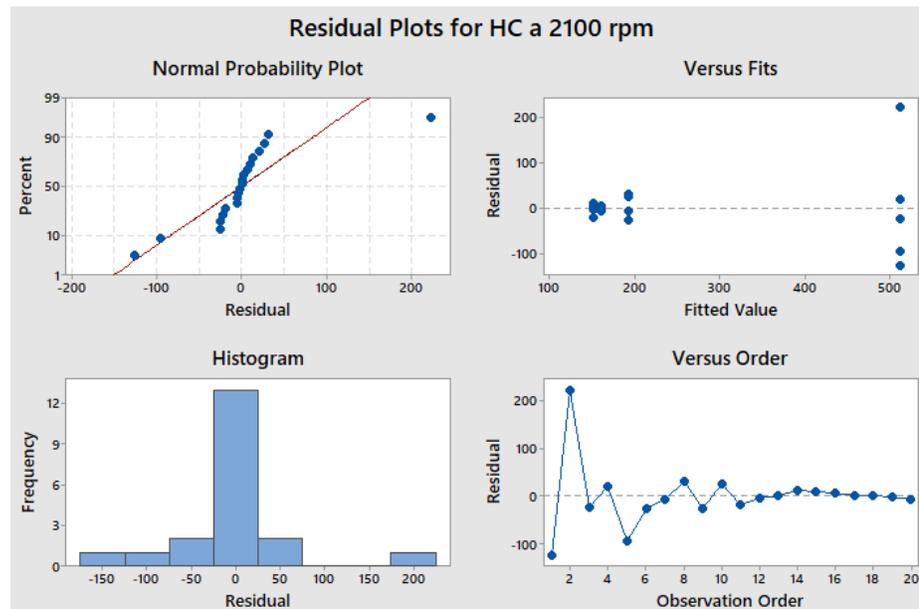
Figura 3.35

Gráfica de residuos para el HC

Ralentí



2100 rpm



Fuente: Del autor

En la figura 3.35 se puede observar la gráfica del HC se puede comprobar (normal probability plot) se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la supuesta normalidad, se observa en la gráfica (residual versus orden) no existe ningún patrón, ya que se encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, en la gráfica (Residual versus orden) se observa que son independientes y en el (Histogram) se indica una correcta distribución de los datos de la muestra, tanto en ralentí como a 2100 rpm.

La figura 3.36 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralenti como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.36

Análisis de varianza del HC

		Analysis of Variance				
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ralenti	apertura	3	36591	12197,0	66,83	0,000
	Error	16	2920	182,5		
	Total	19	39511			
		Analysis of Variance				
	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
2100 rpm	apertura	3	450716	150239	30,24	0,000
	Error	16	79498	4969		
	Total	19	530214			

Fuente: Del autor

Oxígeno

Figura 3.37

Modelo matemático para el O₂

Ralenti	2100 rpm
<p>Multiple Regression for O2 Ralenti Model Building Report X1: apertura X2: TEMP Ralenti Final Model Equation O2 Ralenti = -18,51 + 0,1481 X1 + 0,214 X2 - 0,001381 X1^2</p>	<p>Multiple Regression for O2 a 2100 rp Model Building Report X1: apertura X2: TEMP a 2100 Final Model Equation O2 a 2100 rpm = 1,338 + 0,01839 X1 - 0,000225 X1^2</p>

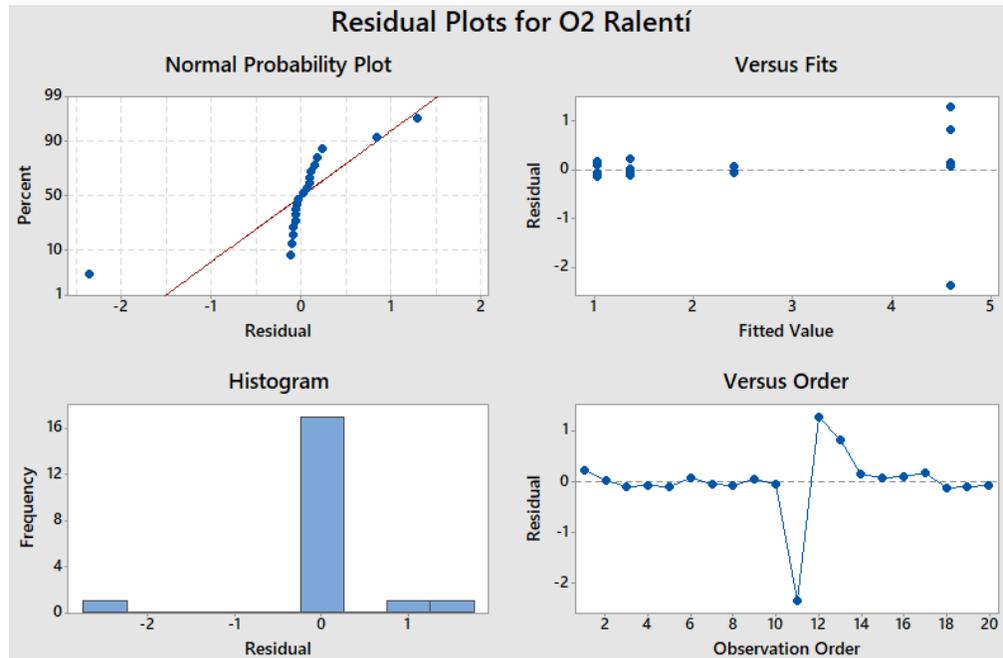
Fuente: Del autor

En el modelo matemático del O₂ se tiene una relación entre lo que es la temperatura y la apertura de la válvula del generador.

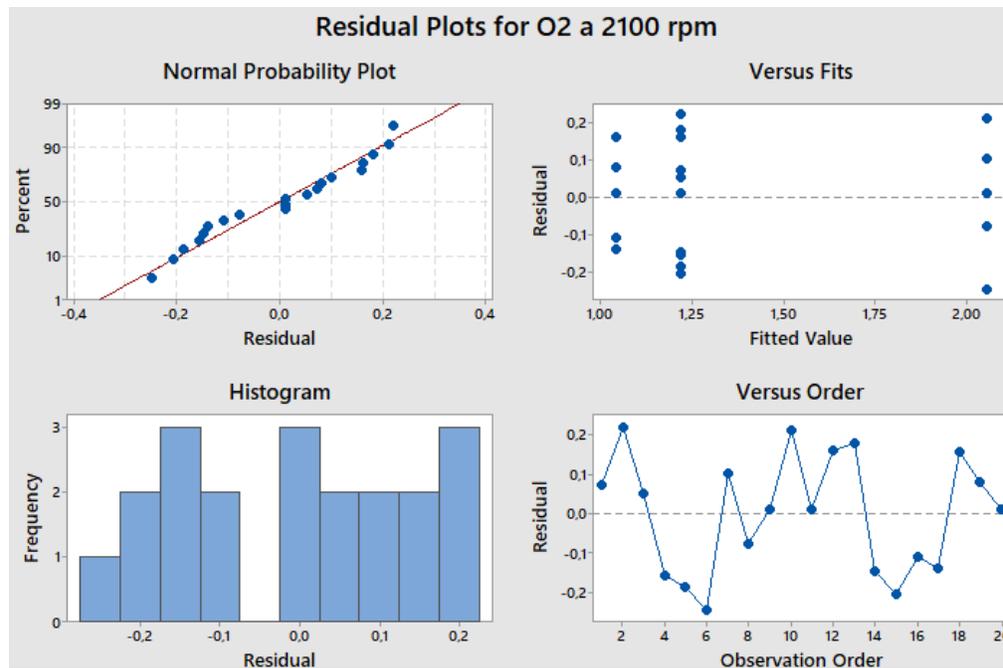
Figura 3.38

Gráfica de residuos para O₂

Ralentí



2100 rpm



Fuente: Del autor

En la figura 3.38 se puede observar la gráfica del O₂ se puede comprobar (normal probability plot) se ajusta a una tendencia en línea recta, efectuando la normalidad, se observa en la gráfica (residual versus orden) no existe ningún patrón, porque se encuentran en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras la gráfica (Residual versus orden) se observa que

los datos son independientes y en el (Histogram) indica una correcta distribución de los datos, tanto en ralenti como a 2100 rpm.

La figura 3.39 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralenti como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.39

Análisis de varianza del O_2

		Analysis of Variance					
		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ralenti	apertura	3	38,971	12,9902	25,69	0,000	
	Error	16	8,090	0,5056			
	Total	19	47,061				
	Analysis of Variance						
		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
2100 rpm	apertura	3	3,1386	1,04620	39,02	0,000	
	Error	16	0,4290	0,02681			
	Total	19	3,5677				

Fuente: Del autor

Factor lambda

Figura 3.40

Modelo matemático para LAMBDA

Ralenti	2100 rpm
<p>Multiple Regression for LAMBDA Ralen Model Building Report</p> <p>X1: apertura X2: TEMP Ralenti</p> <p>Final Model Equation</p> <p>LAMBDA Ralen = $-0,424 + 0,00998 X1 + 0,01577 X2 - 0,000092 X1^2$</p>	<p>Multiple Regression for LAMBDA a 210 Model Building Report</p> <p>X1: apertura X2: TEMP a 2100</p> <p>Final Model Equation</p> <p>LAMBDA a 2100 rpm = $1,0279 + 0,001115 X1 - 0,000013 X1^2$</p>

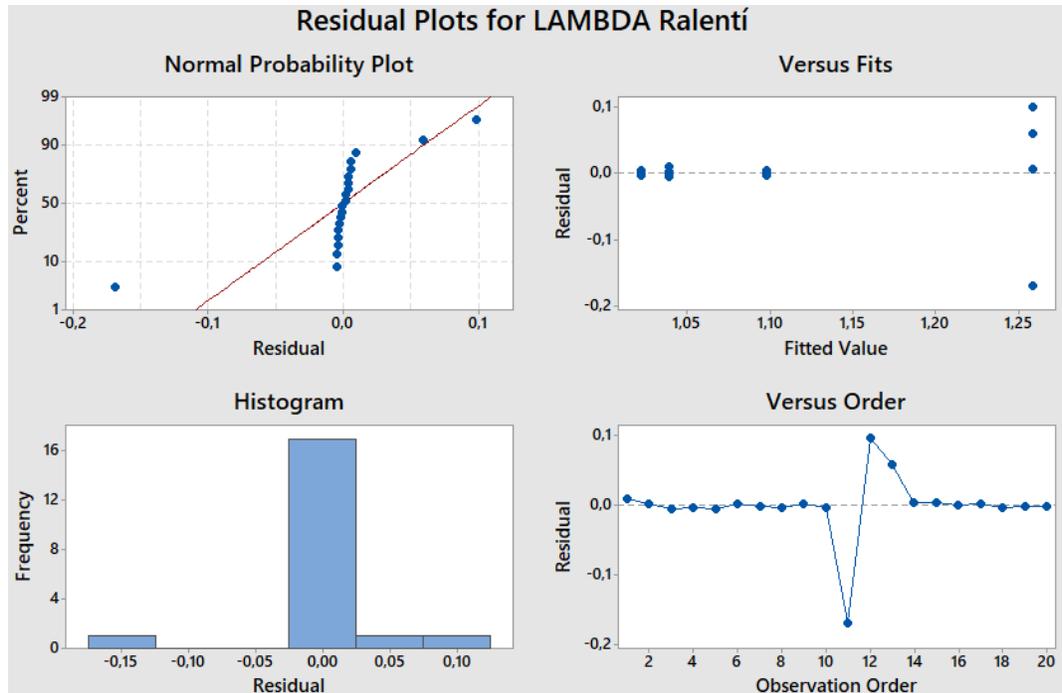
Fuente: Del autor

En el modelo matemático de $LAMBDA(\lambda)$ tiene una relación entre la temperatura y la apertura del hidrógeno, dando la siguiente formula.

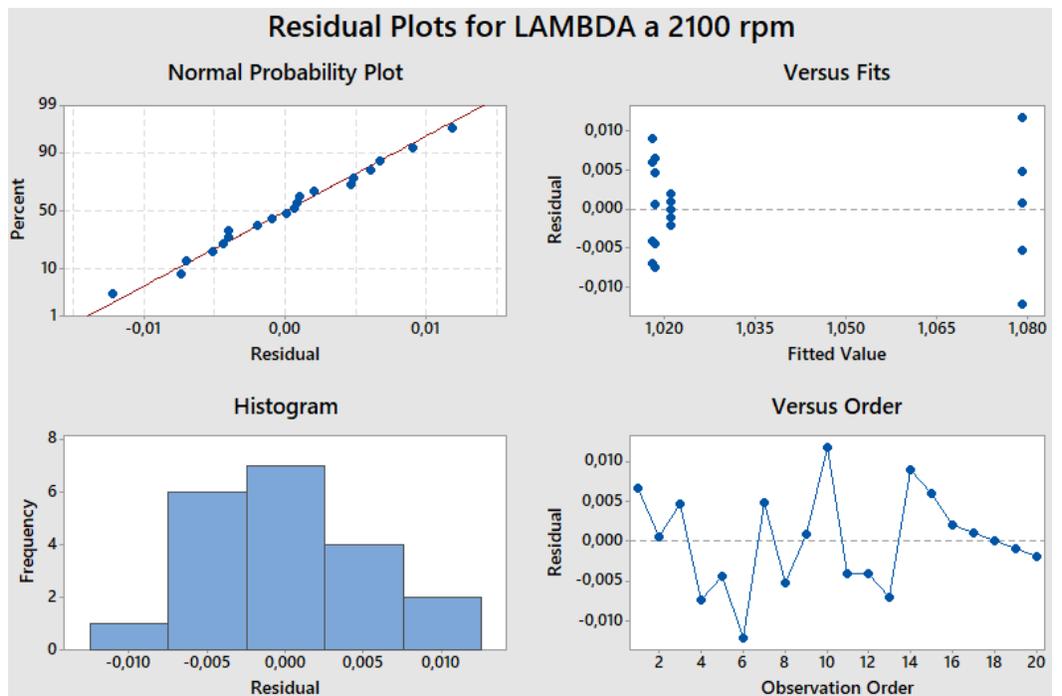
Figura 3.41

Gráfica de residuos para LAMBDA

Ralentí



2100 rpm



Fuente: Del autor

En la figura 3.41 se puede observar la gráfica de LAMBDA se comprueba la (normal probability plot) esta se ajusta a una tendencia de una línea recta, efectuando la normalidad, a su vez se observa en la gráfica (residual versus orden) no existe ningún patrón, ya que se encuentran

en forma aleatoria y cumpliendo la varianza, mientras que en la gráfica (Residual versus orden) se observa que los datos son independientes y en el (Histogram) se indica una correcta distribución de los datos, tanto en ralentí como a 2100 rpm.

La figura 3.25 se puede observar los resultados que posee un valor de $p = 0$ tanto para ralentí como 2100 rpm, esto significa que la diferencia es estadística significativa.

Figura 3.42

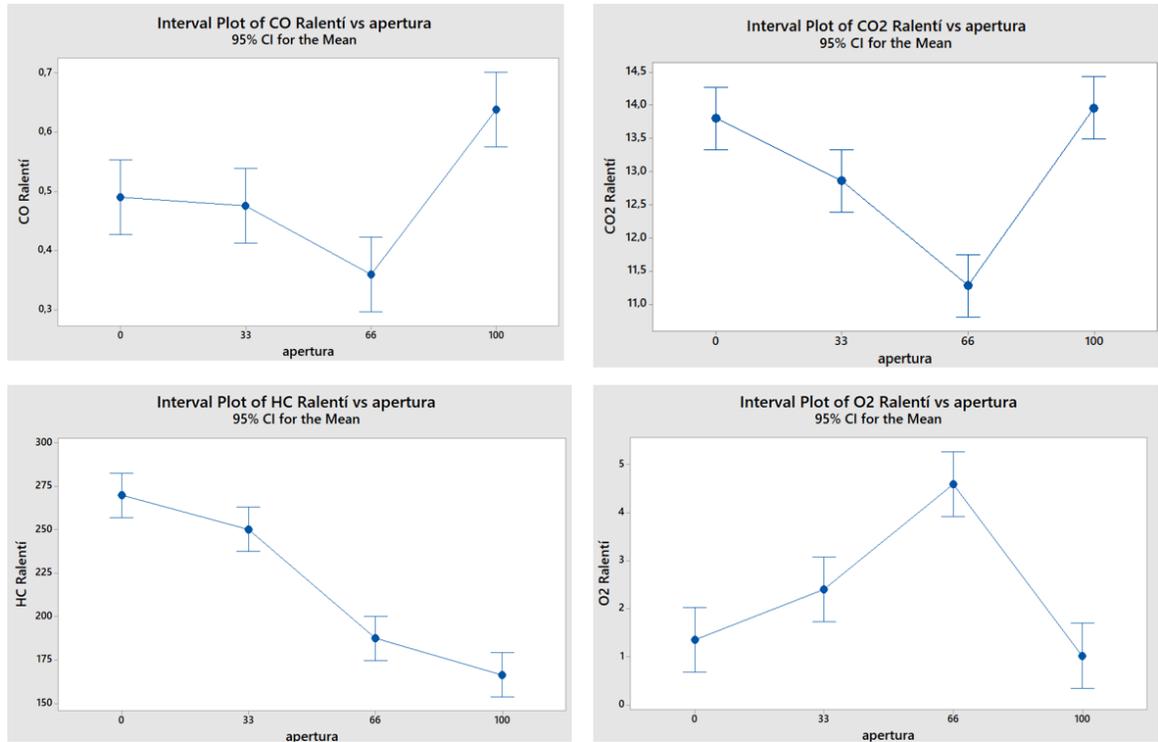
Análisis de varianza de LAMBDA

		Analysis of Variance					
		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ralentí	apertura		3	0,17435	0,058116	22,18	0,000
	Error		16	0,04192	0,002620		
	Total		19	0,21627			
		Analysis of Variance					
		Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
2100 rpm	apertura		3	0,013557	0,004519	105,40	0,000
	Error		16	0,000686	0,000043		
	Total		19	0,014243			

Fuente: Del autor

Figura 3.43

Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a ralentí

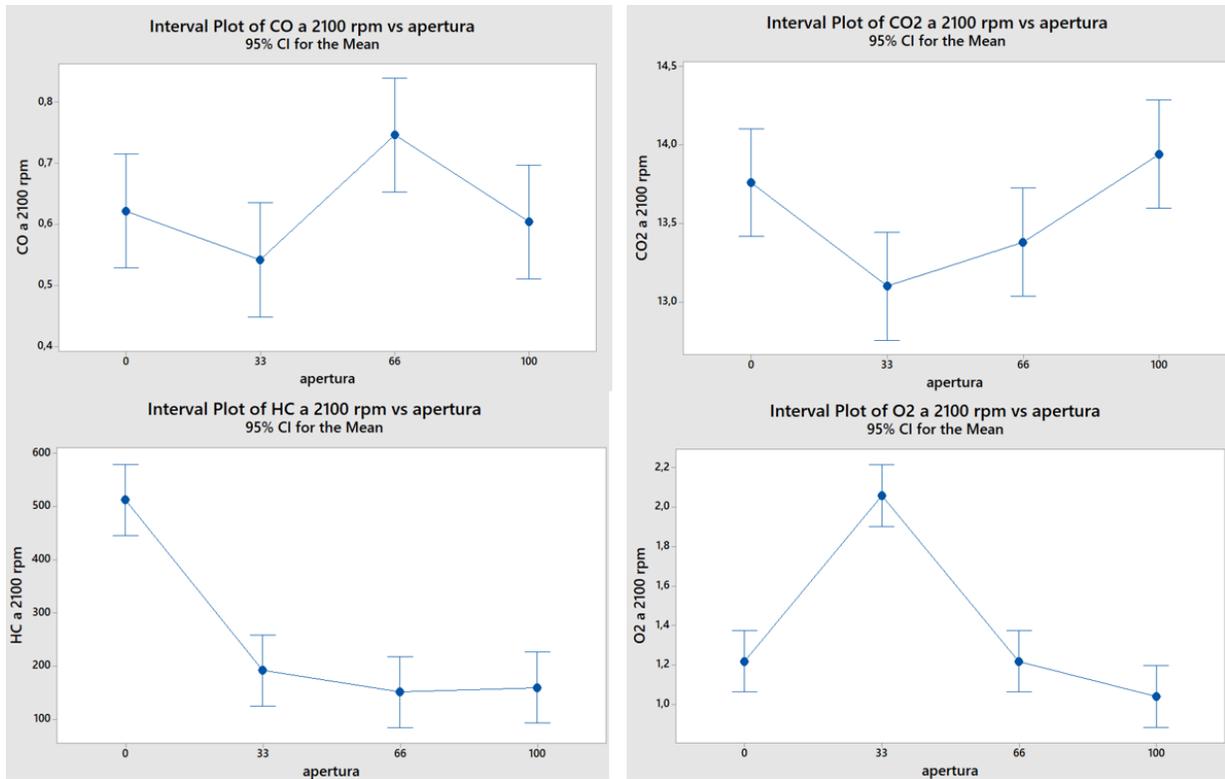


Fuente: Del autor

En la gráfica 3.43 se puede ver el comportamiento de los distintos gases a partir de la apertura de la válvula de generador de hidrógeno por lo que se puede observar que cuando se tiene 0% de la apertura de la válvula ese se encuentra en un estado original sin modificaciones, mientras que los niveles de HC y CO disminuyen drásticamente cuando se tiene una apertura del 66 % pero en la misma apertura el CO₂ disminuye significativamente por lo que se tiene una falla en la combustión para corroborar se puede observar que se tiene un valor alto en el O₂ con una mezcla pobre, o fallas en la combustión, la apertura al 66% por lo que se puede concluir que a ralentí los resultados obtenidos si se logró reducir significativamente algunos valores de emisiones con una mezcla más óptima eso al 66 % de la apertura de la válvula, por lo que si se abre al 100 % de la válvula solo se logra reducir los HC pero el CO aumenta, el CO₂ aumentan por lo que tiene una mejor eficiencia en la combustión y O₂ al estar casi cerca de 0% por lo que está en mezcla rica y se puede comparar con el CO que aumento en esa apertura.

Figura 3.44

Gráficas de intervalos de los gases producidos en la muestra a 2100 rpm



Fuente: Del autor

Cuando se encuentra la apertura de la válvula en un 0% de apertura esto es porque la muestra se encuentra en estado original sin modificaciones, pero cuando se tiene un 100 % los niveles del CO están trabajando con niveles bajos de emisiones por lo que da hidrocarburos (HC) con niveles bajos y el oxígeno (O₂) bajo, por lo que está trabajando en mezcla rica, el CO₂ está en un 14 % lo que explica que esta con una buena eficiencia de combustión porque al 100 % de la válvula del hidrógeno se tiene los mejores desempeños para reducir los niveles de emisiones contaminantes.

CONCLUSIONES

Por medio del generador de hidrógeno y su electroválvula de apertura, se pudo controlar la salida de gas mencionado. Se tomaron muestras a 2 motocicletas ya especificadas en el proceso de toma de datos, cada una con distintas aperturas de la válvula del generador, para posteriormente realizar las pruebas de emisiones contaminantes que estas producen.

La implementación de hidrógeno en los sistemas de inyección electrónica de las motocicletas, obtuvo resultados positivos en cuanto a la reducción de niveles de emisiones contaminantes, en las figuras 3.26 y 3.27 se puede observar el comportamiento de estos en la motocicleta “ROYAL ENFIELD HUNTER 350”, mientras que en las figuras 3.43 y 3.44 se puede ver el comportamiento de la motocicleta “YAMAHA XTZ, se hizo énfasis en los valores del CO, CO₂, HC, O₂ Y LAMBDA emitidos de cada una de ellas.

Con una mezcla del 25% de hidróxido de sodio con 75% de agua destilada, y a régimen de ralentí (1050 rpm en Royal Enfield y 1070 rpm en Yamaha) el CO y HC disminuyeron significativamente en algunas aperturas pero en otras se mantenían sin ningún efecto positivo para la reducción de estos y a 2100 rpm en ambas motocicletas los niveles de CO y HC disminuyeron significativamente por lo que variando la apertura si se tienen efectos positivos mientras que en algunos no tienen un resultado óptimo.

Por medio de este análisis se puede tener como resultado un breve cumplimiento con el objetivo establecido en esta investigación académica.

Por lo tanto, se concluye que el sistema ayuda a reducir emisiones y por ende un mejoramiento en su combustión con un sistema de inyección electrónica, ya que estos sistemas tienen dosificaciones con mejor eficiencia y por ello da resultados óptimos al momento de reducir las emisiones contaminantes de cada motocicleta.

RECOMENDACIONES

- Se debe de investigar sobre más del hidrógeno, porque algunos sistemas ocupan fuentes específicas tales como examinar la disponibilidad de electrolito para la elaboración del hidrógeno, su almacenamiento y modo de suministrarlo a la hora de implementar en la motocicleta.
- Al tener una mezcla ideal del hidróxido de sodio con agua destilada, se consigue una generación óptima del hidrógeno en la combustión, la cual esta es de 25% hidróxido de sodio y 75% agua destilada.
- Antes de realizar cualquier prueba y mediciones, es recomendable hacer un chequeo a la motocicleta y verificar el buen funcionamiento ya que, si no cumple lo indicado, las pruebas y mediciones estarán saliendo erróneas y por lo tanto son intentos fallidos.

BIBLIOGRAFIA

- (ARCH), A. d. (2021). Resolución N° ARCH-2021-001-RES Reglamento sustitutivo para regular la comercialización de combustibles líquidos derivados de hidrocarburos en Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador: ARCH.
- Abrirarchivos TI y tecnología.* (2 de Mayo de 2023). Sistema EFI: Inyección de combustible electrónica para vehículos: <https://abrirarchivos.info/tema/sistema-efi-inyeccion-de-combustible-electronica-para-vehiculos/>
- AEADE. (25 de Agosto de 2023). *Asociacion de empresas automotrices del ecuador.* <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2023/09/7.-Sector-en-Cifras-Resumen-Julio-2.pdf>
- Alcántara, K. S. (19 de marzo de 2019). *Un poco de todo sobre el Hidrógeno.* Revistaciencia amc: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/70_1/PDF/Hidrogeno.pdf
- Álvarez Álvarez, J. D., & Álvarez Peralta, J. L. (2023). *Transformación de un Sistema de Alimentación de Combustible con. dspace uazuay:* <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13367/1/18892.pdf>
- Contreras, W. (2021). *CONTROL DE EMISIONES - MOTORES I.* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA : https://ups.edu.ec/presencial60/pluginfile.php/172583/mod_resource/content/0/AJ_Mot1_Unidad4.2_4.3_WContre.pdf
- Crouse & Anglin. (1992).
- DOLORES RIVERA, E. J., & DOMÍNGUEZ LANDA, R. (2013). *MODELADO ANALISIS Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECANICOS.* INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12635/1/1936%202013.pdf>
- Donaire, D. L. (15 de Octubre de 2021). *Sistema de inyección electrónica: Funcionamiento y partes.* Actualidad Motor: <https://www.actualidadmotor.com/funcionamientobsico-de-la-inyeccin-elctrica/>
- Espiriturider. (2020). *Historia de la Motocicleta: Orígenes, Evolución y Tipos.* <https://espiriturider.com/historia-de-la-motocicleta-origenes-evolucion-y-tipos/>
- Ganneau, V. (2003). In The Global Automotive Industry . En J. W. Sons.. Honda's Global Local Corporation.
- Gustavo, P. D. (2015). *Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales.* INNOVA Research Journal 2017, Vol 2, No. 23-34.
- Hidrocarburífero, A. d. (2021). Reglamento sustitutivo para regular la comercialización de combustibles líquidos derivados de hidrocarburos en Ecuador. Resolución N° ARCH-2021-001-RES. Quito, Pichincha, Ecuador: ARCH.
- JORDÁN GUILLÉN, J. O., ZHIGUI LOJA, C. A., & GUZMÁN VILLAMAR, F. M. (2010). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE GAS HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UN MOTOR DE CICLO OTTO.* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- LEMA TIGRE, E. L., & VALAREZO VITE, H. V. (2022). *ANÁLISIS DE EMISIONES DE ESCAPE Y POTENCIA DE UN MOTOR CICLO OTTO DE CUATRO TIEMPOS, MEDIANTE EL SUMINISTRO DE HIDRÓGENO AL SISTEMA DE ADMISIÓN, CONTROLADO POR ARDUINO.* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

- Llanes, E., Rocha, J., Salazar, P., & Medrano, J. (2017). *Producción e impacto de biodiesel: Una Revisión*. Universidades Técnica Equinoccial - Repositorio: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261626004/html/>
- M. Calero. D. Morales. (2014). "Estudio de construcción de una moto económica a nivel nacional". UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR Quito Ecuador, Noviembre.
- MANUEALZZ. (2023). *MGT 5 Tecnología para análisis de emisiones*. <https://manualzz.com/doc/42627027/mgt-5-mdo2-lon>
- maps, G. (2023). *Google maps/Universidad Politécnica Salesiana*. <https://www.google.com/maps/place/Universidad+Politécnica+Salesiana+del+Ecuador/@-2.8973578,-78.9979152,15z/data=!4m6!3m5!1s0x91cd1826d90c7e47:0x8eb47b6b0138cb74!8m2!3d-2.8865291!4d-78.9898791!16s%2Fm%2F0cpdx8q?entry=ttu>
- Ministerio del Ambiente, A. y. (2022). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>
- MOLLABS, L. (15 de Mayo de 2022). *MOLLABS*. hoja de seguridad Agua destilada: <https://quios.com.co/wp-content/uploads/2017/07/AGUA-DESTILADA.pdf>
- Mourello, R. A. (2012). "Reparación de motocicletas". En *CESVIMAP, 5ta ed. España* (págs. 21 - 90).
- NORMALIZACIÓN, S. E. (2017). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 136 (1R) "MOTOCICLETAS"*. INEN . <https://www.ant.gob.ec/regulacion/emisiones-contaminantes-y-ruido/>
- Normativa 2203, I. (s.f.). *Instituto ecuatoriano de normalización*. <https://archive.org/details/ec.nte.2203.2000/page/n1/mode/1up>
- Normativa 2204. (2023). <https://www.ant.gob.ec/regulacion/emisiones-contaminantes-y-ruido/>
- P. Vintimilla. (2015). "Análisis de resultados de la medición de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el cantón Cuenca". Tesis de grado, UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
- Petroecuador. (2022). *Gasolina Súper. En Petroecuador, Combustibles*. <https://www.eppetroecuador.ec/combustibles/gasolina-super/>
- PROF. F. PAYRI, & PROF. J. M. DESANTES. (2011). *motores de combustión interna alternativos*. Reverté S.A.
- Remón, A. (2017). *The Effect of Swirl on Spark Assisted Compression*. LABORATORIO NACIONAL DE ENERGÍA RENOVABLE: <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/4520724/1215949.pdf>
- ROSERO AGUIRRE, L. A., & RUALES ORTEGA, R. D. (2010). *ADAPTACION DE CARBURADORES PARA MEJORAR UN 2% LA POTENCIA EN EL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS DE MOTOCICLETAS*. REPOSITORIO UTN.
- Sosa, F. J. (2015). *Estudio bibliográfico del tratamiento de gases de escape en motores de combustión interna alternativos*. Escuela Técnica superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90489/fichero/150917+TFG_completo+V48.pdf
- Suzuki, Y. (2019). The growth of the motorcycle market and development of universal design. *Journal of the Asian Design International Conference*,. <https://doi.org/162>

- Tamayo, E., Rosales, C., Guzmán, A., & Pazmiño, P. (2018). *Efecto del uso de hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna*. UNIVERSIDAD TECNICA EQUINOCCIAL.
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2005). *Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental*. Rev. salud pública.
- Tenenmpauay, R. (2015). *análisis teórico para implementar del sistema flex - fuel*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY - REPOSITORIO: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4283/1/10841.pdf>
- THERMOFISHER. (2021). *POTENCIA DEL HIDRÓGENO*. EQUIPOS Y LABORATORIO DE VOLOMBIA: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/potencial-de-hidrogeno>
- TOROCHE CRIOLLO, D. J., & AGILA MACAS, C. D. (JULIO de 2023). *PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE DEALIMENTOS UNIVERSAL MEDIANTE UN SISTEMA FLUX FUEL GASOLINA E HIDRÓGENO CONTROLADO POR ARDUINO UNA PARA HEVICULOS DE MOTOR*. dspace: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25600>
- VILDA, P. P. (2019). *UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (Uc3m)*. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/29607/TFG_Pablo_Perez_Vilda.pdf?sequence
- WILLIAM H. CROUSE, D. L. (1992). *Mecanica de motocicletas*. Barcelona.

ANEXOS

Anexo 1.

Aperturas de la válvula del generador



Anexo 2.

Pruebas Royal Enfield Hunter 350



Anexo 3.

Pruebas Yamaha XTZ 150



Anexo 4.

Generador de hidrógeno



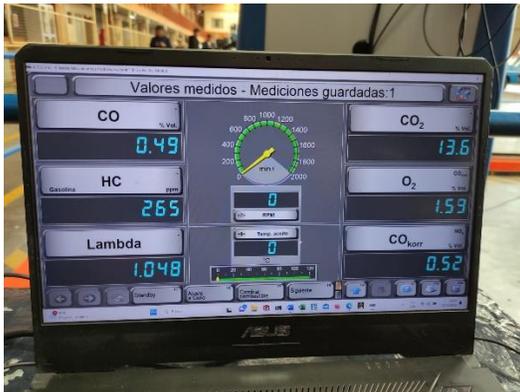
Anexo 5.

Analizador de gases para la toma de datos



Anexo 6.

Muestras realizadas (Referenciales) Yamaha XTZ 150



Anexo 7.

Muestras realizadas (Referenciales) Royal Enfield Hunter 350



