UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

MODALIDAD: INVESTIGATIVA

TEMA:

"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE FOSIL Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL".

AUTORES:

VÍCTOR ERNESTO BENÍTEZ CABRERA

JHONNY MIGUEL MOREIRA RIVERA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. CARLOS MOREIRA MENDOZA

PORTOVIEJO - MANABÍ – ECUADOR

2016

DEDICATORIA.

Este logro de mi vida, no hubiera sido posible sin las bendiciones de mis padres Salvador y Nansi por permitirme sentir esta gran felicidad.

A mi madre Nansi por darme su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha hecho ser una persona de bien, pero más que nada por su amor que me da día a día. A mi padre Salvador por los ejemplos de perseverancias y constancias que lo caracterizan y que me han infundido siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor incondicional.

A mis hermanos: Alexandra, Salvador, José y Jimmy, por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi compañero de trabajo de titulación Víctor Benítez por su apoyo, paciencia, optimismo y constancia.

A mis compañeros/as y amigos que en su mayoría estuvieron en las buenas y en las malas y sé que podré contar con ellos. Y a todos aquellos que me brindaron su ayuda para realizar este trabajo de titulación.

¡Gracias a todos ustedes!

Jhonny Moreira

DEDICATORIA

Este logro de mi vida, no hubiera sido posible sin las bendiciones de mis padres Víctor y Lola por permitirme sentir esta gran felicidad.

A mi madre Lola por darme su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha hecho ser una persona de bien, pero más que nada por su amor que me da día a día. A mi padre Víctor por los ejemplos de perseverancias y constancias que lo caracterizan y que me han infundido siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanos: Miguel y Sara, por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi compañero de trabajo de titulación Jhonny Moreira por su apoyo, paciencia, optimismo y constancia.

A mis compañeros/as y amigos que en su mayoría estuvieron en las buenas y en las malas y sé que podré contar con ellos. Y a todos aquellos que me brindaron su ayuda para realizar este trabajo de titulación.

¡Gracias a todos ustedes!

Víctor Benítez

AGRADECIMIENTO

Nuestros más grandes agradecimientos a la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí la cual no dio la gran oportunidad de llegar a nuestras metas y objetivos de realizarnos como profesionales capacitados en ingeniería química y de manera muy especial a la Carrera de ingeniería química.

A todos los catedráticos por sus sabias enseñanzas impartidas día a día, a ellos muchas gracias, por siempre perduraran sus recuerdos en nuestros corazones.

Agradecimiento muy especial a nuestro director de trabajo de titulación Ing. Carlos Moreira Mendoza por su guía y apoyo con toda su preciada experiencia en la elaboración de este trabajo.

A nuestros compañeros y amigos que siempre brindaron su apoyo en todo momento.

Muchas gracias a todos ellos por su aporte, por apoyarnos con sus conocimientos y por forjar en nosotros personas que aporten a la sociedad.

Muchas gracias a nuestra alma mater.

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN

Yo, Ingeniero Carlos Moreira Mendoza, catedrático de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, para los fines legales.

CERTIFICO

Que el trabajo de titulación titulado **"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL"** fue desarrollado bajo mi dirección y control por los señores **BENITEZ CABRERA VICTOR ERNESTO Y MOREIRA RIVERA JHONNY MIGUEL,** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Químico**, cumpliendo con todos los requisitos del nuevo Reglamento para la Elaboración de Trabajo de titulación que exige la Universidad, alcanzado mediante el esfuerzo, dedicación y perseverancia demostrado por los autores de este trabajo.

Ing. Carlos Moreira Mendoza
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACION

CERTIFICACIÓN DEL REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN

Yo, Ingeniera Virginia Sánchez Mendoza, catedrática de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, para los fines legales.

CERTIFICO

Que el trabajo de titulación titulado **"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL"** realizado por los señores **BENITEZ CABRERA VICTOR ERNESTO Y MOREIRA RIVERA JHONNY MIGUEL,** fue revisado por mi persona, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Químico**, cumpliendo con todos los requisitos del nuevo Reglamento para la Elaboración de Trabajo de titulación que exige la Universidad, alcanzado mediante el esfuerzo, dedicación y perseverancia demostrado por los autores de este trabajo.

Ing. Virginia Sánchez Mendoza

REVISOR DE TRABAJO DE TITULACION

UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS FIICAS Y QUIMICAS

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TEMA:

"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL"

TRABAJO DE TITULACIÓN

Sometido a consideración de la comisión de revisión y evaluación, legalizada por el honorable consejo directivo como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERO QUIMICO

APROBADA POR EL TRIBUNAL

DECLARACIÓN SOBRE DERECHO DEL AUTOR

Los Autores, BENITEZ CABRERA VICTOR ERNESTO Y MOREIRA RIVERA JHONNY MIGUEL, egresados de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí

DECLARAMOS QUE:

Las ideas expuestas en el presente trabajo titulado: **"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL"**, son absoluta responsabilidad de los autores.

BENITEZ CABRERA VICTOR
AUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

MOREIRA RIVERA JHONNY
AUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA. ..... *I*

DEDICATORIA ..... *II*

AGRADECIMIENTO ..... *III*

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN ..... *IV*

CERTIFICACIÓN DEL REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... *V*

APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL ..... *VI*

DECLARACIÓN SOBRE DERECHO DEL AUTOR ..... *VII*

ÍNDICE DE CONTENIDO ..... *VIII*

INDICE DE TABLAS ..... *XI*

INDICE DE FIGURAS ..... *XII*

RESUMEN ..... *XIII*

SUMMARY ..... *XIV*

1. TEMA: *1*

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. *2*

2.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA **2**

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA **2**

2.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN. **3**

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO *4*

3.1. ANTECEDENTES **4**

3.2. JUSTIFICACIÓN **4**

3.3. Combustión **5**

3.4. Motor de combustión interna. **5**

3.5. El ciclo de Otto **7**

3.6. El agua. **8**

3.6.1. La Química del Agua. 8

3.7. Electrólisis de agua **10**

3.7.1. Principio de la Electrólisis del agua 11

3.7.2. Principales reacciones en la electrólisis del agua. 12

3.7.3. Balance de masa de una celda de electrólisis de agua 12

3.8. Hidrógeno **13**

3.8.1. Usos del hidrógeno. 13

3.8.2. Metodologías de producción del hidrógeno 13

3.8.3. Generalidades del hidrógeno 14

3.9. Inflamabilidad 15

3.10. Punto de inflamación (o "flashpoint") 15

3.11. Temperatura de autoencendido 16

3.12. Número de octano 16

3.13. Velocidad de quemado 17

3.14. Procesos de emisión de los vehículos propulsados por motor de combustión interna. 17

3.15. Emisiones evaporativas 18

3.16. Emisiones por el tubo de escape 19

3.17. GASES DE TUBO DE ESCAPE EMITIDOS POR MOTORES DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA. 19

3.17.1. Monóxido de carbono 19
3.17.2. Dióxido de carbono 20
3.17.3. Óxidos de nitrógeno 21
3.17.4. Oxígeno 23
3.17.5. Metano 24

3.18. PARQUE AUTOMOTOR ECUATORIANO 25

4. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DE ESTUDIO *26*

5. ELABORACION DE HIPOTESIS Y DEFINICION DE VARIABLES *27*

5.1. HIPOTESIS 27

5.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES 27

5.2.1. Variable independiente 27
5.2.2. Variable dependiente 27

5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES 28

6. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN *30*

6.1. CAMPO DE ACCIÓN: 30

6.2. OBJETIVO GENERAL 30

6.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 30

6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL 31

6.5. TÉCNICAS 31

6.6. MÉTODOS 31

7. PROCESO EXPERIMENTAL REALIZADO *32*

7.1. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE VEHICULO A INSTALAR EL SISTEMA. 32

7.2. DISEÑO E INSTALACION DEL SISTEMA EN EL VEHICULO SELECCIONADO 32

7.2.1. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA 32

7.3. PRUEBAS DE EFICIENCIA Y DE EMISIONES **32**
7.3.1. ANALISIS DE EFICIENCIA 32
7.3.2. ANALISIS DE EMISIONES 33
7.4. TOMA DE DATOS **33**
8. RECOLECCION DE LOS DATOS ***34***
8.1. EVALUACION DE EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE EN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA **34**
8.2. DISEÑO E INSTALACION DE REACTOR DE PRODUCCION DE HIDRÓGENO A PARTIR DE ELECTRÓLISIS DEL AGUA **35**
8.2.1. Instalación del reactor de producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua en el vehículo seleccionado. ***36***
8.3. EVALUACION DE EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE FOSIL EN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA CON EL SISTEMA DE APLICACIÓN DE HIDRÓGENO ENCENDIDO **37**
8.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCION DE CO2 EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA **38**
9. ANÁLISIS DE LOS DATOS ***40***
9.1. Comparación de los resultados obtenidos en prueba de consumo de combustible (gasolina). **40**
9.2. Comparación de los resultados obtenidos en análisis de emisiones de gases de tubo de escape. **43**
10. ELABORACION DEL REPORTE DE LOS RESULTADOS ***47***
10.1. DISCUSIÓN **47**
10.2. CONCLUSIONES **47**
10.3. RECOMENDACIONES **49**
11. PRESUPUESTO ***50***
TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO QUIMICO. ***50***
12. CRONOGRAMA ***51***
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ***52***
14. ANEXOS ***55***

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Conversiones del balance de masa 12
Tabla 2: Determinación de concentración de hidrógeno y oxigeno de gas de salida de la celda 13
Tabla 3: Gases emitidos por los automóviles. 19
Tabla 4: Resultado de la evaluación de eficiencia de combustible en motor de combustión interna. 37
Tabla 5: Resultado de la evaluación de eficiencia de combustible en motor de combustión interna con el sistema de aplicación de hidrogeno encendido 37
Tabla 6: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna con el sistema encendido y apagado (larga distancia) 38
Tabla 7: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna con el sistema encendido y apagado (corta distancia) 38
Tabla 8: Resultados de los análisis de gases con el sistema de hidrógeno apagado 39
Tabla 9: Resultados de los análisis de gases con el sistema de hidrógeno encendido 39
Tabla 10: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna a gasolina con el sistema encendido y apagado (larga distancia) 40
Tabla 11: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna a gasolina con el sistema encendido y apagado (corta distancia) 40
Tabla 12: Comparación de los gases con el sistema encendido y apagado 43
Tabla 13: Porcentajes de reducción de emisiones gaseosas con el sistema de aplicación de hidrógeno. 46
Tabla 14: Porcentajes de aumento de emisiones gaseosas con el sistema de aplicación de hidrógeno. 46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Motor de combustión interna 6
Figura 2: Enlaces de hidrógeno en moléculas de agua 9
Figura 3: Estructura de moléculas de NaCl 9
Figura 4: NaCl en agua. 9
Figura 5: Instalación comercial de producción de H2 (150 m3/h) mediante electrólisis de agua 11
Figura 6: Esquema básico de un sistema de electrólisis de agua 11
Figura 7: Planta moderna de reformado de gas natural con vapor de agua. 15
Figura 8: Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automóviles. 18
Figura 9: Diseño del reactor de producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua. . 35

RESUMEN

La mayoría de los vehículos del parque automotor ecuatoriano poseen motor de combustión interna a gasolina, cada año incrementan en número la cantidad matriculados de estos vehículos, teniendo cada vez un mayor consumo de gasolina, se tiene una perdida grande de este combustible debido a la baja eficiencia dentro de este tipo de motor.

El presente trabajo de investigación fue realizado con el fin de determinar el impacto en el consumo de gasolina y en la contaminación ambiental de un sistema de aplicación de hidrógeno obtenido mediante electrólisis a un motor de combustión interna a gasolina y se conoció la reducción del consumo de gasolina y gases contaminantes del tubo de escape en porcentajes.

El hidrógeno se utiliza en diferentes campos como en la síntesis de amoniaco, refinación de petróleo, obtención de grasas sólidas, entre otros. En este caso se lo uso como combustible en paralelo con la gasolina para el aumento de eficiencia de este último dentro del motor de combustión de interna y así también se minimizó las emisiones contaminantes al medio ambiente.

En el cumplimiento de los objetivos planteados, la aplicación de hidrógeno mediante un sistema de electrólisis de agua a motores de combustión interna a gasolina es una opción factible para el ahorro del combustible fósil el cual puede ser usado a nivel nacional y mundial para ayudar en la economía; además que minimiza las emisiones contaminantes al medio ambiente por lo cual es catalogado como un combustible limpio.

SUMMARY

Most of vehicles in Ecuador have gasoline internal combustion engines, each year the number of these vehicles increases, each time taking a greater consumption of gasoline; it has a large loss of this fuel due to low efficiency in this type of engines.

This research was conducted in order to determine the impact on gasoline consumption and pollution of a hydrogen application system obtained by electrolysis to a gasoline internal combustion engine and reducing consumption. Knowing both gasoline and greenhouse gases from tailpipe in percentages.

Hydrogen is used in different fields such as synthesis of ammonia, oil refining, production of solid fats, and so on. In this case we use it as a fuel in parallel with gasoline to increase efficiency to increase internal combustion in engines, and so, emissions are also minimized into the environment.

Achieving these objectives, the application of hydrogen through a system of water electrolysis into gasoline internal combustion engines is a feasible option for saving fossil fuels which can be used both at national and worldwide levels to help in economy; besides of minimizing emissions to the environment, that's why it is considered as a clean fuel.

1. TEMA:

"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL".

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Los motores de combustión interna a gasolina tienen una menor eficiencia en cuanto a la utilización de este combustible fósil esto debido a que tan solo se aprovecha del 10 a 30% de este producto lo que quiere decir que solo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.

Según Cevallos (2015) con referencia al balance energético elaborado por el ministerio coordinador de sectores estratégicos (MICSE) muestra que el sistema de transporte es el sector de más consumo de combustibles en el Ecuador, en el 2012 la petición total del combustible fue de 57 millones de barriles que son de petróleo en donde el sector de transporte fue responsable del 77% de su consumo. Ya dentro del sector del transporte, el transporte terrestre es de gran importancia ya que consume más del 80% de la demanda total en este sector.

Según INEC (2014), se matricularon en el país 1.752.712 vehículos en el Ecuador; debido a la baja eficiencia ya mencionada de la gasolina en los motores de combustión interna no se está aprovechando gran parte de la energía producida por este combustible lo cual ocasiona una emisión de gases contaminantes excesivos al medio ambiente y perjuicio económico al consumidor.

Los vehículos propulsados por motor de combustión interna a gasolina son una de las principales fuentes de contaminación atmosférica con las emisiones de contaminantes que son CO_2, CO, NOx, SO_2, O_3, hidrocarburos y partículas.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué incidencia tendría la instalación de un sistema de aplicación de hidrógeno a un motor de combustión interna en cuanto al ahorro de combustible fósil y la disminución de emisiones contaminantes al medio ambiente?

2.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

2.3.1. ESPACIAL

El presente se realizó en un taller de especialidad de mantenimiento automotriz, ubicado en el cantón Rocafuerte, y en la Universidad Técnica de Manabí.

2.3.2. TEMPORAL

Para efectos de recabar información para el desarrollo del trabajo de titulación se requirió datos desde el año 2013 hasta diciembre 2015.

Lo cual se realizó una vez aceptado el anteproyecto en el transcurso de Diciembre de 2015 y Marzo de 2016.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Se sabe que la electrolisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. Se coloca una corriente eléctrica continua mediante dos de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergida en la disolución. El electrodo acoplado al polo positivo se conoce como ánodo, y el acoplado al negativo como cátodo. (Rivas 2013)

Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los aniones, son absorbidos y se trasladan hacia el ánodo (e^+), mientras que los cationes, son atraídos y se transportan hacia el cátodo (e^-). (Rivas 2013)

Existe una empresa llamada Hidrocar Ecológico que emplea este sistema de generación de hidrógeno que inyecta a un motor o caldera un flujo continuo de hidrógeno gas transformando en poco tiempo un motor o caldera en un sistema entre un 70-95% menos contaminante y más eficiente en referencia al consumo energía ya que, en función de los factores condicionantes, puede llegar ahorrar hasta un 50% del consumo normal de combustible. (HIDROCAR ECOLÓGICO 2015)

El nanogas que se produce se suministra en la admisión de aire a la cámara de combustión para que reaccione con el combustible. (HIDROCAR ECOLÓGICO 2015)

El sistema generador de hidrógeno utiliza como fuente de combustible agua, ya que el nanogas se produce bajo demanda por electrolisis a partir de agua. Únicamente habrá que llenar agua destilada cada cierto tiempo. (HIDROCAR ECOLÓGICO 2015)

Como otro antecedente Quezada Romero y Torres Gualan (2014) realizaron el montaje de un sistema de producción de hidrógeno por celda seca en varios tipos de vehículos con motores de combustión interna llegando a la conclusión que con la instalación de este sistema en el motor si existe disminución de gases contaminantes que emanan por el escape estos vehículos.

3.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad actual de disminuir el nivel de contaminantes presentes en la atmósfera, ya que son los principales causantes de problemas como el efecto de invernadero, la variación de los regímenes climatológicos , entre otros que están perjudicando seriamente a la humanidad, surge la necesidad de buscar nuevas soluciones que contribuyan al mejoramiento de estos problemas sin recurrir a limitaciones en la producción de energía, ya que esto implicaría un retraso tanto en el desarrollo económico, cultural, tecnológico como las contribuciones investigativas. (Universidad de antioquia 2010)

Teniendo en cuenta las contribuciones e intereses de las energías alternativas como solución energética que llegan más allá de la disminución de costos únicamente, se presenta además que el mayor uso que estas brindan, la oportunidad de reducir la vinculación con los combustibles fósiles como también de reducir la contaminación ambiental, debido a que causa un efecto notablemente menor sobre el medio ambiente.(Universidad de antioquia 2010)

De lo mencionado anteriormente se determina que una buena alternativa es cambiar de base energética usando un combustible con el cual se podría eliminar o reducir significativamente los gases que contaminan al ambiente y esto es lo que se alcanzaría con la utilización de un sistema de energía alterna.

3.3. Combustión

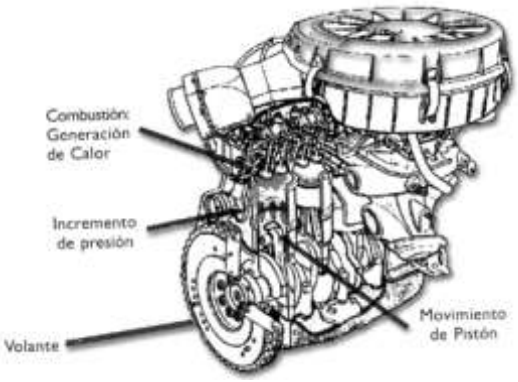
La reacción de combustión se fundamenta en la reacción química exotérmica de una sustancia o una mezcla de ellas, llamada combustible, con el oxígeno. Como resultado de la reacción de combustión se tiene la formación de una llama. Dicha llama es una aglomeración gaseosa incandescente que expone luz y calor. (Rivera 2013)

Las reacciones químicas implicadas en la combustión al contrario de lo que sucede en la oxidación no suelen, producirse de forma espontánea. Una huida de gas puede permanecer un tiempo considerable sin que se dé una reacción alguna, pues es necesario un iniciador, como puede ser el trato con una flama o chispa ocasional, para que la combustión de comienzo. (Rivera 2013)

3.4. Motor de combustión interna.

Un motor de combustión interna fundamenta su trabajo, como su nombre lo indica, es el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una zona cerrada o cilindro, con el objetivo de aumentar la presión y formar con suficiente potencia la dinámica lineal alternativa del pistón. (Arango 2010)

Figura 1: Motor de combustión interna



Fuente: http://www.banrepcultural.org/node/92121
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

Este movimiento es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor o cigüeñal, donde se convierte en movimiento rotativo, el cual se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia y finalmente a las ruedas, con la potencia respectiva para desplazar el vehículo a la velocidad deseada y con la carga que se necesite transportar. (Arango 2010)

Mediante el proceso de la combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformada primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética, la que al mismo tiempo se convierte en trabajo adaptable a las ruedas de propulsión; la parte restante se difumina en los sistemas de refrigeración y de escape, en el accionamiento de accesorios y en mermas por fricción. (Arango 2010)

En este tipo de motor es preciso preparar la mezcla de aire y combustible convenientemente dosificada, lo cual se realizaba antes en el carburador y en la actualidad con los inyectores en los sistemas con control electrónico. Posteriormente a

la introducción de la mezcla en el cilindro, se debe inducir a la combustión en la cámara del cilindro por medio de una chispa que la proporciona el sistema de encendido. (Arango 2010)

3.5. El ciclo de Otto

En el ciclo de Otto, el fluido de trabajo es una mezcla de aire y gasolina que experimenta una serie de transformaciones (seis etapas, a pesar que el trabajo realizado en dos de ellas se elimina) en la parte interna del cilindro provisto de un pistón. (Quispe Gutierrez 2015)

El proceso consta de seis etapas:

- **Admisión**: la válvula de admisión se abre, permitiendo la entrada en el cilindro de la mezcla de aire y gasolina. Al culminar la primera etapa, la válvula de admisión se tapa. El pistón se transporta hasta el llamado punto muerto inferior (PMI).
- **Compresión adiabática**: la unión de aire y gasolina se comprime sin pasar calor con el exterior. La transformación es denominada isentrópica. La posición que alcanza el pistón se llama punto muerto superior (PMS). El trabajo ejecutado por la mezcla en esta etapa es negativo, ya que ésta se comprime.
- **Explosión**: La bujía se remueve, brinca una chispa y la mezcla se enciende. Durante esta transformación la presión comienza a aumentar a volumen constante.
- **Expansión adiabática**: La mezcla se difunde adiabáticamente. Durante este transcurso, la energía química expulsada durante la combustión se convierte en energía mecánica, ya que el trabajo durante esta transformación es positivo.
- **Enfriamiento isócoro**: En el transcurso de esta etapa la presión cae y la mezcla se enfría expulsando calor al exterior.
- **Escape**: La válvula de salida se abre, expulsando al exterior los productos de la combustión. Al culminar esta etapa el proceso torna a comenzar. (Quispe Gutierrez 2015)

3.6. El agua.

Del latín *aqua*, el agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Se conoce que es un líquido sin olor, sin sabor y sin color, aunque también puede encontrarse en diferentes estados como son: en estado sólido o en estado gaseoso. (Gutierrez 2013)

El agua es el líquido que se puede encontrar con mayor abundancia en la superficie terrestre (envuelve aproximadamente el 71% de la corteza de la Tierra). Representa los océanos, los ríos y las lluvias, además de ser parte primordial de todos los organismos activos. El movimiento del agua en los ecosistemas se produce a través de un ciclo que consiste en la evaporación o transpiración, la precipitación y el traslado hacia el mar. (Gutierrez 2013)

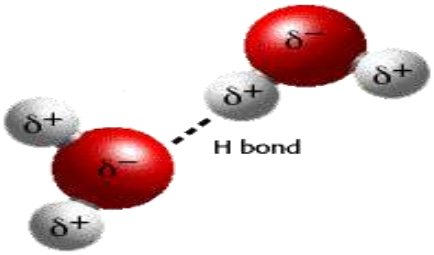
3.6.1. La Química del Agua.

Por un átomo de hidrógeno se halla unido covalentemente al oxígeno por medio de un par de electrones de enlace. El oxígeno posee además dos pares de electrones no enlazantes. De esta manera existen cuatro pares de electrones rodeando al átomo de oxígeno: dos pares formando parte de los enlaces covalentes con los átomos de hidrógeno y dos pares no compartidos en el lado opuesto. El oxígeno es un átomo electronegativo de los electrones, a diferencia del hidrógeno. (Universidad de Arizona 2005)

El agua es una molécula "polar"; es decir, existe en ella una distribución irregular de la densidad electrónica. Por esta razón, el agua contiene una carga parcial negativa (Delta-) junto al átomo de oxígeno y una carga parcial positiva (Delta+) junto de los átomos de hidrógeno. (Universidad de Arizona 2005)

Una atracción electrostática entre la carga parcial positiva cercana a los átomos de hidrógeno y la carga parcial negativa cercana al oxígeno da parte a un enlace por puente de hidrógeno, como se modela en la figura. (Universidad de Arizona 2005)

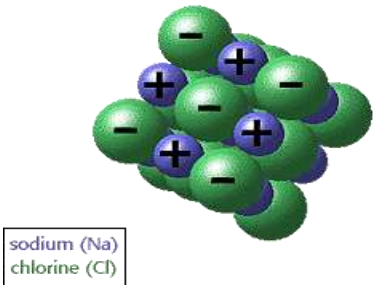
Figura 2: ***Enlaces de hidrógeno en moléculas de agua***



Fuente: http://www.biologia.arizona.edu
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

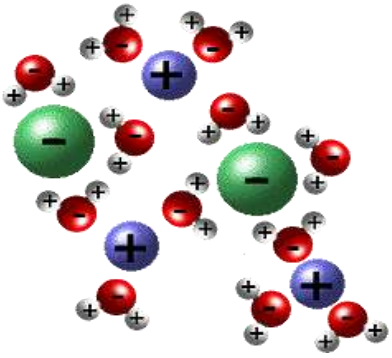
La habilidad de los iones y otras moléculas para disolverse en el agua es debida a la polaridad de ésta última. Por ejemplo, en la imagen inferior se muestra el cloruro sódico en su forma cristalina y disuelta en agua. (Universidad de Arizona 2005)

Figura 3: Estructura de moléculas de NaCl



Fuente: http://www.biologia.arizona.edu
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

Figura 4: NaCl en agua.



Fuente: http://www.biologia.arizona.edu
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

Muchas otras propiedades únicas del agua son debidas a los puentes de hidrógeno. Por ejemplo, el hielo siempre está en la superficie porque los puentes de hidrógeno mantienen a las moléculas de agua más apartadas en el agua sólida a diferencia del agua líquida, donde se encuentran un enlace de hidrógeno menos por cada molécula. Estas propiedades las hacen únicas, aportando un alto calor de vaporización, una elevada tensión superficial, un calor específico alto y el hecho de ser casi que lo convierte en el disolvente universal, también son debidas a la polaridad del agua y a su poder de formar enlaces por puentes de hidrógeno. **(Universidad de Arizona 2005)**

Ácidos y Bases, Ionización del Agua

$$H_2O \xrightarrow{\text{Limited}} H^+ + OH^-$$

Los ácidos ceden H+.

Las bases aceptan H+.

Se define el pH de una disolución como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. **(Universidad de Arizona 2005)**

A pH 7.0 la disolución se denomina neutra.

A un pH menor (1-6) la disolución se denomina ácida.

A un pH mayor (8-14) la disolución se denomina básica.

3.7. Electrólisis de agua

Cuando no son elevados los números requeridos de hidrógeno, se puede obtener hidrógeno mediante electrólisis de agua. La reacción electrolítica se ejecuta en medio alcalino debido ya que de esta manera aumenta la conductividad eléctrica. El hidrógeno generado en el cátodo se debe purificar ya que contiene impurezas de oxígeno y un cierto nivel de humedad. El flujo de hidrógeno se seca por medio de una esponja y las impurezas de oxígeno se eliminan con un convertidor de Oxigeno. En otra parte, en el ánodo del electrolizador se produce oxígeno, cuyo volumen es la mitad del volumen de hidrógeno, tal como corresponde a la composición de la molécula de agua. **(G. Fierro, Jose Luis; 2011)**

La mayor parte de los electrolizadores tienen la forma de tanque con los electrodos en paralelo. El calor expulsado en el proceso se elimina pasando agua alrededor de las celdas. Cabe señalar que el hidrógeno producido por electrólisis es de teóricamente de 4.9 a 5.6 kWh por cada metro cubico de hidrógeno que se produce, lo que resulta más caro que el hidrógeno obtenido por reformado del gas natural. **(G. Fierro, Jose Luis; 2011)**

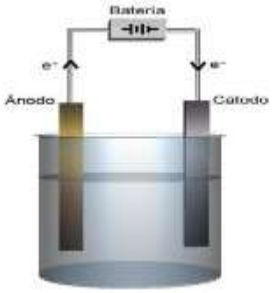
Figura 5: *Instalación comercial de producción de H2 (150 m3/h) mediante electrólisis de agua*

Fuente: Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC)
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

3.7.1. Principio de la Electrólisis del agua

Una fuente de alimentación eléctrica está conectada a un par de electrodos, o un par de placas (por lo general hechas de acero inoxidable o monel) que se colocan en el agua. En una celda diseñada apropiadamente, el hidrógeno surge en el cátodo (el electrodo con carga negativa, donde los electrones entran en el agua), y el oxígeno surgirá en el ánodo (el electrodo con carga positiva). (Gonzalez 2010)

Figura 6: *Esquema básico de un sistema de electrólisis de agua*



Fuente: http://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/electrolisis-del-agua
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

3.7.2. Principales reacciones en la electrólisis del agua.

Se carga negativamente el cátodo en el agua, una disminución de la reacción se lleva a cabo, con los electrones desde el cátodo está dando a los cationes de hidrógeno para generar gas hidrógeno

Disminución en el cátodo: 2 H + (aq) + 2e – → H 2 (g)

En el ánodo cargado positivamente, una oxidación genera la reacción, la producción de gases de oxígeno y dando electrones hacia el ánodo para completar el circuito (Gonzalez 2010):

Ánodo (oxidación): H 2 O (l) → 1/2O 2 (g) + 2 H + (aq) + 4e –

Las reacciones en electrólisis con electrolito ácido son:

Ánodo (oxidación): H_2O (l) → $1/2O_2$ (g) + 2H +$2e^-$

Cátodo (reducción): 2 H + $2e^-$ → H_2 (g)

Total: H_2O (l) +2e + → $1/2O_2$ (g) + H_2 (g)

(Aguer Hortal y Miranda Barrera 2012)

3.7.3. Balance de masa de una celda de electrólisis de agua

Base de cálculo = 1 litro de agua

Tabla 1: *Conversiones del balance de masa*

Cálculos de conversión para un litro de agua				
Masa (kg)	Masa (g)	Volumen (litros)	Peso molecular (g/moles)	Moles
1	1000	1	18	55,56

Fuente: Microsoft Excel
Elaborado por: Víctor Benítez Cabrera - Moreira Rivera Jhonny (2016)

Como: H_2O (l) +2e + → $1/2O_2$ (g) + H_2 (g)

Entonces: $(55{,}56\ moles_{H2O})\left(\frac{1moles_{H2}}{1moles_{H2O}}\right) = 55{,}56\ moles_{H2}$

$$(55{,}56\ \ moles_{H2O})\left(\frac{1/2moles_{O2}}{1moles_{H2O}}\right) = 27{,}78\ moles_{O2}$$

Tabla 2: Determinación de concentración de hidrógeno y oxígeno en gas de salida de la celda

Cálculos de masa y volumen de gases producidos por electrólisis						
Gases	Moles	Peso molecular (g/mol)	Masa (g)	Densidad (g/l)	Volumen (litros)	Concentración (%vol.)
Hidrógeno	55,56	2	111,12	0,0899	1236,0	67
Oxigeno	27,78	32	888,96	1,43	621,7	33

Fuente: Microsoft Excel
Elaborado por: Víctor Benítez Cabrera - Moreira Rivera Jhonny (2016)

3.8. Hidrógeno

Primer elemento de la tabla periódica. En condiciones ambientales es un gas sin olor, sabor ni color está compuesto de moléculas diatómicas, H_2. El átomo de hidrógeno, tiene un símbolo H, tiene un núcleo cargado positivamente y solo un electrón. Tiene número atómico 1 y peso atómico de 1.00797, Es uno de los constituyentes primordiales del agua y de toda la materia orgánica, y está distribuido en la totalidad de la Tierra y todo el universo. (lenntech 2009)

3.8.1. Usos del hidrógeno.

El cargo primordial del hidrógeno es en la síntesis del amoniaco. La utilización del hidrogeno gas está creciendo a gran velocidad en las operaciones de refinación del petróleo, como el rompimiento por hidrógeno llamado hydrocracking, y en el tratamiento con hidrógeno para separar azufre. También se aprovecha en la fabricación de productos químicos orgánicos. Magnas cantidades de hidrógeno son empleadas como combustible de cohetes, combinados con oxígeno o flúor, y como un propulsor de cohetes impulsados por energía nuclear. (lenntech 2009)

3.8.2. Metodologías de producción del hidrógeno

Al igual que la electricidad, el hidrógeno es un transportador excelente de energía, ya que puede producirse a partir de métodos diferente de precursores, tales como gas natural, carbón, agua y energías renovables. El uso del hidrógeno en las celdas de combustible, particularmente en el sector del transporte,

permitirá en el futuro hallan diferentes suministro energético, aprovechar los recursos domésticos y disminuir la dependencia de la importación de petróleo. (G. Fierro, Jose Luis; 2011)

3.8.3. Generalidades del hidrógeno

El hidrógeno se supone como la energía más seductora para el futuro próximo debido a que su combustión no genera contaminante. El hidrógeno, cuando se combina con el oxígeno del aire, expulsa la energía química contenida en el enlace hidrógeno- hidrógeno, generando solamente agua en estado de vapor como producto de la combustión. Puede almacenarse como gas a presión y como líquido o distribuirse mediante gasoductos, por lo que se piensa que puede suplir al gas natural a medio-largo plazo. Puesto que no se generan gases de efecto invernadero durante su combustión, el hidrógeno brinda un gran potencial para disminuir las generaciones de CO_2 que se generan durante la combustión de sus precursores de origen fósil. **(G. Fierro, Jose Luis; 2011)**

El hidrógeno se considera como un excelente combustible, ya que no genera gases de efecto invernadero en el proceso de combustión. En celdas de combustible es muy interesante. Estos dispositivos transforman la energía química contenida en el enlace hidrógeno-hidrógeno en energía eléctrica mediante un proceso que no está sujeto al ciclo de Carnot. Por esta razón, la eficiencia energética resulta de superior a la de un motor térmico. Conforme a estos argumentos, no hay duda de la calidad que debe desempeñar el hidrógeno en los esquemas energéticos de los países de gran potencia en una escala temporal de medio y largo plazo. **(G. Fierro, Jose Luis; 2011)**

La generación de hidrógeno a gran escala no solo aliviará la obediencia del petróleo sino que también disminuirá la contaminación ambiental cuando se junten las celdas de combustible tanto en automoción como en aplicaciones estacionarias. **(G. Fierro, Jose Luis; 2011)**

Figura 7: *Planta moderna de reformado de gas natural con vapor de agua.*

Fuente: Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC)
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

3.9. Inflamabilidad.

La capacidad para empezar la combustión provocada por el ascenso local de la temperatura. Este fenómeno ocurre en la combustión al momento que se alcanza la respectiva temperatura de inflamación. **(Ministerio del medio ambiente chile 2012)**

Según el Ministerio del medio ambiente chile (2012), Una sustancia tendrá la característica de inflamabilidad si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

a) Es líquido y presenta un punto de inflamación inferior a 61ºC en ensayos de copa cerrada o no superior a 65,6 ºC en ensayos de copa abierta. No incluyéndose en esta definición las soluciones acuosas con una concentración en volumen de alcohol inferior o igual al 24%.

b) No es líquido y es capaz de inducir, bajo condiciones normales de presión y temperatura, fuego por fricción, por absorción de humedad o cambios químicos imprevistos y, cuando se inflama, lo hace en forma tan severa y resistente que ocasiona situaciones de peligro.

c) Es una sustancia oxidante, como cloratos, permanganatos, peróxidos inorgánicos o nitratos, que genera oxígeno tan rápido como para ocasionar la combustión de materia orgánica. (Ministerio del medio ambiente chile 2012)

3.10. Punto de inflamación (o “flashpoint”)

La cualidad que describe la facilidad de evaporar los combustibles es su punto de inflamación o flashpoint. El cual se define como la temperatura mínima a la cual el

combustible desprende vapores inflamables suficientes a la presión atmosférica, es decir, que arden al entrar en contacto con una fuente de ignición. (Aldás Acosta y Encalada Terán 2010)

Si la temperatura del combustible se encuentra por debajo de su punto de inflamación, no será capaz de producir la cantidad suficiente de vapores para quemarse, puesto que su proceso de evaporación será demasiado lento. Siempre que un combustible se encuentre en ó por encima de su punto de inflamación, los vapores que desprende estarán presentes. (Aldás Acosta y Encalada Terán 2010)

No debe confundirse el punto de inflamación con la temperatura a la cual el combustible estalla en llamas, esto es la temperatura de auto ignición. (Aldás Acosta y Encalada Terán 2010)

El punto de inflamación es siempre más bajo que el punto de ebullición del combustible. (Aldás Acosta y Encalada Terán 2010)

3.11. Temperatura de autoencendido

La temperatura de autoencendido es la mínima temperatura necesaria para iniciar la combustión de una mezcla de combustible en ausencia de fuente de ignición. Dicho de otra manera, el combustible se calienta hasta que se inflama. **(Ramos 2009)**

Para el hidrógeno, la temperatura de autoencendido es relativamente alta (unos 585ºC). Esto hace que sea difícil encender una mezcla de aire-hidrógeno solo con calor, sin una fuente adicional de ignición. **(Ramos 2009)**

3.12. Número de octano

El número de octano describe las características antidetonantes de un combustible cuando se utiliza en un motor de combustión interna. Los golpeteos son explosiones secundarias, que suceden después de la ignición del combustible debido a la acumulación de calor en varias zonas dentro de la cámara de combustión. Cuando la temperatura local excede la temperatura de autoencendido suceden estos golpeteos. **(Ramos 2009)**

El hidrógeno posee un elevado número de octano (130), con lo que es especialmente resistente a golpeteos, aun cuando se realizan combustiones con mezclas muy pobres. **(Ramos 2009)**

3.13. Velocidad de quemado

La velocidad de quemado es la velocidad a la cual la llama viaja a través de la mezcla del gas combustible. **(Ramos 2009)**

La velocidad de quemado es diferente de la velocidad de llama. La velocidad de quemado indica la fuerza de una explosión puesto que las rápidas velocidades de quemado tienen una tendencia a apoyar mejor la transición desde la deflagración hasta el estallido en largos túneles o tubos. **(Ramos 2009)**

La velocidad de quemado varía con la concentración y gotas de gas a ambos extremos del rango de inflamabilidad. Tanto por debajo del límite inferior de inflamabilidad como por encima del límite superior de inflamabilidad, la velocidad de quemado es cero. **(Ramos 2009)**

La velocidad de quemado del hidrógeno varía entre 2,65 m/s y 3,25 m/s. Lo que quiere decir que una fuga de hidrógeno quemará rápidamente y, consecuentemente, su combustión tenderá a ser de breve duración. **(Ramos 2009)**

3.14. Procesos de emisión de los vehículos propulsados por motor de combustión interna.

Según el INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO, (2012) los vehículos automotores que son propulsados por motores de combustión interna en general producen, 3 tipos de emisiones de gases al medio ambiente:

1. Emisiones evaporativas.
2. Emisiones por el tubo de escape.
3. Emisiones de partículas por el desgaste tanto de los frenos como de las llantas.

A continuación se definen solo las emisiones evaporativas y por el tubo de escape.

Figura 8: Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automóviles.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología (2005)
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

3.15. Emisiones evaporativas

Las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado y también cuando está en circulación.

El INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO (2012) anuncia que los diferentes procesos por los que se presentan emisiones evaporativas en los vehículos son:

- Emisiones diurnas: Son formadas en el sistema de combustible del vehículo pro acción de los cambios de temperatura a través de todo el día.
- Emisiones del vehículo recientemente apagado con el motor caliente: Se presentan cuando se apaga el motor, por acción de la volatilización del combustible por su calor residual.
- Emisiones evaporativas en movimiento: Se exteriorizan cuando el motor se encuentra en operación normal.
- Emisiones evaporativas del vehículo apagado con el motor frío: esto ocurre por la permeabilidad de los compuestos del sistema de combustible.

- Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible: Son las fugas de gases del tanque de combustible durante el proceso de recarga; lo cual se da mientras el vehículo está en las denominadas estaciones de servicio.

3.16. Emisiones por el tubo de escape

Además el INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO (2012) confirma que las emisiones por el tubo de escape son producidos por la quema del combustible y contienen una serie de contaminantes como: los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, el monóxido y dióxido de carbono, y partículas.

Tabla 3: Gases emitidos por los automóviles.

CLASE DE EMISION	CONTAMINANTES EMITIDOS
Por la tubería de escape	Monóxido de carbono, bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno partículas, bióxido de azufre, amoniaco hidrocarburos y metano.
Vías evaporativas	Hidrocarburos.

Fuente: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf
Elaborado por: Víctor Benítez Cabrera - Moreira Rivera Jhonny (2016)

3.17. GASES DE TUBO DE ESCAPE EMITIDOS POR MOTORES DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA.

3.17.1. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un gas tóxico, no posee olor, sabor ni color, es parcialmente soluble en agua, alcohol y benceno, resulta de la reacción incompleta del carbono durante el proceso de combustión. Constituido por un átomo de carbono unido mediante enlace covalente a un átomo de oxígeno (CO). **(CRANA 2014)**

El nitrógeno molecular (N_2) tiene una estructura isoelectrónica al CO, lo que hace que ambos compuestos posean un comportamiento semejante, aunque este último es más reactivo. **(CRANA 2014)**

Según CRANA (2014), debido a que el automóvil es la fuente aislada más importante de CO (65,6%), las zonas urbanas muy pobladas muestran las

mayores concentraciones ambientales de dicho gas. En tales zonas, la concentración de CO sigue un patrón regular, relacionado con las actividades humanas. Estas concentraciones diarias de CO se relacionan directamente con el volumen del tráfico: las correlaciones más altas y los mayores niveles de CO se encuentran en zonas de gran tráfico de vehículos. Los modelos de concentración diarios exhiben poca variación con el día de la semana, excepto los fines de semana. Las concentraciones del gas en días laborables son más elevadas que las registradas en sábados, y estas son más elevadas que las de los domingos, conducta que constituye el denominado efecto fin de semana".

El monóxido de carbono a bajas concentraciones ocasiona agotamiento en personas sanas y dolor pectoral en pacientes con enfermedades cardiacas. A más altas concentraciones provoca problemas de visión y coordinación, cefaleas, mareos, confusión y náuseas, ocasionando síntomas casi iguales a la gripe que desvanecen al cesar la exposición al gas. Cuando las concentraciones son muy altas la exposición al CO puede ser letal, ocasionando la muerte en pocos minutos. **(CRANA 2014)**

Respecto a esto, algunos estudios indican que más del 50% de los envenenamientos por CO son debidos a vehículos a motor y de estos más del 80% corresponde a vehículos aparcados en garajes. Los garajes subterráneos son un sumidero de CO aun cuando dispongan de puertas o ventanas abiertas, puesto que la ventilación no es suficiente para minimizar el riesgo en espacios semi cerrados. **(CRANA 2014)**

3.17.2. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un compuesto orgánico formado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno (O=C=O). El dióxido de carbono (CO_2) compone naturalmente la atmósfera y su densidad es de 679.97 g/litros de aire. Es el compuesto orgánico más importante para el sostenimiento de la biosfera (conjunto de todos los seres vivientes en la tierra). **(Said 2007)**

El dióxido de carbono no es toxico porque no es un veneno. Los datos del CO_2 relacionados con la salud humana son los siguientes:

Densidad actual de CO_2 en la atmósfera = 679.97 g/litros

Para Boyer (1999) los niveles normales de CO_2. Los efectos del nivel aumentado de CO_2 en personas adultas con buena salud se pueden resumir de la siguiente manera:

- Niveles exteriores normales: 350 - 600 ppm volumen.
- Niveles aceptables: hasta 600 ppm volumen.
- Sequedad y olor: 600 - 1000 ppm volumen.
- Estupor: 1000 - 2500 ppm volumen.
- Máxima concentración permitida dentro de un período laboral de 8 horas: 5000 ppmv.

Además Boyer (1999), denota que los niveles en los párrafos anteriores son normales. Los niveles máximos ocurren de vez en cuando.

Niveles de CO_2 extremos y peligrosos:

- Aumento de la frecuencia cardiaca y respiratoria, y náusea: 30.000 ppm volumen.
- Dolores de cabeza y debilidad visual: 50.000 ppm volumen.
- Inconsciencia, muerte por exposición prolongada: 100.000 ppm volumen.

En conclusión se nota que el dióxido de carbono no es una sustancia que cause intoxicación en ningún ser vivo, lo que causa es malestar, asfixia cuando este se encuentra en exceso en el ambiente similar a otros agentes como el agua o la arena que no son veneno sino tienen la capacidad de asfixiar, debido a esto no son considerados contaminantes.

3.17.3. Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). El término NO_X se refiere a la combinación de estas sustancias. **(Ministerio de agricultura. alimentacion y medio ambiente españa 2015)**

Según el Ministerio de agricultura. Alimentación y medio ambiente España (2015), el dióxido de nitrógeno es el principal contaminante de los óxidos de nitrógeno, y se forma como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas. Presenta excelente solubilidad en agua, reaccionando y formando ácido nítrico (HNO_3) según la siguiente reacción: $NO_2 + H_2O \rightarrow 2\ HNO_3 + NO$. Esta sustancia es un oxidante fuerte y reacciona fuertemente con materiales combustibles y reductores, pudiendo atacar materiales metálicos en presencia de agua.

Propiedades físicas de los óxidos de nitrógeno.

- Fórmula química: NO_2
- Masa molecular: 46.01 g/mol
- Punto de ebullición: 21.2º C
- Punto de fusión: -11.2º C
- Densidad relativa del líquido: 1.45 g/ml
- Solubilidad en agua: Buena.
- Temperatura crítica: 158º C
- Presión de vapor : (KPa a 20º C): 96
- Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml): 1.58 g/ml

3.17.1.1. Fuentes de emisión y aplicaciones de los óxidos de nitrógeno.

Las fuentes más usuales de óxidos de nitrógeno en la naturaleza, son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, los incendios forestales, quema de residuos y la actividad volcánica. Las fuentes primordiales antropogénicas de emisión son producidas en los escapes de los vehículos motorizados y en la quema de combustibles fósiles. (Ministerio de agricultura. alimentacion y medio ambiente españa 2015)

3.17.4. Oxígeno

Es un elemento en estado gaseoso, su símbolo es O, número atómico 8 y peso atómico 15.9994. Es de gran interés ya que es el elemento esencial en los procesos de respiración de la mayoría de las células vivas y en los procesos de combustión. Es el elemento que existe en mayor abundancia en la corteza terrestre. Aproximadamente una quinta parte (en volumen) del aire del planeta es oxígeno. **(lenntech 2009)**

Existen equipos que tienen la capacidad de concentrar el oxígeno del aire. Son los llamados generadores de oxígeno. **(lenntech 2009)**

El oxígeno en gas no combinado generalmente existe en forma de moléculas diatómicas, O_2, pero también está en forma triatómica, O_3, se denomina ozono. **(lenntech 2009)**

El oxígeno es separado del aire aplicando licuefacción y destilación fraccionada. Los principales usos del oxígeno en orden de importancia son: 1) Refinación, Fundición y fabricación de algunos metales; 2) Obtención de productos químicos por oxidación controlada; 3) Impulso de cohetes; 4) Ayuda a la vida biológica y en medicina, 5) Producción y elaboración de productos de piedra y vidrio, 6) Minería. **(lenntech 2009)**

En condiciones ambientales el oxígeno es un gas que no tiene color, olor ni sabor; el condensado es un líquido azul claro. **(lenntech 2009)**

3.17.1.2. Efectos del Oxígeno sobre la salud

Para los seres humanos es necesario el oxígeno para respirar, pero como ocurre con varias sustancias una excesiva cantidad de oxígeno no es bueno. Respirar un 50-100% de oxígeno a condiciones normales durante un periodo prolongado de tiempo provoca daños en los pulmones. El oxígeno es habitualmente almacenado a temperaturas muy bajas y por lo tanto se deben usar prendas especiales para evitar la congelación de los tejidos del cuerpo. **(lenntech 2009)**

3.17.5. Metano

Según Melendi del CCT Mendoza el metano es el hidrocarburo más simple, su molécula está formada por un átomo de carbono (C), al que se encuentran unidos cuatro átomos del elemento hidrógeno (H). A condiciones ambientales se encuentra en estado gaseoso y está presente en la atmósfera.

En los últimos tiempos se ha aplicado con resultados satisfactorios, como fuente de energía alternativa a pequeña escala, produciéndolo a partir de restos orgánicos agrícolas. **(Melendi 2009)**

Las principales fuentes productoras de metano son:

3.17.1.3. Combustible fósil:

El metano es encontrado siempre donde hay combustible fósil. Es liberado durante los procedimientos de extracción de petróleo, carbón o gas natural. También durante el manejo, proceso y transferencia del combustible fósil. Con sencillamente comprar o usar combustible fósil como gasolina, diésel, gas o biocombustible estás contribuyendo a la producción de metano.

3.17.1.4. Animales de cría:

Algunos animales de granja producen metano de dos formas diferentes. Vacas, ovejas y cabras son animales rumiantes que dentro de su proceso normal de digestión crean importantes cantidades de metano. Lo cual es conocido como fermentación entérica que ocurre en el estómago de estos animales y es la causa de estas emisiones.

La segunda forma es a través de la desintegración del estiércol del ganado. Las vacas, cerdos y gallinas que son criados con fines comerciales, existen en grandes cantidades y producen excesivo estiércol que se producen todos los días, por lo tanto las granjas deben tener procedimientos para su tratamiento. El modo que se procesa el excremento es utilizando sistemas de tratamiento en tanques. El estiércol se descompone en el interior de estos tanques que permanecen herméticamente cerrados. Cuando la materia orgánica se desintegra sin oxígeno (anaeróbicamente) se produce metano en grandes cantidades el cual puede ser almacenado para diversos

usos. Esto no es culpa de los animales sino de los procedimientos utilizados y en la cantidad de animales de granja que se comercializan.**(Melendi 2009)**

3.17.1.5. Vertederos:

Tanto el estiércol como los vertederos y la basura al aire libre están llenos de materia orgánica (Ej. Residuos de comida, papeles, pasto y hojas). Cada día la basura nueva se acumula sobre la que ya estaba y la materia orgánica de esa basura se descompone en ambientes anaeróbicas y de esta manera se producen cantidades de metano exageradas.

La industria agro-ganadera, con su necesaria expansión, genera y libera este gas originado en la descomposición de la biomasa remanente y en el aumento de las poblaciones de ganado. Las industrias extractivas de carbón, petróleo y gas actúan como fuentes de liberación de metano a la atmósfera. Además, el metano perjudica la capacidad autolimpiante de la atmósfera. **(Melendi 2009)**

3.18. PARQUE AUTOMOTOR ECUATORIANO

En el Ecuador el año 2014 se matricularon 1’752,712 vehículos que usan gasolina, electricidad, gas licuado de petróleo y diésel como combustible para su propulsión, de esta cantidad 1.553.231 vehículos son los que utilizan gasolina como combustible (INEC 2014) representando el 88.6% del total de automotores existentes en el Ecuador.

4. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DE ESTUDIO

Aporte social

Con este estudio se puede dar solución a los problemas ambientales de emisión de gases lo cual también contribuirá al proceso de desarrollo social como también alternativas para resolver los problemas de desequilibrio en el ambiente, causado por el hombre ya que todos los seres que habitamos este planeta, tenemos derecho a una mejor condición de vida, que sea apta para el desarrollo humano y para que las actividades económicas.

Aporte económico

El generador de hidrógeno instalado en los vehículos utilizado como combustible ayudante puede jugar un papel importante en la economía en todo el mundo, ya que muchos gobiernos han asignado fondos para la investigación y desarrollo del hidrógeno, y de esta manera aprovechar en mayor parte los combustibles fósiles ahorrando dinero por las grandes cantidades que se ahorraría del mismo.

Aporte científico

Las tecnología utilizada en las celdas de combustible ya están investigadas a fondo y estas convierten la energía química de un combustible en energía eléctrica con la utilización de otros equipos intermedios, algunos países han creado proyectos y condiciones adecuadas para tolerar su uso en la generación de celdas de combustible.

5. ELABORACION DE HIPOTESIS Y DEFINICION DE VARIABLES

5.1. HIPOTESIS

La adaptación de un sistema de aplicación de hidrógeno a partir de electrólisis del agua en motores de combustión interna, minimizará el consumo de combustible fósil y la emisión de gases contaminantes al medio ambiente.

5.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

5.2.1. Variable independiente

Sistema de aplicación de hidrógeno a partir de la electrólisis del agua

5.2.2. Variable dependiente

Consumo de combustible fósil y la emisión de gases contaminantes al medio ambiente.

5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE: **SISTEMA DE APLICACIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA**				
CONCEPTUALIZACIÓN	**CATEGORÍA**	**INDICADOR**	**ITEMS**	**TÉCNICA**
SISTEMA DE APLICACIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA	APLICACIÓN DE HIDRÓGENO	Usos de gases	Elección del diseño y ubicación del sistema del hidrógeno y aplicarlo en un vehículo a gasolina Determinaciones de que realmente el hidrógeno aplicado reduce emisiones contaminantes y aumenta eficiencia en motor de combustión interna a gasolina.	Referencias bibliográficas de fuentes confiables. Métodos experimentales a pequeña escala.
	ELECTRÓLISIS DEL AGUA	Reacción química		
Autores: Víctor Benítez Cabrera, Jhonny Moreira Rivera				

VARIABLE DEPENDIENTE: **CONSUMO DE COMBUSTIBLE FÓSIL Y LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES AL MEDIO AMBIENTE.**

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEMS	TÉCNICA
CONSUMO DE COMBUSTIBLE FÓSIL Y LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES AL MEDIO AMBIENTE.	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	Tipos de combustible	Evaluación de la eficiencia de la gasolina en un motor de combustión interna.	Referencias bibliográficas de fuentes confiables.
	EMISIONES AL MEDIO AMBIENTE.	Gases contaminantes	Comparación de emisiones de un motor a gasolina y uno de las mismas características al cual se le aplica hidrógeno en la cámara de combustión.	Análisis realizados a los gases generados por motores de combustión interna.
Autores: Víctor Benítez Cabrera, Jhonny Moreira Rivera				

6. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación está basada en los estudios de los resultados alcanzados en los diferentes parámetros de análisis de manera experimental, con la ayuda de la revisión del material bibliográfico, para así determinar la influencia de un sistema de aplicación de hidrógeno obtenido mediante electrólisis del agua a un motor de combustión interna en la variación de los gases que emite al medio ambiente, además de verificar si existe un ahorro del combustible fósil con el mismo sistema, y de esta manera determinar si el impacto ambiental es reducido y si la eficiencia del combustible fósil en el motor aumenta.

6.1. CAMPO DE ACCIÓN:

El presente proyecto investigativo posee como campos de acción el taller Moreira ubicado en el cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí en el cual se realizó el diseño e instalación en un vehículo con motor de combustión interna del reactor para la generación de hidrógeno a partir de electrólisis del agua, en segundo lugar como campo de acción la Universidad Técnica de Manabí fue donde se realizó las mediciones de los gases emitidos con los equipos adecuados.

6.2. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la aplicación de hidrógeno en motores de combustión interna, para reducir el consumo de combustible fósil y la contaminación ambiental.

6.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la eficiencia del combustible en motores de combustión interna.
- Diseñar e instalar un reactor para generación de hidrógeno.
- Determinar factores que reducen niveles de emisión de CO_2 en motor de combustión interna.
- Evaluar la eficiencia de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno.
- Proponer la instalación del sistema de aplicación de hidrógeno en motores de combustión interna de los vehículos de la Universidad Técnica de Manabí.

6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se procedió a diseñar el equipo de electrólisis de agua para producción de hidrógeno el cual de instaló con éxito en el vehículo escogido, con el sistema apagado se verificó el consumo de combustible en un determinado recorrido, se encendió el sistema y se realizó el mismo recorrido con esto se determinó la variabilidad en el consumo de combustible, para la medición de los gases de emisión del vehículo (CO, CO_2, HC, O) con y sin el sistema en estudio se realizaron análisis por los técnicos de la empresa ELICROM CIA. Ltda., ya con estos datos se puede evaluar parámetros como eficiencia del sistema e impacto ambiental y así determinar si es o no conveniente la instalación del sistema.

6.5. TÉCNICAS

- Recolección de datos de internet, libros y personas con conocimiento del tema.
- Observación en equipo del consumo de combustible fósil y de gases emitidos en motores de combustión interna a gasolina.

6.6. MÉTODOS

La relevancia de los métodos de investigación radica en el hecho de desarrollar conocimientos sólidos en distintas áreas científicas. Los métodos de investigación se adaptan a distintos tipos de escenarios, a distintos tipos de contextos. La investigación en referencia planteada involucra un proceso de análisis y comprensión de una realidad y los problemas que en ella hay; en este contexto, se utilizará ‘métodos científicos y el más habitual y comúnmente utilizado es el método hipotético deductivo, dado a que otorgará validez y fiabilidad a la investigación. Es importante indicar que este estudio tiene diversidad de enfoques: teórica, práctica, aplicada, entre otras y se basará en la investigación documental y de campo, dado a que consiste en analizar una situación en el lugar real donde se desarrollarán los hechos a investigarse, en este sentido, el estilo científico que realizará en esta modalidad de investigación aportará a la solución de problemas.

7. PROCESO EXPERIMENTAL REALIZADO

7.1. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE VEHICULO A INSTALAR EL SISTEMA.

Se seleccionó un vehículo marca CHEVROLET modelo RODEO 4X4 DLX T/M A/C 2.6L año de construcción 1997, combustible a gasolina en el cantón Rocafuerte para realizar la respectiva instalación del sistema generador de hidrógeno.

7.2. DISEÑO E INSTALACION DEL SISTEMA EN EL VEHICULO SELECCIONADO

Para realizar el diseño del reactor se realizó consultas bibliográficas de cada una de las partes y fundamentos que serán utilizados en el proceso de electrólisis de hidrógeno para que este sea aplicado al motor de combustión interna a gasolina.

7.2.1. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Antes de proceder a encender el sistema se colocó agua destilada en la celda y en el burbujeador verificando que las conexiones de la línea de conducción del gas se encuentren bien selladas, a continuación se encendió el vehículo y después se encendió el sistema de aplicación de hidrógeno se verificó que se produjera el hidrógeno mediante observación que el agua del burbujeador se precipitara por acción del gas, lo cual dio positivo.

7.3. PRUEBAS DE EFICIENCIA Y DE EMISIONES

7.3.1. ANALISIS DE EFICIENCIA

Para determinar la eficiencia de la gasolina en motores de combustión interna se realizaron investigaciones bibliográficas, con lo cual se determinó que el aprovechamiento del combustible es en un porcentaje en promedio del 30%.

En la determinación de la eficiencia de la gasolina con el sistema de aplicación de hidrógeno obtenido mediante electrólisis se la realizó con un recorrido del vehículo primero con el sistema instalado pero apagado se midió la cantidad de combustible consumido y después se realizó el mismo recorrido con

el sistema instalado ya encendido y de la misma manera se midió la cantidad de combustible consumido.

7.3.2. ANALISIS DE EMISIONES

Para realizar los análisis de emisiones de tubo de escape se realizaron los trámites necesarios de contratación de servicios de la empresa ELICROM CIA Ltda., que enviaron un técnico calificado para proceder a los análisis con un opacímetro modelo OPA-100 calibrado a la fecha, lo cual da resultados confiables.

Se llevó el vehículo a la Universidad Técnica de Manabí para realizar los análisis de gases de emisión del mismo (CO, CO_2, Hidrocarburos, O_2), con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y con el sistema apagado.

7.4. TOMA DE DATOS

Los datos generados en las pruebas que fueron consultados, observados y tomados son: la eficiencia en promedio de la gasolina en un motor de combustión interna de una fuente bibliográfica confiable, consumo de gasolina con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado y el consumo de gasolina con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido, distancia recorrida en las pruebas, niveles de emisión de gases de tubo de escape (CO_2, CO, HC, O_2) medidos por el opacímetro en el informe emitido por la empresa ELICROM CIA Ltda. con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado y con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido.

8. RECOLECCION DE LOS DATOS

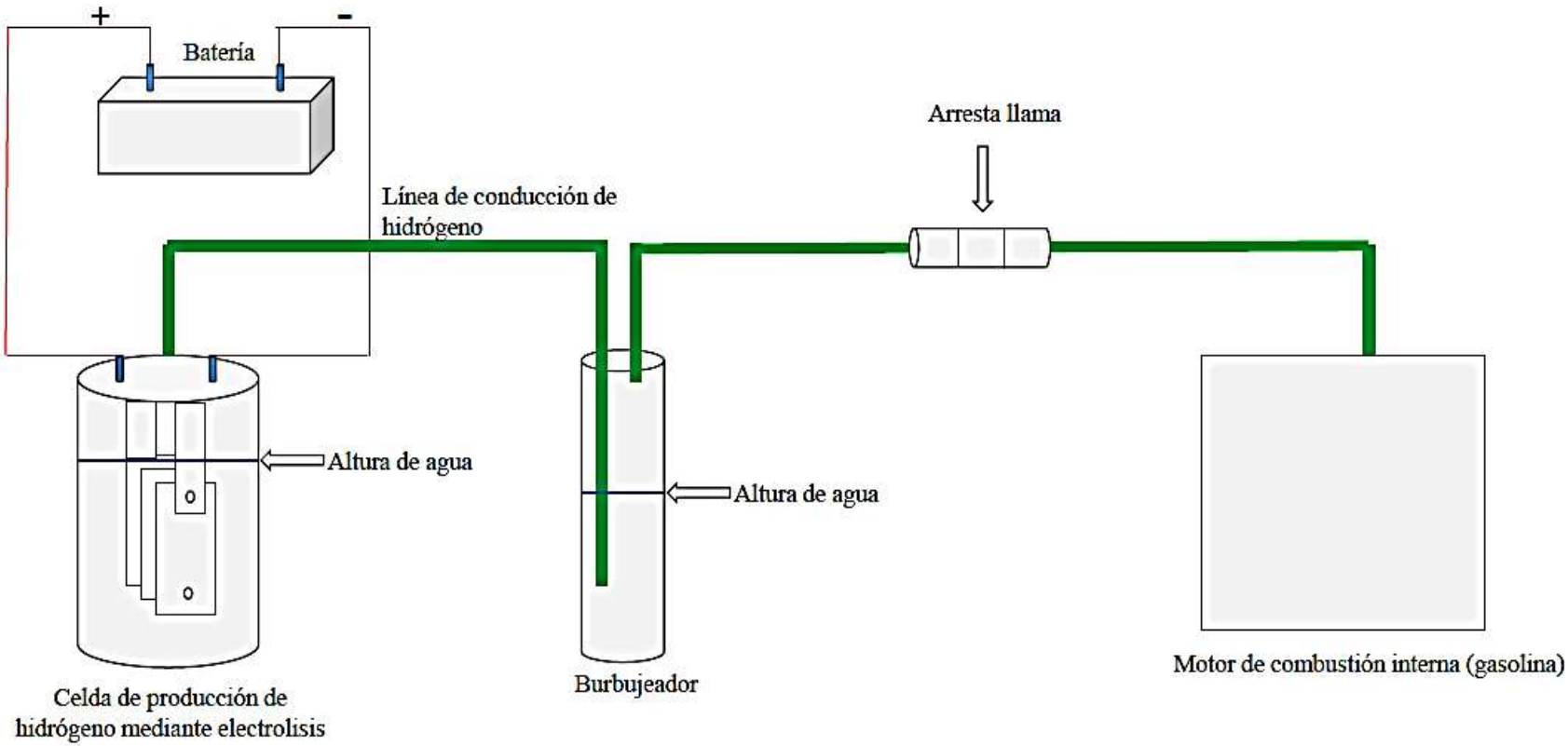
8.1. EVALUACION DE EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE EN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

Según la bibliografía consultada las eficiencias de la gasolina en condiciones normales en un motor de combustión interna es de mínimo 17% y máximo 30%, es decir que por cada 10 galones lo que se transforma en trabajo es máximo 3 galones, la diferencia se pierde mediante residuo y evaporaciones por las temperaturas a las que se encuentra el motor en la combustión.

A continuación de esto se procede a evaluar la alternativa de ahorro de gasolina mediante aplicación de hidrógeno producido por la electrólisis del agua, esto con un sistema que se va a diseñar e instalar en el vehículo seleccionado.

8.2. DISEÑO E INSTALACION DE REACTOR DE PRODUCCION DE HIDRÓGENO A PARTIR DE ELECTRÓLISIS DEL AGUA

Figura 9: *Diseño del reactor de producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua.*



Fuente: Visio 2010
Elaborado por: Benítez Cabrera Víctor – Moreira Rivera Jhonny (2016)

8.2.1. Instalación del reactor de producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua en el vehículo seleccionado.

La implementación del dispositivo generador de hidrógeno se lo realizó en el taller Moreira ubicado en el cantón Rocafuerte provincia Manabí, en el cual tuvo el siguiente proceso:

- Tener a disposición todas las herramientas necesarias para un óptimo desempeño (envase, placas de acero, pernos, teflón, unión, manguera, llaves, etc.)
- Una vez obtenidos los materiales a utilizar se procede a cortar las planchas de acero y a perforarlas donde van los respectivos pernos.
- Al tener todas las placas perforadas se une para armar lo que va ser la celda generadora de hidrógeno.
- Para armar el recipiente para la celda generadora de hidrógeno se corta 20 centímetros de tubo PVC de 4 pulgadas
- Una vez obtenido eso, se procede a perforar la tapa del recipiente donde va colocado la manguera de salida del gas, se debe sellar con teflón y con silicona para que no haya ninguna fuga.
- También se debe armar un arresta llama, en el cual consiste en contar un tubo de media pulgada enroscable donde en los extremos se coloca una malla de acero, luego en el interior del tubo se coloca 1/3 de arena, 1/3 de vidrio molido y 1/3 de arena nuevamente.
- Todas las conexiones que se realizan se debe usar teflón o silicón para evitar fugas.
- Para ensamblar el burbujeador consiste en un recipiente cilíndrico que permite la entrada del gas como la salida del mismo en una sola dirección y el gas no retorne al recipiente principal (celdas).
- Se busca un lugar adecuado donde va estar colocado el equipo generador de hidrógeno.
- Una vez instalado el generador con los depósitos se procede a acoplar todas las cañerías que van desde el equipo donde están las celdas hasta el

burbujeador, y desde el burbujeador hasta el arresta llama y luego a la cámara de admisión del motor del vehículo.

- Ya instalados todos los elementos se procede a realizar las conexiones eléctricas.
- Todos los circuitos deben funcionar cuando el vehículo este en marcha, es decir solo cuando el vehículo este encendido.
- Las conexiones se lo realizó con cable # 16 y con un fusible de 60 amp.
- Todo esto va conectado al relay y posteriormente a un switch ubicado en el tablero en el interior del vehículo, para el encendido y apagado del equipo de producción de hidrógeno.

8.3. EVALUACION DE EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE FOSIL EN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA CON EL SISTEMA DE APLICACIÓN DE HIDRÓGENO ENCENDIDO

Al realizar los análisis de eficiencia con el sistema instalado los resultados observados fueron los siguientes:

Tabla 4: Resultado de la evaluación de eficiencia de combustible en motor de combustión interna.

COMPONENTES	Valor
Distancia	185 Kilómetros
Galones de gasolina	5.724
Valor	$ 8.47

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

Tabla 5: Resultado de la evaluación de eficiencia de combustible en motor de combustión interna con el sistema de aplicación de hidrogeno encendido

COMPONENTES	Valor
Distancia	185 Kilómetros
Galones de gasolina	4.178
Valor	$ 6.18

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

Tabla 6: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna con el sistema encendido y apagado (larga distancia)

COMPONENTES	SISTEMA APAGADO	SISTEMA ENCENDIDO
Distancia	185 Kilómetros	185 Kilómetros
Galones de gasolina	5,724	4,178
Valor	$ 8,47	$ 6,18

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

Tabla 7: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna con el sistema encendido y apagado (corta distancia)

Distancia (Kilometro)	Tiempo (Horas)	Velocidad (Km/h)	Consumo (galones)	Costo (dólares)	Aplicación de hidrógeno
15	0,3	50	0,778	1,15	Apagado
15	0,3	50	0,573	0,85	Encendido
15	0,3	50	0,788	1,17	Apagado
15	0,3	50	0,646	0,96	Encendido
15	0,22	68	0,883	1,31	Apagado
15	0,22	68	0,720	1,07	Encendido
15	0,22	68	0,863	1,28	Apagado
15	0,22	68	0,715	1,06	Encendido

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

8.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCION DE CO2 EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

Para determinar los factores que influyen en la producción de CO_2 en motores de combustión interna a gasolina se realizó análisis de gases de emisión de tubo de escape por un técnico y equipos de la empresa ELICROM CIA Ltda.

Tabla 8: Resultados de los análisis de gases con el sistema de hidrógeno apagado

COMPONENTES	VALOR
CO (%vol.)	1,51
CO_2 (%vol.)	14,0
O_2 (%vol.)	0,41
HC (hidrocarburos) (ppmv)	139

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

Tabla 9: Resultados de los análisis de gases con el sistema de hidrógeno encendido

COMPONENTES	VALOR
CO (%vol.)	1,10
CO_2 (%vol.)	14,4
O_2 (%vol.)	0,32
HC (hidrocarburos) (ppmv)	101

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

Con los análisis realizados por la empresa ELICROM CIA Ltda. a los gases de emisión del vehículo instalado el sistema de aplicación de hidrógeno por electrólisis del agua, se determinó que existe una reducción en %volumen de CO (monóxido de carbono), O2 (oxigeno) y en ppmv de HC (hidrocarburos); además se obtuvo un aumento de 14,4 en %volumen de CO2.

El CO2 en las emisiones de los motores de combustión interna es tomado como referencia para determinar si el combustible es quemado parcial o completamente, ya que este no es contaminante ni toxico, los factores directos que indican que éste parámetro aumente son la reducción de emisiones de CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarburos) los cuales son contaminantes, y O2 (oxigeno) confirmados en los análisis realizados. Ya que el CO es gas de emisión de reacciones incompletas al disminuir significa que más hidrocarburos se han consumido y va a haber más presencia de CO2 en las emisiones. Lo cual indica que las reacciones que se dan en dentro del motor aumentan su eficiencia y se emite menos gases contaminantes al medio ambiente.

9. ANÁLISIS DE LOS DATOS

9.1. Comparación de los resultados obtenidos en prueba de consumo de combustible (gasolina).

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en las pruebas de consumo de combustible se utilizó como ayuda el programa Microsoft Excel.

Tabla 10: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna a gasolina con el sistema encendido y apagado (larga distancia)

COMPONENTES	SISTEMA APAGADO	SISTEMA ENCENDIDO
Distancia (Kilómetros)	185	185
Galones de gasolina	5,724	4,178
Costo (dólares)	8,47	6,18

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

En la prueba experimental a larga distancia para una misma distancia se consumió 5.724 galones de gasolina con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado, con el sistema encendido fue de 4.178 para la misma distancia con estos datos se determinó que el consumo de gasolina fue reducido con el sistema de aplicación de hidrógeno en un 27%.

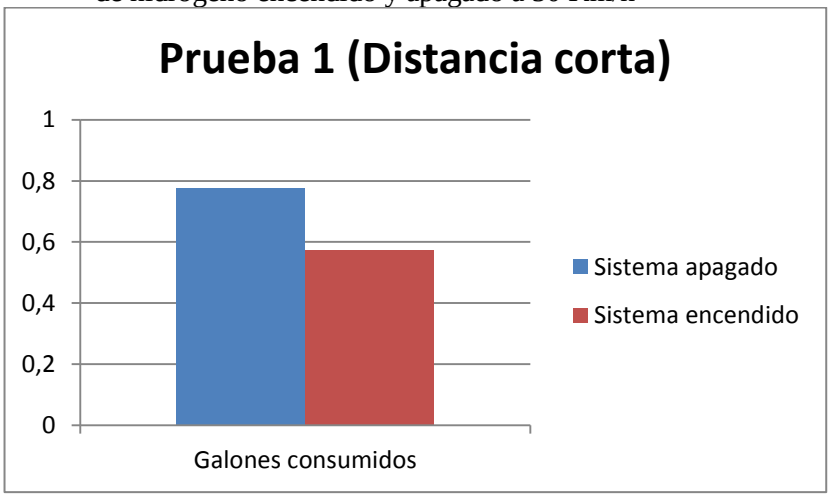
Tabla 11: Comparación de la eficiencia de combustible en motor de combustión interna a gasolina con el sistema encendido y apagado (corta distancia)

Pruebas	Velocidad (Km/h)	Consumo (galones)	Costo (dólares)	Aplicación de hidrógeno	Reducción de consumo gasolina (%)
1	50	0,778	1,15	Apagado	26,3
	50	0,573	0,85	Encendido	
2	50	0,788	1,17	Apagado	18,0
	50	0,646	0,96	Encendido	
3	68	0,883	1,31	Apagado	18,5
	68	0,720	1,07	Encendido	
4	68	0,863	1,28	Apagado	17,1
	68	0,715	1,06	Encendido	

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

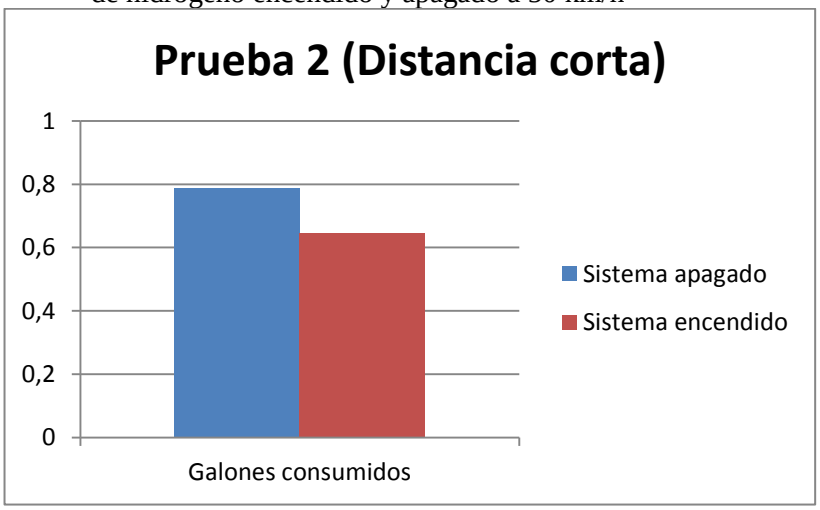
En la prueba experimental a corta distancia para una misma distancia se consumió en promedio 0,828 galones de gasolina con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado, con el sistema encendido fue de 0,6635 para la misma distancia con estos datos se determinó que el consumo de gasolina fue reducido con el sistema de aplicación de hidrógeno en un 20% en promedio.

GRAFICO 1: Comparación de galones de gasolina consumida por motor de combustión interna, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado a 50 Km/h



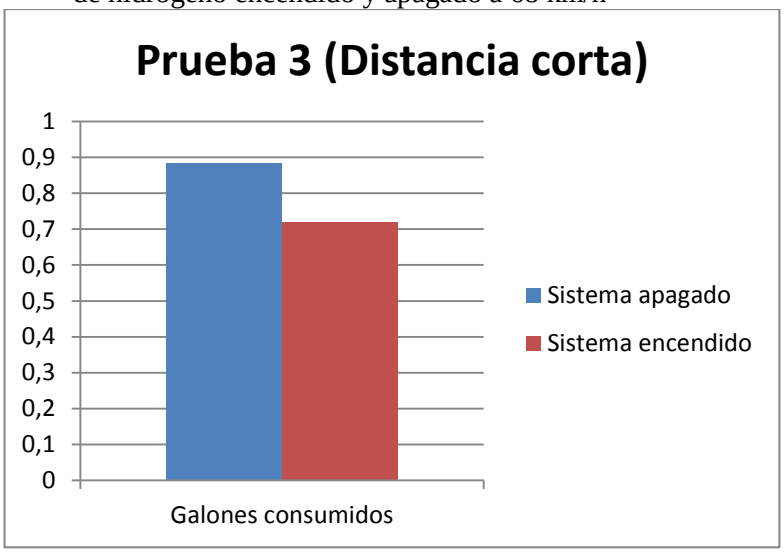
Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

GRAFICO 2: Comparación de galones de gasolina consumida por motor de combustión interna, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado a 50 km/h



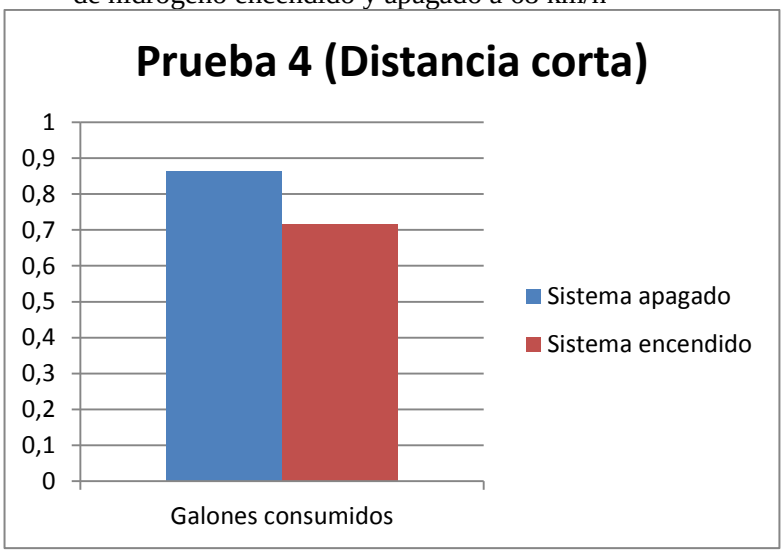
Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

GRAFICO 3: Comparación de galones de gasolina consumida por motor de combustión interna, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado a 68 km/h



Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

GRAFICO 4: Comparación de galones de gasolina consumida por motor de combustión interna, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado a 68 km/h



Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

9.2. Comparación de los resultados obtenidos en análisis de emisiones de gases de tubo de escape.

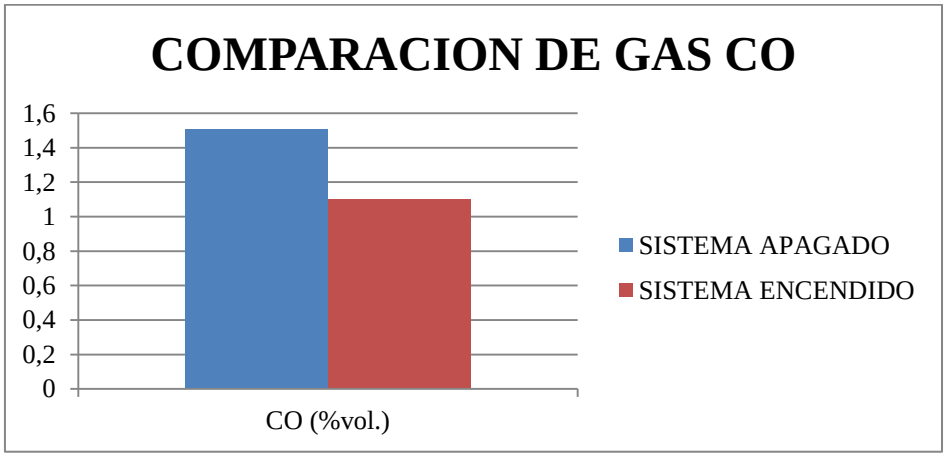
Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en los análisis de emisiones de gases se utilizó como ayuda el programa Microsoft Excel.

Tabla 12: Comparación de los gases con el sistema encendido y apagado

COMPONENTES	SISTEMA APAGADO	SISTEMA ENCENDIDO
CO (%vol.)	1,51	1,10
CO_2 (%vol.)	14,0	14,4
O_2 (%vol.)	0,41	0,32
HC (hidrocarburos) (ppm)	139	101

Fuente: Ensayo experimental.
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

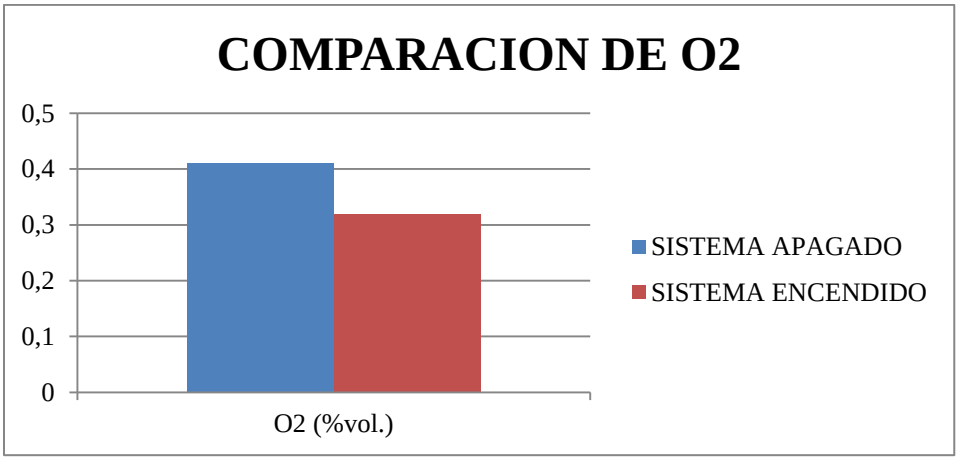
GRAFICO 5: Comparación de emisión de gas monóxido de carbono de motor de combustión interna a gasolina, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado.



Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

En el grafico 1 se observa que en las pruebas realizadas en el vehículo con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado se generó una cantidad de emisión de este gas de 1,51 %vol. mayor en comparación con la prueba realizada con este mismo sistema ya encendido de 1,1 %vol. Esta prueba fue realizada en el Opacímetro modelo OPA 100 perteneciente a la empresa ELICROM CIA Ltda.

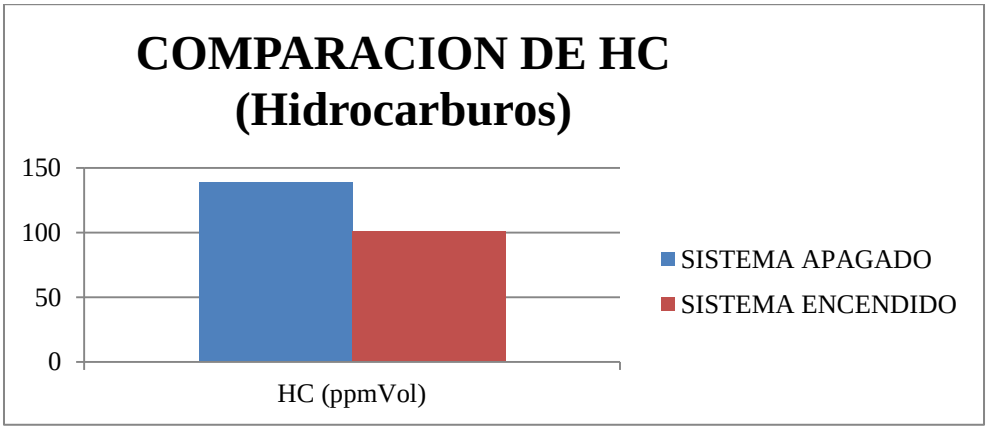
GRAFICO 6: Comparación de emisión de gas oxígeno de motor de combustión interna a gasolina, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado.



Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

En el grafico 2 se observa que en las pruebas realizadas en el vehículo con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado se generó una cantidad de emisión de este gas de 0,41 %vol. mayor en comparación con la prueba realizada con este mismo sistema ya encendido de 0,32%. Esta prueba fue realizada en el Opacímetro modelo OPA 100 perteneciente a la empresa ELICROM CIA Ltda.

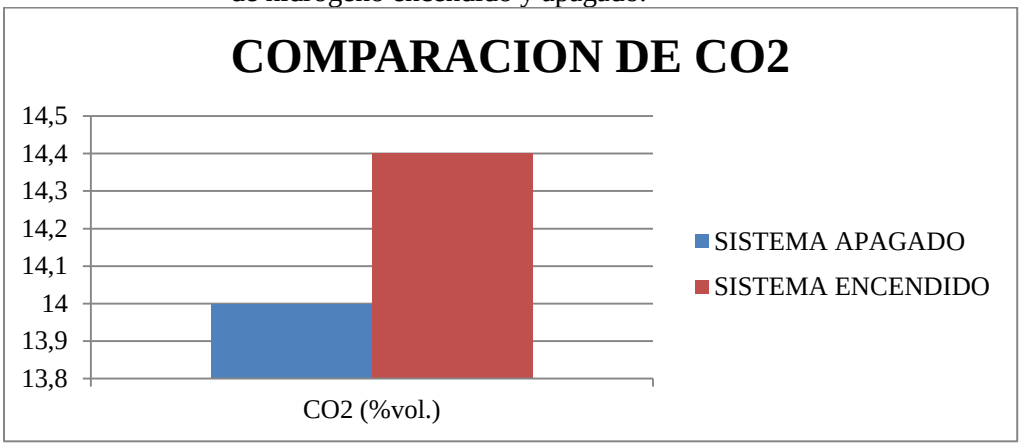
GRAFICO 7: Comparación de emisión de gases hidrocarburos de motor de combustión interna a gasolina, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado.



Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

En el grafico 3 se observa que en las pruebas realizadas en el vehículo con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado se generó una cantidad de emisión de este gas de 139 ppmv mayor en comparación con la prueba realizada con este mismo sistema ya encendido de 101 ppmv. Esta prueba fue realizada en el Opacímetro modelo OPA 100 perteneciente a la empresa ELICROM CIA Ltda.

GRAFICO 8: Comparación de emisión de gas dióxido de carbono de motor de combustión interna a gasolina, con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado.



Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

En el grafico 4 a diferencia de los anteriores se observa que en las pruebas realizadas en el vehículo con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado se generó una cantidad de emisión de este gas de 14,4 %vol. menor en comparación con la prueba realizada con este mismo sistema ya encendido de 14 %vol. Esta prueba fue realizada en el Opacímetro modelo OPA 100 perteneciente a la empresa ELICROM CIA Ltda.

Análisis porcentual de variación de concentraciones según los componentes de gases de emisión analizados en gas de escape con el sistema de aplicación de hidrógeno a un motor de combustión interna a gasolina con respecto a las emisiones sin el sistema ya mencionado.

Tabla 13: Porcentajes de reducción de emisiones gaseosas con el sistema de aplicación de hidrógeno.

COMPONENTES	Porcentaje de reducción de gases de emisión
CO	27,15
O2	21,95
HC(Hidrocarburos)	27,34

Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

Tabla 14: Porcentajes de aumento de emisiones gaseosas con el sistema de aplicación de hidrógeno.

COMPONENTES	Porcentaje de aumento de gases de emisión
CO2 (%vol.)	2,86

Fuente: Microsoft Excel
Autores: Benítez Cabrera Víctor –Moreira Rivera Jhonny (2016)

10.ELABORACION DEL REPORTE DE LOS RESULTADOS

10.1. DISCUSIÓN

Con el desarrollo del presente trabajo de titulación se puede destacar mediante la indagación bibliográfica que los motores de combustión internar a gasolina tienen un bajo aprovechamiento de este combustible, por lo cual se debe tomar medidas para aumentar esta baja eficiencia ya que afecta directamente al medio ambiente y a la economía de la sociedad.

Con los análisis realizados se determinó las cantidades en volumen de CO, CO2, HC, O2 que contienen las emisiones de tubo de escape de un vehículo de combustión interna a gasolina, y al aplicarle hidrógeno con el sistema instalado a este mismo motor se obtuvo cantidades menores de los mismos gases a las mismas condiciones.

Tomando en cuenta que en el Ecuador existe un gran parque automotor y que en su mayoría son vehículos a gasolina lo cual ocasiona un impacto ambiental importante por las emisiones de los gases contaminantes principalmente CO y HC, el sistema de aplicación de hidrógeno obtenido por electrólisis de agua a un motor de combustión interna a gasolina puede ser aplicado a los vehículos y así reducir la contaminación ambiental además de obtener un beneficio económico ya que aumentaría el rendimiento de la gasolina en el interior del motor.

10.2. CONCLUSIONES

Luego de haber finalizado el trabajo investigativo se concluye lo siguiente:

- Se evaluó la eficiencia del combustible en motores de combustión interna a gasolina mediante investigaciones bibliográficas, en lo cual se determinó que estos tipos de vehículos tienen una eficiencia del combustible fósil en un máximo de 30 %.

- El diseño del reactor se lo realizó en el programa Visio en base a la bibliografía consultada, para la generación de hidrógeno mediante electrólisis, el mismo que fue ensamblado e instalado en el motor del vehículo marca CHEVROLET modelo RODEO 4X4 DLX T/M A/C 2.6L, año de construcción 1997, esto tuvo una complejidad media, ya que se requirió obtener los materiales necesarios y

adaptarlos según el proceso de manera que el hidrógeno producido por la electrólisis se dirija a la cámara de inyección de oxigeno del motor de combustión interna a gasolina.

- Se determinó que los factores que reducen niveles de emisión de CO_2 en motor de combustión interna a gasolina es la quema incompleta del combustible fósil por este motivo se genera un aumento del gas contaminante CO, al incorporar el sistema de generación de hidrógeno se determinó que hubo una reducción de este gas tóxico CO y un aumento del gas no toxico el CO_2, esto debido a que el hidrógeno aplicado ayuda a que el combustible aumente su grado de conversión.

- También se evaluó la eficiencia de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno en cual consistía en medir la cantidad de consumo de combustible consumido en un recorrido con sistema apagado y el mismo recorrido con el sistema encendido, y nos dio como resultado que con el sistema de aplicación de hidrógeno tiene una aumento de eficiencia aproximada del 20 al 27 %, este porcentaje en relación al consumo de combustible sin el sistema de aplicación de hidrógeno.

10.3. RECOMENDACIONES

Luego de haber finalizado el trabajo de investigación, se puede recomendar lo siguiente:

- Al diseñar e instalar el reactor para la generación de hidrógeno en el motor de combustión interna a gasolina se debe utilizar envases de plástico que resista las temperaturas del sitio ubicado, así mismo todas las conexiones tienen que estar herméticas, para esto utilizar teflón en cantidades suficientes para que no exista ninguna fuga, así mismo es indispensable diseñar un atrapa llamas así en el caso que exista una fuga de hidrógeno y genere una explosión el fuego no se regrese al reactor y se apague en el atrapa llama.

- Hacer varias pruebas en cuanto al consumo de combustible fósil, para así determinar con mayor exactitud cuál es la eficiencia del sistema de aplicación de hidrógeno, también se deben realizar continuamente análisis de gases para constatar que el sistema no disminuya la eficiencia.

- Con este sistema de aplicación de hidrógeno se propone instalarlo a los vehículos de la Universidad Técnica de Manabí, ya que mejoraría en la eficiencia y reduciría el consumo del combustible, además mejoraría en la contribución del medio ambiente ya que se reduce cantidades de gases tóxicos como es el CO e HC, con esto se ayudaría en la economía de la Universidad Técnica de Manabí.

11.PRESUPUESTO

TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO QUIMICO.
"ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACION AMBIENTAL".

ENTIDAD: UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ.

POSTULANTES: Benítez Cabrera Víctor Ernesto, Moreira Rivera Jhonny Miguel.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	Materiales para diseño e instalación de reactor	$300
2	Agua destilada	$50
3	Análisis de emisiones de gases	$500
4	Evaluación de eficiencia de combustible	$200
5	Internet	$130
6	Transporte	$120
7	Alimentación	$100
8	Impresiones	$160
9	Copias	$40
10	Sustentación	$100
11	Gastos varios	$200
TOTAL		$1900

Son: MIL NOVECIOENTOS DOLARES AMERICANOS

12.CRONOGRAMA

ítems	Actividades	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12
1	Elaboración del proyecto	X	X										
2	Entrega del proyecto		X										
3	Aprobación del proyecto			X									
4	Revisiones bibliográficas de técnicas y pruebas a realizar				X								
5	Complementación del marco teórico					X	X						
6	Presentación de primer avance y correcciones						X						
7	Desarrollo de la parte experimental						X	X	X				
10	Análisis de los resultados obtenidos									X			
11	Presentación de segundo avance										X		
12	Correcciones generales y aplicación de formatos											X	
13	Entrega del trabajo final												X

13.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguer Hortal, Mario, y Angel Luis Miranda Barrera. *El Hidrógeno: Fundamento de un futuro equilibrado.* Madrid: Diaz de Santos. S.A., 2012.

Aldás Acosta, Edgar Damián, y Rubén Genaro Encalada Terán. *implementacion de un dispositivo que inyecte hidrógeno a un motor a gasolina.* Latacunga, junio de 2010.

Arango, Luis Angel. *Biblioteca Virtual.* 2010. http://www.banrepcultural.org/node/92121 (último acceso: 17 de diciembre de 2015).

Cevallos, Genesi Pamela. «universidad tecnica de manabi.» 2013. http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/9475.

CRANA. *CRANA.* 2014. http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/monaxido-carbono.

D.A. *Definición de recursos Energéticos.* 2007. http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/recursos-energeticos.php.

Edukanda. *Cómo aprovechar los recursos energéticos.* 2010. http://www.edukanda.es/mediatecaweb/data/zip/1246/page_02.htm.

G. Fierro, Jose Luis;. «El hidrógeno: metodologías de producción.» *LYCHNOS*, 2011: 50-54.

GERMAN, FERNADEZ. *QUIMICA ORGANICA.* 02 de DICIEMBRE de 2012 . http://www.quimicaorganica.net/limoneno.html (último acceso: 15 de ENERO de 2015).

Gonzalez, Monica. «LA GUIA- electrolisis del agua.» 8 de octubre de 2010.

—. *LA GUIA- electrolisis del agua.* 8 de octubre de 2010. http://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/electrolisis-del-agua.

Gutierrez, Maye. «Biología.» *Que es el H2O.* 28 de julio de 2013.

HIDROCAR ECOLÓGICO. «HIDROCAR ECOLÓGICO.» 2015.

INEC. «Anuario de estadisticas de transporte.» 2014. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/Publicaciones/Anuario_de_Estad_de_Transporte_2014.pdf (último acceso: 2 de diciembre de 2015).

Instituto Nacional de Ecología. *Elaboracion y usos de inventarios de emisiones.* Mexico D.F., 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO. *INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO.* 2012. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf.

JESUS, PALA PAUL. *CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES DEL GÉNERO* . PENINSULA IBERICA, 2011.

lenntech. *Elementos.* 2009. http://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.html (último acceso: 19 de Diciembre de 2015).

LOPEZ ESPINOZA, JAIME HUMBERTO. «REPOSITORIO ESPAM.» SEPTIEMBRE de 2013. http://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/532/ESPAM-MA-PE-TE-IF-0032.pdf?sequence=1.

Melendi, Daniel. *CCT MENDOZA.* 2009. http://www.cricyt.edu.ar.

Ministerio de agricultura. alimentacion y medio ambiente españa. *Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes.* 2015. http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html.

Ministerio del medio ambiente chile. *Registro de emisiones y transferencias de contaminantes.* 2012. http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-42143.html (último acceso: 21 de Diciembre de 2015).

Quezada Romero, Edison Miguel, y Diego Fernando Torres Gualan. «Implementacion de un generador de celda seca en un vehiculo chevrolet steem 1.6L.»

Quispe Gutierrez, Mario. «DOCSLIDE.» 2015.

Ramos, Marc Fábrega. «HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.» *SCRIBD.* 2009. https://es.scribd.com/doc/298535127/71/Temperatura-de-autoencendido.

Rivas, Pamela. *Reporte experimental electrolisis.* 2013. http://pamelarivas108e4.blogspot.com/2011/10/reporte-experimental-electrolisis.html?m=1.

Rivera, Lina. «slideshare.» 3 de Septiembre de 2013. http://es.slideshare.net/PaulaPardo10/reacciones-de-combustin-en-la-industria-automotriz.

Said, Adip. *Biology Cabinet.* 2007. http://www.biocab.org/Bioxido_de_Carbono_CO2.html.

Universidad de antioquia. *Hidrógeno como combustible.* 2010. http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/gea/COMBUSTIBLE.htm (último acceso: 7 de Diciembre de 2015).

Universidad de Arizona. *El proyecto Biologico - bioquimica.* Julio de 2005. http://www.biologia.arizona.edu/biochemistry/tutorials/chemistry/page3.html (último acceso: 17 de enero de 2016).

14.ANEXOS

Materiales necesarios para el ensamblaje del reactor donde se realiza la electrólisis.

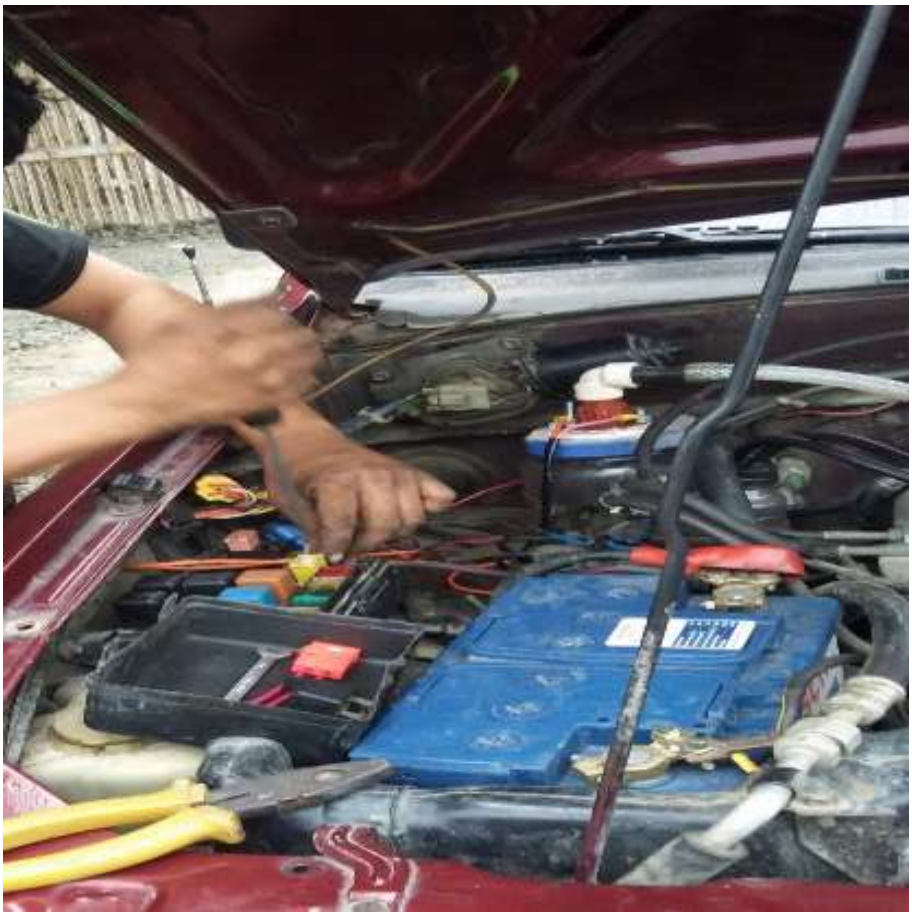
Celda conductora de energía eléctrica ya ensamblada antes de ubicarla dentro del reactor.

Perforación de tapa del reactor e inserción de tubo de salida de gas.

Arresta llama preparado para la instalación en el sistema.

Selección de lugar en el vehículo donde se va a instalar el sistema.

Instalación del sistema de aplicación de hidrógeno (obtenido mediante electrólisis del agua) en motor de combustión interna a gasolina.



Instalación eléctrica para el encendido y apagado del sistema de aplicación de hidrógeno desde el tablero del vehículo.

Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado para una distancia larga 185 km.

Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido para una distancia larga 185 km.

Prueba 1: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado para una distancia corta 15 km a menor velocidad.

Prueba 1: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido para una distancia corta 15 km a menor velocidad.

Prueba 2: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado para una distancia corta 15 km a menor velocidad.

Prueba 2: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido para una distancia corta 15 km a menor velocidad.

Prueba 3: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado para una distancia corta 15 km a mayor velocidad.

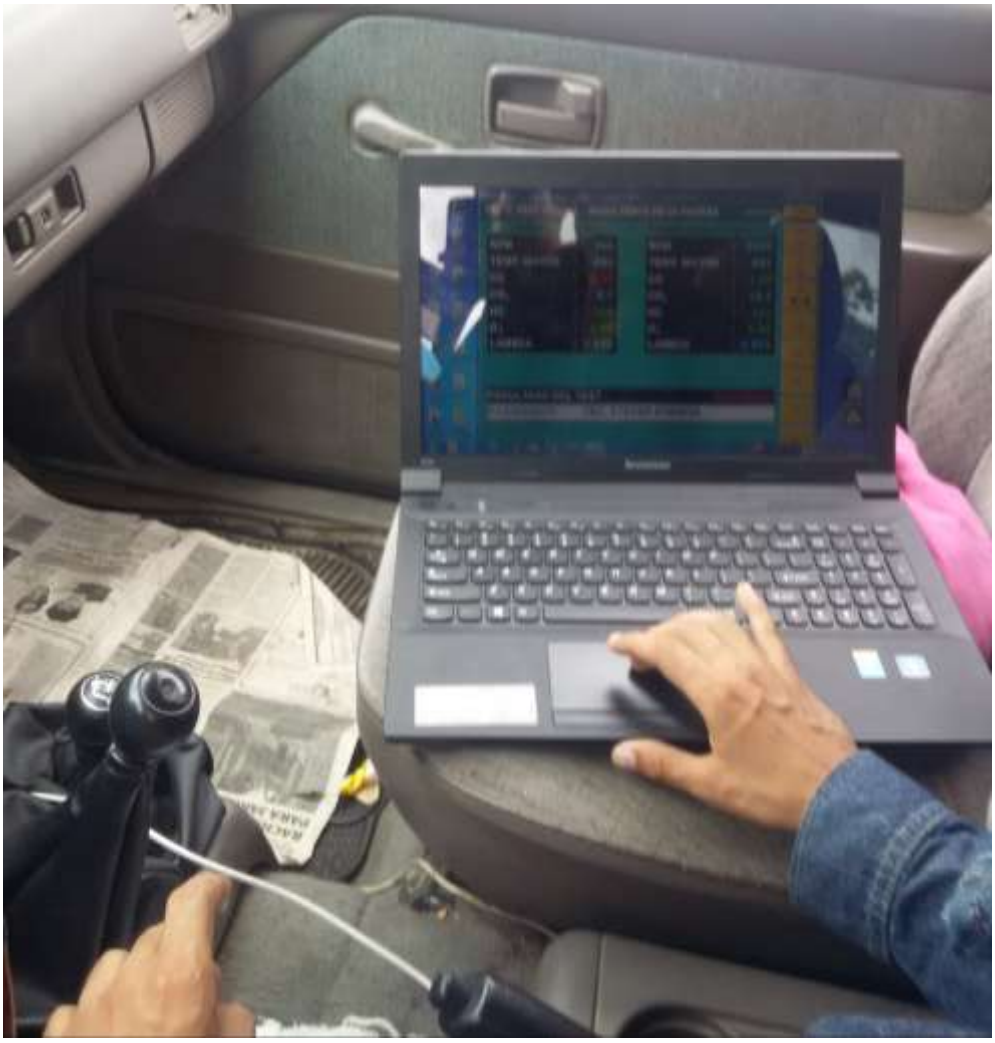
Prueba 3: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido para una distancia corta 15 km a mayor velocidad.

Prueba 4: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado para una distancia corta 15 km a mayor velocidad.

Prueba 4: Consumo de combustible con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido para una distancia corta 15 km a mayor velocidad.

Técnico de la empresa Elicrom CIA. Ltda. preparando el vehículo para los análisis de gases del tubo de escape con el sistema de aplicación de hidrógeno apagado y encendido.

Inserción de dispositivo de medición de gases emanados por el tubo de escape.



Observación de resultados de análisis de gases emitidos por el tubo de escape con el sistema de aplicación de hidrógeno encendido y apagado.

MEDICIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN EN FUENTES MÓVILES

PROYECTO DE TESIS:

ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

UBICACIÓN: PROVINCIA DE MANABÍ – PORTOVIEJO
AVENIDA JOSÉ MARÍA URBINA

INFORME DE ENSAYO N° IEM-0093-01-16

TÉCNICOS RESPONSABLES

ING. JUAN VILLA
TÉC. STEVEN ATIENCIA

(Guayaquil – Ecuador)

FEBRERO 2016

Autorizado por: Ing. Shirley Sáenz.
Elicrom Cía. Ltda.

Dirección: Cdla Guayaquil Mz. 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol; Pbx: 2282007; Cel: 099337519, 099448710; jvilla@elicrom.com
GUAYAQUIL - ECUADOR

1 INTRODUCCIÓN

VICTOR BENITEZ CABRERA Y JHONNY MOREIRA RIVERA, solicitaron realizar la medición de gases de combustión en fuentes móviles para el proyecto de tesis denominado: ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, con el equipo detallado en el numeral 6 del presente informe. ELICROM Cía. Ltda., presentó una propuesta técnica económica, la cual fue aprobada generando la orden de trabajo No OT-0093-16.

La ejecución de este trabajo fue asignado por la Ing. Shirley Sáenz, Coordinadora Técnica del Laboratorio de Medio Ambiente de ELICROM, al Ing. Juan Villa, Técnico del Laboratorio de Medio Ambiente quien lideró las operaciones de coordinación, preparación, muestreo y análisis.

Las mediciones fueron llevadas a cabo el día 16 de febrero del 2016, con el respectivo apoyo y supervisión del Sr. Víctor Benítez.

2 DEFINICIONES

Aceleración Libre M.C.I Diesel: Aumento de las velocidades del motor diesel, desde la condición de marcha al ralentí hasta un máximo de 3,500 r.p.m., controlada por el sistema de inyección, por el efecto de incrementar rápida pero no bruscamente el flujo de combustible al motor. Esta aceleración se ejecuta con la caja de velocidades en la posición neutral.

Aceleración Libre M.C.I Gasolina: Aumento de las velocidades del motor gasolina o combustible alterno, desde la condición de marcha al ralentí hasta un máximo de 2,500 r.p.m., controlada por el sistema de inyección, por el efecto de incrementar rápida pero no bruscamente el flujo de combustible al motor. Esta aceleración se ejecuta con la caja de velocidades en la posición neutral.

Combustible Gasolina: es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo que se utiliza como combustible en motores de combustión interna. Tiene una densidad de 720 g/L (un 15% menos que el gasoil).

Combustible GLP: El **gas licuado del petróleo** (**GLP**) es la mezcla de gases condensables presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de condensar, de ahí su nombre

Emisión: Es la transferencia o descarga de sustancias contaminantes del aire desde la fuente a la atmósfera libre.

3 UBICACIÓN DE LA FUENTE ANALIZADA

La fuente analizada se encuentra ubicada en la Provincia de Manabí; Portoviejo – Avenida José María Urbina. Las coordenadas geográficas UTM son: latitud 0, longitud 9.

Dirección: Cdla Guayaquil Mz. 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol; Pbx: 2282007; Cel: 099337519, 099448710; jvilla@elicrom.com
GUAYAQUIL - ECUADOR

PROYECTO DE TESIS

4 IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE ANALIZADA

La fuente analizada es parte del proyecto de tesis denominado: ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DETERMINAR EL IMPACTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

5 CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales del sitio de muestreo fueron:

- 16 de febrero del 2016 - Temperatura Media 31,6°C, Humedad Relativa 53,0%HR.

6 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS

6.1 Opacímetro

- Código Interno: EL.EM.064
- Marca: Brain Bee
- Modelo: OPA - 100
- Serie: 121001000010
- Calibrado: 07 de Abril del 2015
- Vigente: Abril del 2016

6.2 Termohigrómetro

- Código Interno: EL.PT.212
- Marca: ELICROM
- Modelo: EC 900
- Calibrado: 08 de Enero del 2016
- Vigente: Julio del 2016

Dirección: Cdla Guayaquil Mz. 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol; Pbx: 2282007; Cel: 099337519, 099448710; jvilla@elicrom.com
GUAYAQUIL - ECUADOR

7 DESCRIPCION DE LOS VEHÍCULOS ANALIZADOS

N° VEHÍCULO	PLACA	MARCA	MODELO	AÑO	COMBUSTIBLE
1	OCH-0485	CHEVROLET	RODEO 4X4 DLX T/M A/C 2.6L	1997	GASOLINA

8 RESULTADOS

PRUEBA EN ACELERACIÓN CON SISTEMA DE APLICACIÓN DE HIDRÓGENO ENCENDIDO								
N° VEHÍCULO	MARCA	MODELO	PLACA	AÑO	% Vol CO	% Vol CO_2	% Vol O_2	ppmVolHC
1	CHEVROLET	RODEO 4X4 DLX T/M A/C 2.6L	OCH-0485	1997	1,10	14,4	0,32	101

PRUEBA EN ACELERACIÓN CON SISTEMA DE APLICACIÓN DE HIDRÓGENO APAGADO								
N° VEHÍCULO	MARCA	MODELO	PLACA	AÑO	% Vol CO	% Vol CO_2	% Vol O_2	ppmVolHC
1	CHEVROLET	RODEO 4X4 DLX T/M A/C 2.6L	OCH-0485	1997	1,51	14,0	0,41	139

Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio ELICROM MEDIO AMBIENTE. El presente informe se refiere solamente al sitio descrito en el numeral 3 de este informe en las condiciones ambientales descritas al momento del ensayo en el numeral 5.

Dirección: Ciña Guayaquil Mz. 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol; Pbx: 2282007; Cel: 099337519, 099448710; jvilla@elicrom.com
GUAYAQUIL - ECUADOR

GLOBALTECH

LAUNCH tektiro BrainBee
G-SCAN LIFTS GT SUPER TOOLS VTEQ

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OPACÍMETRO OPA-100

Quito, 07 de abril de 2015

Como representantes autorizados de la marca Brain Bee para Ecuador y Colombia, certificamos que el **OPACÍMETRO** modelo **OPA-100**, Serie No. **121001000010** fue calibrado satisfactoriamente con fecha **07 de abril de 2015** cumpliendo con las normas de precisión establecidas por el fabricante del equipo.

Para este procedimiento se utilizó el kit de calibración compuesto por 3 filtros/lentes patrón, provisto por el fabricante del equipo.

Los datos de los filtros/lentes patrón son:

FILTRO No. 1: SN.131029000114 / OPACIDAD CERTIFICADA N=16.23%
FILTRO No. 2: SN.131029000111 / OPACIDAD CERTIFICADA N=29.17%
FILTRO No. 3: SN.131029000108 / OPACIDAD CERTIFICADA N=39.98%

Como referencia adjuntamos los Certificados de Determinación del Valor de los 3 filtros/lentes patrón

Nota: La calibración tiene validez de un año calendario a partir de la presente fecha

Atentamente,

IVAN AVILA
GERENTE GENERAL
GLOBALTECH

GLOBALTECH

DIRECCIÓN: Calle Luis Napoleón Dillon N39-102
EMAIL: info@globaltech-car.com WEBSITE: www.globaltech-car.com
TELF: 2524436-2396843-0987264813
QUITO-ECUADOR