



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DUAL FUEL,  
HIDRÓGENO / GASOLINA EN UN VEHÍCULO DE  
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”**

**ÁLVARO VLADIMIR BENÍTEZ GAIBOR  
MARCO ANTONIO RAMOS VALLE**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-11-14

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ÁLVARO VLADIMIR BENÍTEZ GAIBOR**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DUAL FUEL, HIDRÓGENO /  
GASOLINA EN UN VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Víctor David Bravo M.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ángel Jácome D.  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-11-14

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**MARCO ANTONIO RAMOS VALLE**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DUAL FUEL, HIDRÓGENO /  
GASOLINA EN UN VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Víctor David Bravo M.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ángel Jácome D.  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ÁLVARO VLADIMIR BENÍTEZ GAIBOR

**TÍTULO DE LA TESIS:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DUAL FUEL, HIDRÓGENO / GASOLINA EN UN VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.”

**Fecha de Examinación:** 2013-11-08

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor David Bravo M. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Ángel Jácome D. ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MARCO ANTONIO RAMOS VALLE

**TÍTULO DE LA TESIS:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DUAL FUEL, HIDRÓGENO / GASOLINA EN UN VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.”

**Fecha de Examinación:** 2013-11-08

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor David Bravo M. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Ángel Jácome D. ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Álvaro Vladimir Benítez Gaibor

---

Marco Antonio Ramos Valle

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mis padres, Roció Gaibor y Marcelo Benítez los cuales siempre han sido un ejemplo de perseverancia y superación, enseñándome lo que realmente importa en la vida, la familia. A mis hermanos por su apoyo incondicional, por sus consejos, por su ejemplo, y a todos ellos por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

Por ellos es que soy lo que soy ahora y los aprecio con toda mi vida.

**Álvaro Benítez Gaibor**

Quiero dedicar este logro a Dios por regalarme el don de la vida. A mi madre Doris Valle por todo su amor y por luchar día a día a mi lado para hacer de mí un hombre de bien. A mi padre Marcos Ramos por sus invaluable consejos y apoyo en todo momento. A mi hermano David Ramos por ser el mejor amigo que puedo tener. Y a todos mis familiares que con mucho cariño han formado parte de este gran sueño y que ahora se hace realidad.

**Marco Ramos Valle**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre por ser un ejemplo de vida y superación.

A mi padre por guiarme a través de la vida y cuidar mis pasos.

A mis hermanos por brindarme el apoyo para culminar mi carrera profesional.

A mis profesores que a lo largo de mi vida supieron inculcar su conocimiento y deseos de superación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo prestigiosa universidad la cual nos abrió sus puertas preparándonos para un futuro competitivo.

Y a mis amigos que siempre estuvieron presentes prestando su apoyo incondicional.

**Álvaro Benítez Gaibor**

Agradezco a Dios, a mis padres y a mi hermano ya que sin ellos no hubiese logrado alcanzar esta gran meta. Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a todos los docentes y administrativos de la Escuela de Ingeniería Automotriz, quienes con sabiduría han sabido guiarme por el camino del conocimiento y los valores humanos. Agradezco al Director y Asesor de tesis por todo su tiempo invertido en este proyecto y a mis compañeros de clases con quienes he aprendido el verdadero valor de la amistad.

**Marco Ramos Valle**



# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.2.1 <i>Justificación técnica</i> .....	2
1.2.2 <i>Justificación socio – económica</i> .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Sistemas híbridos de alimentación.....	4
2.1.1 <i>Sistemas bi-fuel</i> .....	4
2.1.2 <i>Sistemas dual-fuel</i> .....	4
2.2 Celdas de hidrógeno.....	5
2.2.1 <i>Celda de combustible</i> .....	5
2.2.2 <i>Celda generadora de hidrógeno</i> .....	6
2.3 Funcionamiento.....	7
2.3.1 <i>Etapa de abastecimiento</i> .....	7
2.3.1.1 <i>Abastecimiento</i> .....	7
2.3.1.2 <i>Carga inicial</i> .....	8
2.3.2 <i>Etapa de generación</i> .....	8
2.3.2.1 <i>Burbujeador</i> .....	9
2.3.3 <i>Etapa de alimentación</i> .....	11
2.4 Gases productos de la combustión.....	11
2.4.1 <i>Dióxido de carbono</i> .....	11
2.4.2 <i>Monóxido de carbono</i> .....	12
2.4.3 <i>Óxidos de nitrógeno</i> .....	13
2.4.4 <i>Hidrocarburos</i> .....	13
2.4.5 <i>Oxígeno</i> .....	14
2.4.6 <i>Agua</i> .....	15
2.4.7 <i>Nitrógeno</i> .....	15
2.4.8 <i>Sustancias sólidas (polvo, hollín)</i> .....	16
<b>3. CONSTRUCCIÓN DE LAS CELDAS GENERADORAS DE HIDRÓGENO</b>	
3.1 Materiales.....	17
3.1.1 <i>Acero inoxidable</i> .....	17
3.1.2 <i>Aislante</i> .....	18
3.1.3 <i>Pernos y tuercas</i> .....	20
3.1.4 <i>Acrílico</i> .....	20
3.1.5 <i>Resinas acrílicas</i> .....	21
3.2 Reactivos.....	22
3.2.1 <i>Agua destilada y desmineralizada</i> .....	22
3.2.1.1 <i>Hidrógeno</i> .....	23
3.2.1.2 <i>Oxígeno</i> .....	24
3.2.2 <i>Electrolito</i> .....	24
3.3 Construcción.....	26

3.4	Especificaciones técnicas.....	31
3.4.1	<i>Solución</i> .....	31
3.4.2	<i>Placas de acero</i> .....	31
3.4.3	<i>Aislante</i> .....	31
<b>4.</b>	<b>DESARROLLO DEL SISTEMA DUAL-FUEL</b>	
4.1	Componentes y materiales.....	32
4.2	Construcción.....	34
4.2.1	<i>Depósito</i> .....	34
4.2.2	<i>Burbujeador</i> .....	35
4.3	Especificaciones técnicas.....	36
4.3.1	<i>Depósito</i> .....	36
4.3.2	<i>Tuberías</i> .....	37
4.3.3	<i>Fusible</i> .....	38
4.3.4	<i>Cable eléctrico</i> .....	38
4.3.5	<i>Conectores rápidos</i> .....	39
4.4	Etapa de generación.....	39
4.4.1	<i>Balance químico</i> .....	39
4.4.2	<i>Análisis de la producción de hidrógeno</i> .....	41
4.4.3	<i>Análisis de la relación hidrógeno-gasolina</i> .....	47
4.5	Acoplamiento.....	50
<b>5.</b>	<b>INSTALACIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO</b>	
5.1	Generalidades.....	52
5.2	Precauciones y seguridad.....	52
5.3	Proceso de instalación.....	53
<b>6.</b>	<b>PRUEBAS EN EL VEHÍCULO ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA</b>	
6.1	Pruebas mecánicas.....	58
6.1.1	<i>Potencia y torque</i> .....	58
6.1.2	<i>Estado de las cámaras de combustión</i> .....	64
6.2	Análisis de gases.....	67
6.2.1	<i>Prueba estática</i> .....	68
6.2.1.1	<i>Medición con marcha en vacío</i> .....	68
6.2.2	<i>Medición con marcha en vacío acelerada</i> .....	71
6.2.3	<i>Prueba dinámica</i> .....	73
6.3	Consumo.....	79
6.3.1	<i>Prueba en ciudad</i> .....	80
6.3.2	<i>Prueba en carretera</i> .....	81
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DEL SISTEMA</b>	
7.1	Análisis técnico.....	83
7.1.1	<i>Combustión</i> .....	83
7.1.2	<i>Potencia / torque</i> .....	86
7.1.3	<i>Estado de las cámaras de combustión</i> .....	86
7.3.4	<i>Rendimiento efectivo</i> .....	90
7.1.5	<i>Consumo específico</i> .....	93
7.2	Análisis ambiental.....	94
7.2.1	<i>Análisis ambiental estático a 1000 RPM</i> .....	94

7.2.2	<i>Análisis ambiental estático a 2500RPM</i> .....	95
7.2.3	<i>Análisis ambiental dinámico</i> .....	96
7.3	Análisis económico.....	97
7.3.1	<i>Ahorro de combustible</i> .....	97
7.3.2	<i>Costo de producción</i> .....	98
<b>8.</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	
8.1	Introducción.....	99
8.2	Especificaciones técnicas.....	100
8.3	Esquema y componentes.....	100
8.4	Mantenimiento.....	103
8.5	Precauciones y seguridad.....	103
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
9.1	Conclusiones.....	105
9.2	Recomendaciones.....	106

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**  
**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Propiedades del CO <sub>2</sub> ..... 11
2	Propiedades CO ..... 12
3	Propiedades NO <sub>x</sub> ..... 13
4	Propiedades del oxígeno ..... 14
5	Propiedades H <sub>2</sub> O..... 15
6	Propiedades del nitrógeno..... 15
7	Propiedades del hidrógeno..... 23
8	Octanaje de combustibles ..... 24
9	Principales electrolitos..... 25
10	Propiedades del hidróxido de potasio ..... 25
11	Materiales ..... 32
12	Propiedades hidrógeno/gasolina ..... 39
13	Balance químico sin HHO ..... 40
14	Balance químico con HHO..... 40
15	Especificaciones técnicas vehículo de prueba ..... 57
16	Resultados y promedios del análisis de potencia y torque..... 63
17	Análisis de gases prueba estática (1000RPM)..... 69
18	Análisis de gases prueba estática (2500 RPM)..... 71
19	Análisis de gases prueba dinámica ..... 77
20	Análisis de consumo de combustible en ciudad ..... 81
21	Análisis de consumo de combustible en carretera ..... 82
22	Análisis de gases dinámico ..... 96
23	Mantenimiento del Sistema Dual-Fuel ..... 103

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Celda de combustible .....	5
2	Generador de hidrógeno .....	6
3	Sistema generador de hidrógeno .....	6
4	Depósito .....	7
5	Carga inicial del sistema .....	8
6	Agua destilada y desmineralizada e hidróxido de potasio .....	9
7	Burbujeador .....	10
8	AISI 316 .....	17
9	Neopreno .....	18
10	Pernos y tuercas .....	20
11	Acrílico .....	20
12	Resinas acrílicas .....	21
13	Agua destilada y desmineralizada .....	22
14	Hidróxido de potasio .....	26
15	Placas de acero A .....	27
16	Placas de acero B .....	27
17	Aislantes .....	28
18	Placas de acero C .....	28
19	Placas de acero D .....	29
20	Celdas generadoras .....	30
21	Ensamble depósito .....	35
22	Ensamblaje burbujeador .....	36
23	Esquema de celdas generadoras .....	41
24	Electrólisis .....	44
25	Relación H <sub>2</sub> /gasolina (gramos) .....	49
26	Relación H <sub>2</sub> /gasolina (moles) .....	50
27	Ubicación de las celdas .....	53
28	Esquema eléctrico .....	54
29	Verificación de conexiones eléctricas .....	55
30	Carga de la solución .....	55
31	Personal CORPAIRE .....	56
32	Vehículo de prueba .....	57
33	Desarrollo pruebas potencia- torque .....	58
34	Banco de potencia A .....	59
35	Gráfica potencia/torque prueba 1 .....	60
36	Gráfica potencia/torque prueba 2 .....	61
37	Gráfica potencia/torque prueba 3 .....	62
38	Gráfico comparativo del análisis de potencia con y sin HHO .....	63
39	Gráfico comparativo del análisis de torque con y sin HHO .....	64
40	Pruebas / estado cámaras de combustión .....	64
41	Pistones antes de la instalación del sistema .....	65
42	Cabezote antes de la instalación del sistema .....	65
43	Pistones después de la instalación del sistema .....	66
44	Cabezote después de la instalación del sistema .....	66
45	Analizador de gases .....	67
46	Desarrollo prueba análisis de gases .....	68
47	Resultados análisis de gases-estática (1000RPM) A .....	69
48	Resultados análisis de gases-estática (1000 RPM) B .....	70

49	Resultados análisis de gases-estática (1000 RPM) C.....	70
50	Resultados análisis de gases-estática (2500 RPM) A.....	71
51	Resultados análisis de gases-estática (2500 RPM) B.....	72
52	Resultados análisis de gases-estática (2500 RPM) C.....	72
53	Banco de potencia B.....	73
54	Análisis de gases prueba dinámica.....	73
55	Análisis de gases prueba dinámica 1.....	74
56	Análisis de gases prueba dinámica 2.....	75
57	Análisis de gases prueba dinámica 3.....	76
58	Análisis de gases prueba dinámica A.....	77
59	Análisis de gases prueba dinámica B.....	78
60	Análisis de gases prueba dinámica C.....	78
61	Cuantificador de consumo de combustible .....	80
62	Desarrollo pruebas consumo .....	80
63	Consumo de combustible / ciudad .....	81
64	Consumo de combustible / carretera .....	82
65	Rendimiento con y sin HHO .....	92
66	Consumo específico con y sin HHO .....	94
67	Celda generadora.....	101
68	Depósito .....	101
69	Burbujeador.....	102
70	Esquema del sistema .....	102

## SIMBOLOGÍA

$Qt_{HHO}$	Caudal teórico de HIDROXI	$m^3/seg$
$Q_{HHO}$	Caudal asumido de HIDROXI	$m^3/seg$
$Qt_O$	Caudal total de $O_2$	$m^3/seg$
$Qt_H$	Caudal total de $H_2$	$m^3/seg$
t	Tiempo	seg
$V_O$	Volumen de $O_2$	$m^3$
$V_H$	Volumen de $H_2$	$m^3$
$Q_H$	Caudal de $O_2$ generado por cada placa	$m^3/seg$
$Q_H$	Caudal de $H_2$ generado por cada placa	$m^3/seg$
F	Constante de Faraday	C/mol
As	Área de las placas en contacto con la solución	$m^2$
Pt	Número total de placas	-
np	Número de placas neutras	-
$P_{\pm}$	Número de placas + y -	-
c	Número de celdas	-
a	Ancho de celdas	m
e	Espesor de placas	m
h	Altura de placas neutras	m
H	Altura de placas + y -	m
a	Ancho de placas	m
Ce	Conductividad	S/m
$Ap_{\pm}$	Área de cada placa + y -	$m^2$
$At_{\pm}$	Área total placas + y -	$m^2$
$Ap_n$	Área placa neutra	$m^2$
$At_n$	Área total de placas neutras	$m^2$
AT	Área total de placas	$m^2$
$Apa$	Área aislante por placa	$m^2$
Aa	Área total de aislante	$m^2$
Q	Caudal	$m^3/seg$
cs	Consumo específico	g/wh
Di	Diámetro interno	m
E	Energía	J
$H_f^{\circ}$	Entalpía de formación	J/mol

$I_c$	Intensidad de cálculo	A
$I_n$	Intensidad nominal	A
$I_{max}$	Intensidad máxima	A
$\rho$	Densidad	$g/m^3$
$\rho_H$	Densidad del $H_2$	$g/m^3$
$\rho_O$	Densidad del $O_2$	$g/m^3$
$\rho_{comb}$	Densidad de la gasolina	$g/m^3$
$\dot{m}_g$	Flujo de gasolina	$g/seg$
$z$	Número de ciclos de combustión	-
$i$	Número de cilindros	-
$n$	Número de revoluciones	rpm
$\mu$	Viscosidad dinámica del fluido	Pa/seg
$m$	Masa	g
$m_H$	Masa de $H_2$	g
$m_O$	Masa de $O_2$	g
$m_g$	Masa de gasolina	g
$m_c$	Masa de combustible	g
$H_i$	Poder calorífico inferior de la gasolina	J/g
$P$	Potencia	w
$P_e$	Potencia efectiva del motor	w
$r$	Radio	m
$n_T$	Rendimiento total	-
$T$	Torque	Nm
	Velocidad	m/seg
$V$	Voltaje	V
$V_{comb}$	Volumen de combustible	$m^3$
$V_g$	Volumen de gasolina	$m^3$
$V_p$	Volumen entre cada placa	$m^3$
$V_t$	Volumen total entre placas	$m^3$



## LISTA DE ABREVIACIONES

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AISI	American Iron and Steel Institute
AWG	American Wire Gauge
CONSEP	Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
NO <sub>2</sub>	Dióxidos de nitrógeno
(g)	Estado gaseoso
(l)	Estado líquido
N	Nitrógeno
N <sub>2</sub>	Nitrógeno molecular
O <sub>2</sub>	Oxígeno
PAN	Nitrato de peroxiacetilo
PMMA	Polimetilmetacrilato
PC	Policarbonato
PS	Poliestireno
PCS	Poder calorífico superior
PCI	Poder calorífico inferior
SAE	Society of Automotive Engineering
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Gasolina
DIN	Deutsches Institut für Normung
E-525	Hidróxido de potasio
HC	Hidrocarburos
HHO	HIDROXI
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
ISO	International Standardization Organization
KOH	Hidróxido de potasio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
CO	Monóxido de carbono
NO	Óxido nítrico

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Norma UNE EN 10020:2001
- B** Cartas de seguridad química (ICSC)
- C** Resistencia química del PVC
- D** Tabla AWG
- E** Norma DIN 70020
- F** Norma ISO 1585
- G** Norma SAE J1349
- H** Norma INEN 2203
- I** Norma INEN 2204
- J** Norma INEN 935
- K** Norma ISO 6145
- L** Análisis del estado de la bujía de encendido (Bosch)

## GLOSARIO

**ALAMBIQUE** Es un aparato utilizado para la destilación de líquidos mediante un proceso de evaporación por calentamiento y posterior condensación por enfriamiento.

**AENOR** “La Asociación Española de Normalización y Certificación es una entidad privada sin fines lucrativos que se creó en 1986. Su actividad contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios. AENOR, a través del desarrollo de normas técnicas y certificaciones, contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios, de esta forma ayuda a las organizaciones a generar uno de los valores más apreciados en la economía actual: la confianza.”

**AISI** “Durante más de un siglo, los productores de acero de América del Norte han dejado sus rivalidades día a día detrás de trabajar como socios y miembros de la American Iron and Steel Institute en la promoción de su misión de influir en la política pública, educar y formar la opinión pública en apoyo de una la industria siderúrgica norteamericana fuerte, sostenible y EE.UU. comprometidos a la fabricación de productos que satisfagan las necesidades de la sociedad.”

**ÁNODO** Electrodo o polo positivo de un generador eléctrico; es el electrodo de mayor potencial.

**AWG** “American Wire Gauge (AWG), también conocida como la Brown & Sharpe calibre del cable, es un normalizado calibre del cable de sistema utilizado desde 1857 en su mayor parte en los Estados Unidos y Canadá para los diámetros de ronda, no ferrosos, sólido, eléctricamente conductor de alambre. El área de la sección transversal de cada indicador es un factor importante para determinar su capacidad de carga.”

**BI-FUEL** Sistema de alimentación de combustible que permite trabajar con dos tipos de combustible a la vez para poner en marcha un motor.

**CARBOXIHEMOGLOBINA** Es la hemoglobina cuando está unida al oxígeno.

**CATALIZADOR** Sustancia capaz de favorecer o acelerar una reacción química sin intervenir directamente en ella.

**CÁTODO** Electrodo o polo negativo de un generador eléctrico; es el electrodo de menor potencial y por el que sale la energía eléctrica.

**CO<sub>CORREGIDO</sub>** CO<sub>no diluido</sub>, CO<sub>corregido</sub>, CO<sub>concentrado</sub>; este valor no lo mide directamente la sonda del equipo, sino que es resultado de los cálculos que hace el equipo, en función del valor de CO<sub>diluido</sub> en productos de combustión y el exceso de aire en productos de combustión. El valor del CO<sub>no diluido</sub> en humos es el valor de referencia que debe tomarse para saber si la combustión presenta exceso de CO. En resumen el CO<sub>corregido</sub> es la medición de CO exento de aire y vapor de agua lo que nos permite obtener un valor de CO más exacto.

**DIN** “La tarea del Instituto Alemán de Normalización DIN, es que, en beneficio del público en general para fomentar el respeto del interés público en materia de normalización proceso ordenado y transparente, organizar, dirigir y moderar.”

**DUAL-FUEL** Sistema de alimentación de combustible que permite escoger entre dos tipos de combustible para poner en marcha un motor.

**ELECTROLITO** Sustancia que, fundida o en disolución acuosa, se disocia en iones, por lo cual es conductora de la electricidad.

**HEMOGLOBINA** Pigmento de la sangre de naturaleza proteica que sirve principalmente para transportar el oxígeno del aparato respiratorio a las células del organismo; se halla en los glóbulos rojos.

**HIDRÓLISIS INVERSA** Consiste en la producción de energía eléctrica a partir de energía química, en este caso se consume hidrógeno para producir electricidad teniendo como subproductos calor y agua.

**HIDROXI** Gas compuesto de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

**INEN** Instituto Ecuatoriano de Normalización. “Es el organismo oficial de la República del Ecuador para la normalización, la certificación y la metrología.”

**INTERCAMBIO IÓNICO** El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase

fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga. Los intercambiadores iónicos son usados para la separación de sales del agua.

ICSC “International Chemical Safety Cards (ICSC) o Tarjetas Internacionales de Seguridad Química son las hojas de datos destinados a proporcionar información de salud esenciales de seguridad y de los productos de una manera clara y concisa. El objetivo principal de las tarjetas es promover el uso seguro de las sustancias químicas en el lugar de trabajo y los principales usuarios objetivo son tanto los trabajadores y los responsables de la seguridad y salud en el trabajo.”

ISO “ISO (Organización Internacional de Normalización) es el mayor desarrollador mundial de las Normas Internacionales voluntarias. Normas Internacionales dan el estado de las especificaciones del arte de productos, servicios y buenas prácticas, ayudando a hacer que la industria sea más eficiente y eficaz. Desarrollado a través de un consenso global, que ayudan a eliminar las barreras al comercio internacional.”

RECONDENSACIÓN Volver a condensar; regresar a su estado original (líquido) una sustancia.

UNE La norma UNE (Una Norma Española), es una norma desarrollada por AENOR.

OXIHEMOGLOBINA Es la hemoglobina cuando está unida al oxígeno.

SAE “SAE International es una asociación global de más de 138.000 ingenieros y técnicos relacionados con la industria aeroespacial, industria automotriz y de vehículos comerciales. Competencias de SAE International son el aprendizaje permanente y el desarrollo de normas de consenso voluntario. Brazo caritativo de SAE International es la Fundación SAE, que apoya muchos programas, incluyendo A World In Motion® y el diseño de la serie colegial.”

SOLUCIÓN Es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí.

## RESUMEN

La Implementación de un Sistema Dual Fuel, Hidrógeno/Gasolina en un Vehículo de Motor de Combustión Interna. Ha sido ejecutada con la finalidad de desarrollar, analizar y comunicar resultados técnicos, ambientales y económicos, para verificar el consumo de combustible, características de la combustión y disminución de los gases contaminantes en el vehículo de prueba.

La investigación se apoya en herramientas de observación y experimentación, utilizando el método deductivo, base metodológica que permitió organizar pruebas y resultados, orientados al aprovechamiento de las propiedades del hidrógeno como combustible para adicionarlo al motor junto con la gasolina. El hidrógeno se obtiene a partir del proceso de electrólisis, que descompone el agua mediante corriente eléctrica en sus átomos constitutivos. Se realizó la construcción, ensamblaje e instalación del sistema generador de hidrógeno, básicamente compuesto por: celdas generadoras, depósito, material eléctrico, tuberías y reactivos.

Posteriormente se llevaron a cabo las pruebas: mecánicas, análisis de gases, consumo de combustible, con la colaboración de la Secretaria del Ambiente en la ciudad de Quito y sus valores fueron comparados con las Normas de Gestión Ambiental del Aire (INEN 2 204: 2002) vigentes en el Ecuador, obteniendo los siguientes resultados: ahorro de combustible al 23.5%, reducción de hidrocarburos no combustionados al 51%, óxidos de nitrógeno al 46%, monóxido de carbono al 2%, incremento de potencia y torque de 0.8 Hp y 3.04 Nm respectivamente, mejor combustión en revoluciones altas y medias.

Con la implementación de este sistema se logró mejorar el rendimiento del motor, quedando la inversión recuperada en el primer año de la instalación del equipo, además beneficios como: incremento de la efectividad y una disminución del consumo específico del vehículo, reduciendo la cantidad de gases nocivos hacia el ambiente. Se recomienda utilizar los resultados obtenidos en este proyecto para futuras investigaciones.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo automotriz día a día va evolucionando en todos sus ámbitos, enfocados siempre a obtener un mayor rendimiento de nuestro vehículo, una mayor eficiencia de los sistemas y un mejor cuidado del ambiente, para alcanzar estos propósitos continuamente se desarrollan productos y se mejoran sistemas complementarios a nuestro vehículo.

En el apogeo de la utilización de energías alternativas en vehículos, encontramos una gran variedad de opciones, de las cuales en nosotros despertó un particular interés el uso del hidrógeno como combustible complementario, debido a su fácil y económica obtención además de sus excelentes propiedades como combustible alternativo.

Es así que nosotros como futuros ingenieros automotrices hemos encontrado la necesidad de analizar y comprobar todos los beneficios que ofrece la utilización de este sistema, por lo tanto será nuestro objeto de análisis en la presente tesis; en la cual se procederá a construir, instalar y ensayar un sistema generador de hidrógeno.

### 1.1 Antecedentes

El notable incremento del parque automotor y el desproporcionado crecimiento de la población han incidido directamente sobre el aumento de la contaminación global, debido a esto todos los vehículos en la actualidad incorporan una serie de sistemas con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes que afectan al ambiente, tratando de mejorar la eficiencia de los motores.

Es lógico entonces entender la función principal y el objetivo de un ingeniero automotriz, el que a su vez se ha plasmado en un proyecto, que busca mediante mínimas modificaciones en un vehículo, mejorar su eficiencia así como tratar de reducir las emisiones contaminantes que éste genera. El presente proyecto pretende desarrollar un sistema de alimentación de combustible para un motor de combustión interna, con la mezcla de gasolina e hidrógeno, producido en el mismo vehículo.

## **1.2 Justificación**

**1.2.1 Justificación técnica.** El desarrollo de la tecnología en el mundo automotriz avanza a pasos agigantados, orientado siempre a la construcción de vehículos más amigables con el ambiente y a su vez un mayor ahorro de combustible. Esto nos incentiva a investigar sobre el agua como fuente de energía, y la construcción de una celda generadora de gas HIDROXI, que descompone el agua en sus átomos constitutivos, teniendo así hidrógeno como combustible y oxígeno como comburente, mediante un proceso de electrólisis.

El hidrógeno posee altas propiedades combustibles, el mismo que al mezclarse con la gasolina, da como resultado un combustible mucho más eficiente y con poder calorífico más elevado. Además se verificará el efecto de detergencia del hidrógeno, para limpiar la carbonilla producida por la gasolina en las cámaras de combustión, cabezas de válvulas, bujías, pistones, etc.; permitiendo al motor extender su vida útil.

**1.2.2 Justificación socio – económica.** El desarrollo de las principales ciudades en el Ecuador en los últimos años ha sido notable, así como también el crecimiento del parque automotor y la utilización del petróleo como principal fuente de combustible para los diferentes tipos de vehículos, todo esto ha derivado en un incremento de la contaminación del ambiente, llegando a niveles nocivos para los seres vivos.

Esto ha motivado la realización del presente proyecto de tesis, con el fin de investigar sobre una nueva energía alternativa para los vehículos, con ello se espera obtener beneficios a corto y largo plazo, mediante la instalación de un generador de gas HIDROXI, intentando obtener un mayor recorrido del vehículo con menor cantidad de gasolina, representando un ahorro en la economía de nuestra familia o empresa, además de disminuir el alto grado de contaminación que producen los vehículos, con el fin de aminorar el índice de enfermedades causadas por la polución.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general.** Implementar un sistema dual-fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna.



### **1.3.2** *Objetivos específicos:*

Conocer el funcionamiento de sistemas dual-fuel, hidrógeno/gasolina y los gases producto de la combustión.

Construir las celdas generadoras de HIDROXI.

Desarrollar un sistema dual fuel, hidrógeno-gasolina.

Instalar un sistema dual-fuel, hidrógeno gasolina, respetando parámetros de seguridad.

Realizar las pruebas correspondientes en el motor de combustión interna antes y después de la instalación del sistema.

Analizar los beneficios del sistema dual fuel, hidrógeno gasolina.

Desarrollar un manual de operación y mantenimiento del sistema dual fuel.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Sistemas híbridos de alimentación

**2.1.1** *Sistemas bi-fuel.* En el sistema de alimentación Bi-Fuel el vehículo se puede alimentar con dos tipos de combustibles, uno a la vez, en este caso el conductor puede elegir entre uno de los dos combustibles. La conversión a este sistema permite la adaptación en los motores a gasolina sin necesidad de cambiar o modificar el diseño del motor. Las partes del sistema se instalan en el exterior del motor y no requiere modificación o alteración de ningún parámetro crítico del motor.

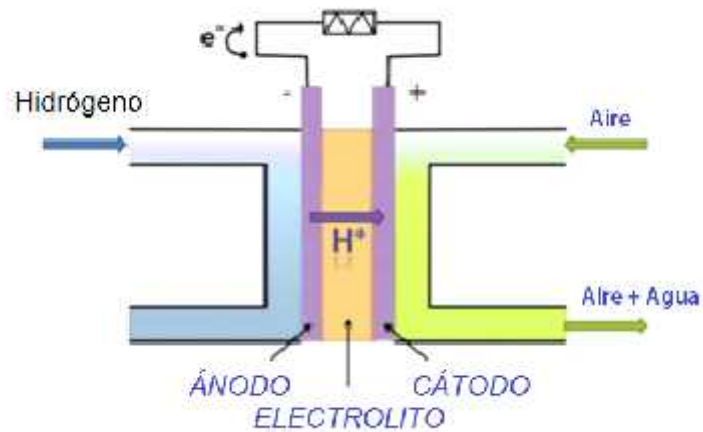
**2.1.2** *Sistemas dual-fuel.* En este sistema de alimentación ingresan a las cámaras de combustión dos clases de combustibles los cuales son premezclados en la admisión del motor, para luego inyectar la mezcla en las cámaras de combustión. Como combustible primario generalmente se utiliza la gasolina y como alternativo tenemos etanol, GLP o hidrógeno, entre los más utilizados.

Al igual que en el caso anterior el motor no sufre ninguna modificación para la adaptación del sistema, los diferentes componentes del mismo se montan externamente. Todas las características técnicas del motor permanecen inalterables luego de la instalación del sistema dual-fuel.

## 2.2 Celdas de hidrógeno

### 2.2.1 Celda de combustible

Figura 1. Celda de combustible



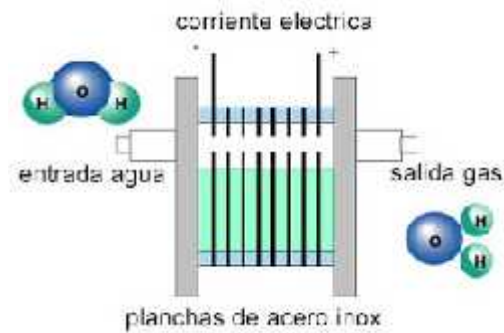
Fuente: <http://www.cnh2.es/info-h2/pilas-de-combustible>

Son dispositivos electroquímicos que convierten directamente energía química en eléctrica, con una alta eficiencia, baja emisión de contaminantes, operación silenciosa e instalación rápida, sin partes móviles internas. Las células de combustible operan de forma similar a las pilas secas, excepto que para la producción continua de electricidad requieren el suministro continuo de hidrógeno como combustible. Funcionan bajo el principio de intercambio de carga electrolítica entre una placa de ánodo positiva y una placa de cátodo negativa.

Cuando se utiliza hidrógeno como combustible básico se produce hidrólisis inversa, produciendo agua y calor como subproductos, sin producir contaminantes. La célula de combustible convierte la energía química de un combustible en electricidad directamente, sin ningún ciclo de combustión intermedio.

### 2.2.2 Celda generadora de hidrógeno

Figura 2. Generador de hidrógeno



Fuente: <http://descargas-eared.blogspot.com/2012/07/sistemas-de-produccion-de-hidrogeno.html>

La celda generadora de hidrógeno, funciona mediante un principio llamado electrólisis, el cual funciona mediante la aplicación de una corriente eléctrica producida por el mismo vehículo a la celda generadora. La celda está llena de agua destilada y desmineralizada combinada con un electrolito, para mejorar la conducción de la corriente a través del agua. La corriente descompone el agua en sus átomos constitutivos, es decir dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, este gas también es denominado como HHO o HIDROXI.

A continuación se presenta un esquema de un sistema generador de hidrógeno:

Figura 3. Sistema generador de hidrógeno



Fuente: Autores

## 2.3 Funcionamiento

### 2.3.1 Etapa de abastecimiento

**2.3.1.1 Abastecimiento.** La etapa de abastecimiento comprende todo el proceso encargado de proveer de un flujo uniforme de solución a las celdas generadoras y únicamente necesita de los siguientes elementos:

- Depósito.
- Tuberías.
- Acoples.

Figura 4. Depósito



Fuente: Autores

Para el depósito se utilizará un recipiente cilíndrico el cual en su parte superior posee tres orificios, el más grande se utiliza para cargar con solución al sistema, así como para recargar el mismo con agua destilada y desmineralizada, este es sellado por una tapa roscada; los otros dos orificios de menor diámetro corresponden a la entrada y salida de HIDROXI respectivamente puesto que el mismo depósito hace las veces de burbujeador, en la parte inferior del depósito se encontrará únicamente un orificio que sirve para abastecer permanentemente a las celdas generadoras de solución a través de una tubería y por medio de la gravedad por lo cual el depósito debe ubicarse siempre a la mayor altura posible con respecto a las celdas generadoras.

**2.3.1.2 Carga inicial.** Para la carga inicial del sistema en primer lugar es necesario asegurar que todos los conductos y acoples se encuentren correctamente conectados para así evitar cualquier tipo de fuga, con la ayuda de un embudo se carga la solución a través del orificio más grande del depósito, la cual debe llegar hasta las celdas generadoras y ocupar las 2/3 partes de la capacidad total del reservorio. Se verifica que no exista ninguna fuga y se tapa el reservorio.

Es importante no olvidar revisar periódicamente el nivel de la solución en el reservorio, donde el nivel en el depósito no debe ser menor a los 2/3 y las recargas deben ser únicamente con agua destilada y desmineralizada.

Figura 5. Carga inicial del sistema



Fuente: Autores

**2.3.2 Etapa de generación.** Cuando la electricidad fluye a través del agua, entre dos placas metálicas que se encuentran sumergidas en la solución, la molécula del agua ( $H_2O$ ) es dividida en átomos HHO, mediante un proceso que se llama electrólisis, para esto se utilizará corriente directa (DC) que fluye de la batería del vehículo.

En términos generales el agua destilada y desmineralizada no es conductor por sí mismo, por esta razón se le añade un catalizador llamado electrolito, permitiendo que la electricidad fluya entre las placas positivas y negativas.

Figura 6. Agua destilada y desmineralizada e hidróxido de potasio



Fuente: Autores

Utilizando agua desmineralizada y destilada, normalmente no fluiría la corriente, esto significa que sin electrolito no habría conductividad. Por otra parte añadiendo una pequeña cantidad de electrolito al agua, entonces la electrólisis comienza y la electricidad hace que se separe el hidrógeno del oxígeno, posterior a este proceso es necesario filtrar este gas por medio de un burbujeador ya que puede contener partículas no favorables para la combustión.

**2.3.2.1 Burbujeador.** Es un dispositivo de seguridad que como principal función hace las veces de válvula unidireccional. En lo referente a su estructura, es un recipiente parcialmente lleno de un líquido, en este caso va a ser el depósito, el cual posee dos orificios conectados a tubos en la parte superior del mismo, el primero y por donde ingresan los gases que provienen del generador, se coloca de tal forma que el tubo vaya sumergido en el líquido y el segundo que corresponde a la salida de los gases, se encuentra sobre el nivel del líquido sin tener contacto con el mismo.

Figura 7. Burbujeador



Fuente: Autores

El burbujeador básicamente cumple tres funciones:

- Ñ Válvula antirreflujo. Los gases que entran por el tubo sumergido en el líquido, burbujan a través del mismo y ascienden hacia la superficie, quedando por encima del nivel de la solución, de esta manera los gases no pueden retornar a las celdas generadoras, quedando atrapados en el depósito.
- Ñ Filtro. Con el pasar de los gases generados en las celdas a través de la solución, se consigue un depurado de los gases eliminando posibles restos de electrólito, evitando además que cualquier agente extraño fuera arrastrado hacia las cámaras de combustión, permitiendo únicamente el paso de HIDROXI.
- Ñ Cortafuegos. El burbujeador cuenta con una cama de líquido no inflamable, en este caso la solución, entre el conducto que llega al motor y el generador de hidrógeno, que servirá para extinguir el caso poco probable de una retro llama, evitando que esta llegue al generador donde existe un mayor volumen de HIDROXI.

Los generadores de HIDROXI solo producen el gas que el motor necesita (gas a demanda), no acumulan este gas en depósitos a alta presión, consiguiendo niveles de seguridad muy altos.



**2.3.3 Etapa de alimentación.** El HIDROXI generado ingresa al motor por la admisión, aprovechando la aspiración o vacío generado por el motor, allí se combina con el combustible del vehículo para posteriormente en las cámaras de combustión quemarse conjuntamente con el aire aspirado por el motor. El HIDROXI hace las veces de comburente (O<sub>2</sub>) y combustible (H<sub>2</sub>), obteniendo de esta forma una mezcla más eficiente y una mejor combustión.

## 2.4 Gases productos de la combustión

### 2.4.1 Dióxido de carbono

Tabla 1. Propiedades del CO<sub>2</sub>

---

<b>Fórmula:</b> CO <sub>2</sub>
<b>Densidad:</b> 1,98 kg/m <sup>3</sup>
<b>Masa molar:</b> 44,01 g/mol
<b>Punto de fusión:</b> -78 °C
<b>Punto de ebullición:</b> -57 °C
<b>Soluble en:</b> Agua

---

Fuente: Autores

*Descripción.* El dióxido de carbono, también denominado óxido de carbono, gas carbónico y anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula molecular es CO<sub>2</sub>. Es un gas incoloro, denso y poco reactivo.

*Efectos.* En los últimos años la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera ha presentado un aumento. Se ha pasado de unas 280 ppm en la era preindustrial a unas 390 ppm en el 2009. Este aumento podría contribuir, según el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático promovido por la ONU, al calentamiento global del clima planetario; dicho calentamiento que se lleva registrando en promedio en la superficie terrestre (0,6 grados Celsius) en los aproximadamente últimos 100 años (MANUEL, 2010).

En lo referente al ser humano la inhalación produce asfixia, causa hiperventilación y la exposición prolongada es peligrosa.

## 2.4.2 Monóxido de carbono

Tabla 2. Propiedades CO

---

<b>Fórmula: CO</b>
<b>Densidad: 1,15 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masa molar: 28,01 g/mol</b>
<b>Denominación de la IUPAC: Carbónmonoxide</b>
<b>Punto de ebullición: -191,5 °C</b>
<b>Soluble en: Agua, Cloroformo, Ácido acético, Etanoato de etilo, Etanol, Hidróxido de amonio, Benceno</b>

---

Fuente: Autores

*Descripción.* El monóxido de carbono también denominado óxido de carbono, gas carbonoso y anhídrido carbonoso cuya fórmula química es CO, es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico, normalmente se encuentra como subproducto de la combustión incompleta de los vehículos.

*Efectos.* Si se respira, aunque sea en moderadas cantidades, el monóxido de carbono puede causar la muerte por envenenamiento en pocos minutos porque sustituye al oxígeno en la hemoglobina de la sangre. La carboxihemoglobina, producto formado, no puede transportar oxígeno; aún más, la presencia de ese compuesto interfiere en la disociación del oxígeno de la oxihemoglobina restante, dificultando así la transferencia de oxígeno a los tejidos.

Una vez respirada una cantidad bastante grande de monóxido de carbono (teniendo un 75% de la hemoglobina con monóxido de carbono) la única forma de sobrevivir es respirando oxígeno puro. Cada año un gran número de personas pierde la vida accidentalmente debido al envenenamiento con este gas. Las mujeres embarazadas y sus bebés, los niños pequeños, las personas mayores y las que sufren de anemia, problemas del corazón o respiratorios, pueden ser mucho más sensibles al monóxido de carbono (Comisión Nacional De Los Derechos Humanos, 1992).

### 2.4.3 Óxidos de nitrógeno

Tabla 3. Propiedades NO<sub>x</sub>

---

<b>Fórmula química:</b> NO <sub>2</sub>
<b>Masa molecular:</b> 46.01 g/mol
<b>Punto de ebullición:</b> 21.2° C
<b>Punto de fusión:</b> -11.2° C
<b>Solubilidad en agua:</b> Buena.
<b>Temperatura crítica:</b> 158° C
<b>Presión de vapor : (KPa a 20° C):</b> 96
<b>Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml):</b> 1.58 g/ml

---

Fuente: Autores

*Descripción.* Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El término NO<sub>x</sub> se refiere a la combinación de ambas sustancias. El dióxido de nitrógeno es el principal contaminante de los óxidos de nitrógeno, y se forma como subproducto en la combustión a altas temperaturas. Se trata de una sustancia de color amarillento, que se forma en los procesos de combustión en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas.

*Efectos.* Los óxidos de nitrógeno una vez liberados al aire por las combustiones forman, a través de reacciones fotoquímicas, contaminantes secundarios, por ejemplo el PAN (nitrato de peroxiacetilo), forma el smog fotoquímico o niebla provocando las conocidas lluvias acidas. Las reacciones producidas en la atmósfera por estos compuestos son muy complejas. Una exposición breve al NO<sub>x</sub> puede provocar irritación del sistema respiratorio y ocular. A largo plazo, los principales efectos pueden ser un desarrollo pulmonar más lento en los niños y la aparición de enfermedades respiratorias crónicas y cerebro-vasculares. Es un gas altamente tóxico (EPA, 1999).

### 2.4.4 Hidrocarburos

*Descripción.* Los hidrocarburos son un amplio grupo de compuestos químicos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno. Los HC son las sustancias más importantes en química orgánica; en la naturaleza se encuentran en el petróleo, gas natural o el carbón. Se pueden emitir HC cuando se fabrican productos hidrocarbonados (ej. en refinerías) así como durante su uso y eliminación (disolventes, plásticos, pinturas, combustibles, residuos, etc.). Las combustiones incompletas son una fuente particular de emisiones de HC. Estas también incluyen los incendios forestales y los cigarrillos (TESTO, 2010).

*Efectos.* Tiene olor característico, además provoca irritación en los ojos, nariz y sistema respiratorio. Existen diversos hidrocarburos que son considerados cancerígenos, participan en la formación del smog y en la generación de oxidante. Los HC también contribuyen al efecto invernadero.

#### 2.4.5 Oxígeno

Tabla 4. Propiedades del oxígeno

---

<b>Símbolo químico: O</b>
<b>Masa molecular: 31,999 g/mol</b>
<b>Temperatura ebullición (1 atm.): -182,97 °C</b>
<b>Temperatura crítica :-118,97° C</b>
<b>Presión crítica: 50,43 bar</b>
<b>Densidad gas (15 °C, 1 atm.): 1,342 g/l</b>
<b>Peso específico (aire=1) :1,105</b>

---

Fuente: Autores

*Descripción.* Elemento químico gaseoso, símbolo O, número atómico 8 y peso atómico 15,9994. Es de gran interés por ser el elemento esencial en los procesos de respiración de la mayor parte de las células vivas y en los procesos de combustión. Es el elemento más abundante en la corteza terrestre. Cerca de una quinta parte (en volumen) del aire es oxígeno. Según LENNTECH, entre sus principales características están:

- Comburente u oxidante.
- Incoloro.
- Inodoro.
- Favorece la vida.
- No inflamable (LENNTECH, 2013).

*Efectos.* Todo ser humano necesita oxígeno para respirar, pero como ocurre con muchas sustancias un exceso de oxígeno no es bueno, lo cual por supuesto no aplica a nuestro estudio. El oxígeno se encuentra de forma natural en el ambiente, es parte del ciclo de la naturaleza como producto de la fotosíntesis de las plantas y es importante para la respiración celular por el metabolismo. Las plantas, peces, microorganismos, etc., necesitan oxígeno para desarrollarse, crecer y poder vivir.

## 2.4.6 Agua

Tabla 5. Propiedades H<sub>2</sub>O

---

<b>Fórmula química:</b> H <sub>2</sub> O
<b>Masa molecular:</b> 18,01528 g/mol
<b>Temperatura ebullición (1 atm.):</b> 100°C
<b>Temperatura crítica:</b> 374°C
<b>Presión crítica:</b> 217.7 atm.
<b>Punto de fusión:</b> 0°C
<b>Presión de vapor:</b> 1 atm (100°C)

---

Fuente: Autores

*Descripción.* El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es incolora, inodora e insípida, además se la puede encontrar en estado sólido, líquido y gaseoso de forma natural. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero como producto de la combustión la encontraremos en forma gaseosa (vapor de agua) o líquida dependiendo de las condiciones ambientales.

*Efectos.* Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida, no es nociva para los seres vivos ni para el ambiente.

## 2.4.7 Nitrógeno

Tabla 6. Propiedades del nitrógeno

---

<b>Símbolo:</b> N
<b>Número:</b> 7
<b>Densidad:</b> 1,2506 kg/m <sup>3</sup>
<b>Masa atómica:</b> 14,0067 u
<b>Punto de ebullición:</b> -196 °C
<b>Punto de fusión:</b> -210 °C

---

Fuente: Autores

*Descripción.* El nitrógeno es un elemento químico, que en condiciones normales forma un gas diatómico (nitrógeno molecular) que constituye el 78% del aire atmosférico. Con el 78 % en volumen, el nitrógeno es el principal componente del aire. Este gas incoloro, inodoro e insípido ingresa con el aire y forma parte de la combustión, pero no tiene un papel directo en la misma; ayuda disipar el calor y se devuelve a la atmósfera.

*Efectos.* En su estado natural el nitrógeno no afecta a los seres humanos ni al ambiente, sin embargo contribuye en parte, junto con el nitrógeno del combustible, a la formación de óxidos de nitrógeno peligrosos.

#### **2.4.8** *Sustancias sólidas (polvo, hollín)*

*Descripción.* Se llama hollín a las partículas sólidas de tamaño muy pequeño, desde unos 100 nanómetros (100 nm) hasta 5 micras (5  $\mu\text{m}$ ) como máximo. En su mayoría compuestas de carbono impuro, pulverizado, y generalmente de colores oscuros más bien negruzco resultante de la combustión incompleta. Su aspecto es similar a la ceniza pero con un tono más negro.

Las sustancias sólidas en los gases de combustión se originan a partir de los constituyentes incombustibles de los combustibles sólidos y líquidos. Estas incluyen, por ejemplo, óxidos de silicio, aluminio, calcio, etc., en el carbón y los sulfatos de diversas sustancias en el fuel-oil pesado.

*Efectos.* El efecto nocivo del polvo sobre las personas está producido particularmente por la deposición de sustancias tóxicas y cancerígenas en las partículas de polvo. Además puede causar conjuntivitis en ojos y lesiones pulmonares por inhalación, sobre todo en ciudades muy contaminadas.

El hollín es el segundo contribuyente humano al calentamiento global por detrás del dióxido de carbono, y su impacto en el cambio climático había sido profundamente subestimado. El hollín solo permanece en la atmósfera de siete a diez días, lo que significa que los esfuerzos para reducir la cantidad de emisiones de "negro de carbón" pueden tener un rápido y dramático impacto en el calentamiento global (TESTO, 2010).

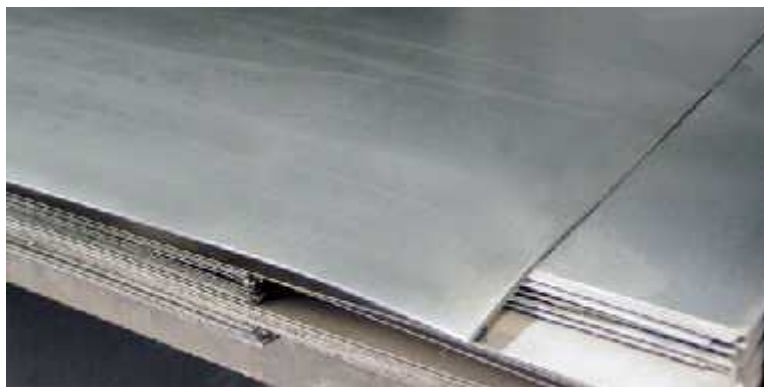
## CAPÍTULO III

### 3. CONSTRUCCIÓN DE LAS CELDAS GENERADORAS DE HIDRÓGENO

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 *Acero inoxidable*

Figura 8. AISI 316



Fuente: [http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=2101](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=2101)

Pese a que el níquel por sus propiedades es el mejor material para construir una celda generadora su precio es demasiado elevado, por lo cual se opta por trabajar con el acero inoxidable. Según la calidad de acero la norma **UNE EN 10020:2001** los clasifica de la siguiente manera, tal lo como se lo puede ver en el Anexo A: Norma UNE EN 10020:2001.

- Aceros no aleados.
- Aceros aleados.
- Aceros inoxidables.

Por sus propiedades el acero inoxidable es el ideal para esta aplicación, debido a que es un acero de elevada resistencia a la corrosión, dado que el cromo, así como otros metales aleantes que contiene, poseen gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

Entre los elementos de aleación, el cromo se destaca al ser un elemento presente en todos los aceros inoxidables por su papel en la resistencia a la corrosión. Los aceros inoxidables son aleaciones ferro-cromo con un mínimo de 11% de cromo (GÓMEZ, 2006).

Dentro de la familia de los aceros inoxidables existen tres tipos los cuales mencionamos a continuación junto con su característica más sobresaliente:

- Austenítico (resistente a la corrosión).
- Ferrítico (bajo precio).
- Martensítico (dureza elevada).

De esos se ha seleccionado por sus propiedades el acero inoxidable austenítico, puesto que presenta una mejor resistencia a la corrosión, son los aceros inoxidables de mayor uso con un 70% de la producción mundial, siendo el AISI 304 el más utilizado. El molibdeno es introducido como elemento de aleación en los aceros inoxidables precisamente para disminuir la susceptibilidad a estas formas de corrosión. La presencia de molibdeno permite la formación de una capa pasiva más resistente y en casos en que el acero inoxidable 304 no resista a la acción de determinados medios, corroyendo por picado o por rendijas, los aceros inoxidables **316** constituyen una excelente solución, siendo ideales para la construcción del generador de gas HIDROXI (AISI 316, 2012).

### 3.1.2 *Aislante*

Figura 9. Neopreno



Fuente: <http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=hesp&mt=hule>



En las celdas generadoras tiene la función de separar las placas y crear una cavidad entre las mismas para albergar a la solución, para el propósito utilizaremos polímeros debido a sus favorables propiedades aislantes, tanto térmicas como eléctricas; clasificándose de forma general en:

- Termoplásticos.
- Termoestables.
- Elastómeros.

Entre estos se ha seleccionado un elastómero por su fácil manejo y predisposición para conservar su forma, ya que a su vez los polímeros termoplásticos reblandecen con el calor y los termoestables son muy frágiles y difíciles de manipular, características que no favorecen a las celdas generadoras. Dentro de los elastómeros y debido a sus propiedades ha escogido el policloropropeno mejor conocido como neopreno.

Según Rodríguez Manuel, las características más relevantes para el propósito son:

- Resistencia a la degradación por agentes ambientales.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Dificulta el crecimiento de hongos y bacterias.
- Tiene muy buena resistencia al ataque de solventes y agentes químicos.
- Posee un coeficiente de transmisión de calor muy bajo, mejor que el de los aislantes tradicionales, permitiendo el uso de aislantes de menor espesor.
- Alta durabilidad (RODRÍGUEZ, 2007).

Existen dos tipos de neopreno:

- Industrial. Se utiliza en la fabricación de neumáticos, juntas, o-rings, etc.
- Celular. Se utiliza en trajes de buceo y otras prendas de vestir.

Al utilizar como electrolito una base y no un ácido, no va a tener realmente mayor problema con el deterioro del aislante, sin embargo se ha seleccionado el polímero más resistente sin dejar de lado costos y disponibilidad (GUARDIA, 2009).

### 3.1.3 *Pernos y tuercas*

Figura 10. Pernos y tuercas



Fuente: [http://es.123rf.com/photo\\_522924\\_ups-cerca-de-los-pernos-y-tuercas.html](http://es.123rf.com/photo_522924_ups-cerca-de-los-pernos-y-tuercas.html)

Para el propósito se utilizará pernos de acero 316, de 0,635cm (1/4plg) de diámetro por 12,7cm (5plg) de largo, que servirán para fijar y separar adecuadamente las placas.

### 3.1.4 *Acrílico*

Figura 11. Acrílico



Fuente: [http://valeriaespinosa217.blogspot.com/2012\\_08\\_01\\_archive.html](http://valeriaespinosa217.blogspot.com/2012_08_01_archive.html)

Es polimetilmetacrilato o acrílico, es un polímero conocido por sus siglas PMMA, sus placas se obtienen mediante la polimerización del metacrilato de metilo. Compite en cuanto a aplicaciones con otros polímeros como el policarbonato (PC) o el poliestireno (PS), pero el acrílico se destaca frente a otros en cuanto a resistencia a la intemperie, transparencia y resistencia a bases y ácidos, además de su bajo peso y fácil manejo; se lo utilizará para conformar parte de la carcasa de las celdas generadoras, así como soporte de las mismas.

### 3.1.5 Resinas acrílicas

Figura 12. Resinas acrílicas



Fuente: [http://www.bostik.es/home-office-school-products-catalogue-sheet-28471-689\\_2-m-0-g-0.html](http://www.bostik.es/home-office-school-products-catalogue-sheet-28471-689_2-m-0-g-0.html)

Las resinas acrílicas son compuestos termoplásticos, derivados de la polimerización de los ácidos acrílicos y metacrilato.

Estas resinas son de fácil utilización, tiempo de endurecimiento corto y contracción despreciable. Son plásticos muy resistentes, en particular, la resina acrílica endurecida es termoplástica y resistente a los productos químicos. Prácticamente sirven como juntas y refuerzos a la carcasa de las celdas generadoras (VILHER, 2012).

## 3.2 Reactivos

### 3.2.1 Agua destilada y desmineralizada

Figura 13. Agua destilada y desmineralizada



Fuente: [http://www.laboratoriosacorsa.com/agua\\_destilada.html](http://www.laboratoriosacorsa.com/agua_destilada.html)

El agua destilada es aquella que ha sido llevada al punto de ebullición por medio de un alambique para luego recondensarla en una unidad enfriadora, devolviéndola al estado líquido. La destilación se usa para purificar el agua, los contaminantes disueltos se quedan en el tanque donde el agua hierve mientras que el vapor de agua se eleva hacia fuera, sin embargo este procedimiento puede no funcionar si los contaminantes son volátiles, de forma que también llegaran a hervir y recondensarse, en este caso utilizaremos un proceso de desmineralización entendiéndose como cualquier proceso usado para eliminar los minerales del agua, normalmente restringiéndose a procesos de intercambio iónico. De esta forma lo ideal es utilizar agua destilada y desmineralizada para el generador de gas HIDROXI.

### 3.2.1.1 Hidrógeno

Tabla 7. Propiedades del hidrógeno

---

<b>Símbolo : H</b>
<b>Número atómico: 1</b>
<b>Densidad: 0,0899 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masa atómica: 1,00794 u</b>
<b>Punto de ebullición: -253,268 °C</b>
<b>Punto de fusión: -259 °C</b>

---

Fuente: Autores

El hidrógeno es un elemento químico, es un gas incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Es el elemento químico más ligero, y es también el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo.

Características:

- Puede ser utilizado como combustible.
- El hidrógeno es una fuente de energía con mucho futuro ya que no contamina.
- Su obtención y producción tienen bajos costos.
- Produce más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible (120 MJ/Kg).
- El uso del hidrógeno como combustible para motores de combustión interna ha sido estudiado desde principios de siglo IX.
- Sus reservas son prácticamente ilimitadas.

El hidrógeno presenta excelentes propiedades como combustible:

*Capacidad calorífica.* La capacidad calorífica es la energía necesaria para aumentar una unidad de temperatura de una determinada sustancia, la capacidad calorífica específica del hidrógeno es de 14037 J/Kg\*K, es decir 6 veces mayor que el de la gasolina a 25°C y una atmósfera de presión (GÁMEZ, 2010).

*Poder calorífico superior (PCS).* Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza. En el caso del hidrógeno es de 141,86 kJ/g (GÁMEZ, 2010).

*Poder calorífico inferior (PCI).* Es el calor realmente aprovechable de la reacción de combustión (el producido sin aprovecharla energía de la condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia). El PCI del hidrógeno es de 119,93 KJ/g (GÁMEZ, 2010). La cantidad de energía liberada durante la combustión del hidrógeno, es cerca de 2,5 veces el calor producido en la combustión de los hidrocarburos más comunes (gasolina, diesel, metano, propano) (GÁMEZ, 2010).

*Octanaje.* El número de octano describe las características antidetonantes de un combustible cuando se comprime en el cilindro de un motor de combustión interna (GÁMEZ, 2010).

Tabla 8. Octanaje de combustibles

COMBUSTIBLE	NÚMERO DE OCTANO
HIDRÓGENO	130
METANO	125
PROPANO	105
GASOLINA	DE 87 A 93
DIÉSEL	30
METANOL	99
ETANOL	100

Fuente: Hidrógeno y sus aplicaciones energéticas

**3.2.1.2 Oxígeno.** El oxígeno es un elemento químico. Este elemento se encuentra en estado libre como componente del aire, del cual constituye un 21% en volumen. En total representa el 49,5% en peso de la superficie terrestre, y por ello es el elemento más abundante (NOVOA, 2003). El oxígeno del aire es necesario para la combustión y la respiración, por ello, por ser un gas esencial para la vida humana, debe estar disponible para todos los individuos.

Dentro de la combustión el oxígeno cumple la función de comburente, siendo indispensable para que esa se produzca, de hecho la combustión es una reacción química de oxidación.

**3.2.2 Electrolito.** La selección de un electrolito adecuado es importante, este deberá mezclarse con agua hasta diluirse y formar una solución conductora, obteniendo un producto con las mínimas impurezas posibles y que permita un buen flujo de corriente eléctrica, a la vez este no deberá originar nuevos componentes en las reacciones que se den en las celdas. La mala elección del electrolito podría generar subproductos que deteriorarían las celdas generadoras de HIDROXI.

En la siguiente Tabla presentamos los principales electrolitos y su aplicación:

Tabla 9. Principales electrolitos

PRODUCTO	FÓRMULA QUÍMICA	APLICACIONES		
		VOLTAJE	AMPERAJE	TEMPERATURA
SULFATO DE MAGNESIO	MgSO <sub>4</sub>	INDIFERENTE	BAJO	BAJA
HIDRÓXIDO DE POTASIO	KOH	INDIFERENTE	ALTO	ALTA
HIDRÓXIDO DE SODIO	NaOH	INDIFERENTE	ALTO	MEDIA
SULFATO DE SODIO	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	BAJO	BAJO	MEDIA
ÁCIDO SULFÚRICO DILUIDO	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	BAJO	MEDIO	MEDIA

Fuente: Hidrógeno y sus aplicaciones energéticas

“En general, el hidróxido de potasio (KOH) es el mejor electrolito para cualquier aplicación, ya que es el que soporta condiciones más variadas y no deja residuos” Razón por la cual ha sido seleccionado como electrolito para el generador dual-fuel (GÁMEZ, 2010).

#### *Hidróxido de potasio*

Tabla 10: Propiedades del hidróxido de potasio

---

<b>Fórmula: KOH</b>
<b>Densidad: 2,04 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Masa molar: 34,0809 g/mol</b>
<b>Denominación de la IUPAC: Potassiumhydroxide</b>
<b>Punto de ebullición: -1320°C</b>
<b>Punto de fusión: 360 °C</b>
<b>Soluble en: Agua</b>

---

Fuente: Autores

*Definición.* También conocido como: hidróxido potásico, potasa cáustica, potasa lejía, hidrato de potasio, E-525. Es un compuesto químico inorgánico de fórmula KOH, se produce en los Estados Unidos mediante la electrólisis de la salmuera de cloruro de potasio en celdas electrolíticas. Cuando la salmuera de cloruro de potasio es introducida en la celda electrolítica, el proceso resulta en una solución de hidróxido de potasio y productos conjuntos de cloro e hidrógeno.

Usos frecuentes:

- Producción de carbonato de potasio.
- Producción de fosfatos de potasio.
- Producción de jabones.

Figura 14. Hidróxido de potasio



Fuente: <http://www.ve.all.biz/hidrxido-de-potasio-bgg1065288>

*Efectos.* Su ingestión e inhalación es muy peligrosa, puede causar daños permanentes e incluso la muerte, además causa quemaduras de diversos grados en piel y ojos, es necesario manipularlo con guantes, mascarilla y traje de protección, además de pantalla facial para proteger el rostro y los ojos. No se debe comer, beber ni fumar durante la manipulación del mismo. Las cuales detallamos en las “CARTAS INTERNACIONALES DE SEGURIDAD QUÍMICA”, incluidas en el Anexo B: Cartas de seguridad química (ICSC).

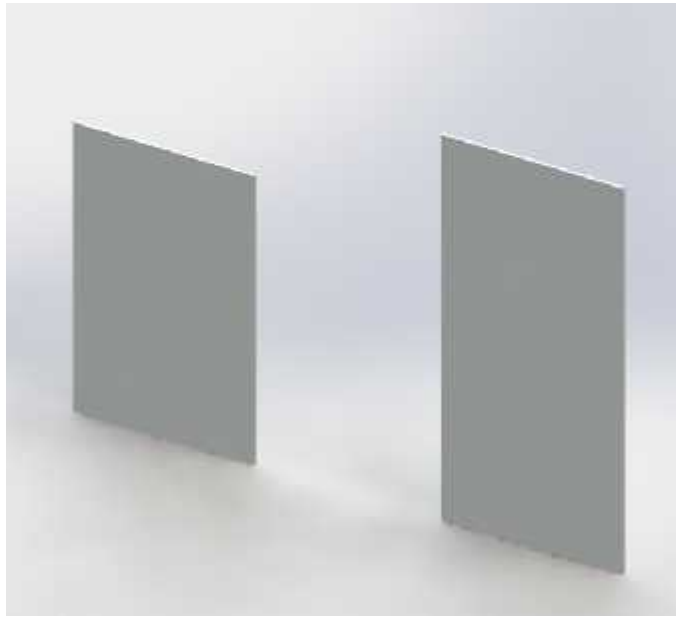
Por lo cual el manejo de esta sustancia se lo hace bajo la norma INEN 2 266:2010 titulada “TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS. REQUISITOS” (INEN 2266, 2010).

### 3.3 Construcción

- Asegurarse de tener todo los materiales y herramientas necesarias.
- El proceso inicia cortando las planchas de acero inoxidable en 6 placas de 6 x 12 cm y en 10 placas de 6 x 9 cm, como en la Figura 15:



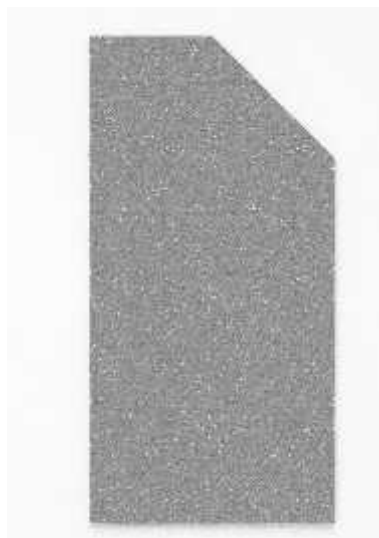
Figura 15. Placas de acero A



Fuente: Autores

- Las placas deben ser satinadas o rayadas, no deben utilizarse aceros pulidos o brillantes, en el caso de trabajar con un acero pulido proceder a lijar las placas de forma horizontal y vertical.
- Se bisela una esquina de las placas de acero de 6 x 12 cm en un ángulo de 45° tomando desde el borde 3 cm, como en la Figura 16:

Figura 16. Placas de acero B



Fuente: Autores

- Paralelamente, se prepara los empaques de neopreno, los mismos que tienen la forma de las placas de acero de 6 x 9 cm, con un borde de 0,5cm por lado, como en la Figura 17:

Figura 17. Aislantes



Fuentes: Autores

- En las placas de acero de 6 x 12 cm, se perforan orificios del mismo diámetro de los pernos (0,635cm), en la esquina superior opuesta al bisel, como en la Figura 18. Con el objetivo de fijar las placas con los pernos para formar los ánodos y cátodos del generador de HIDROXI.

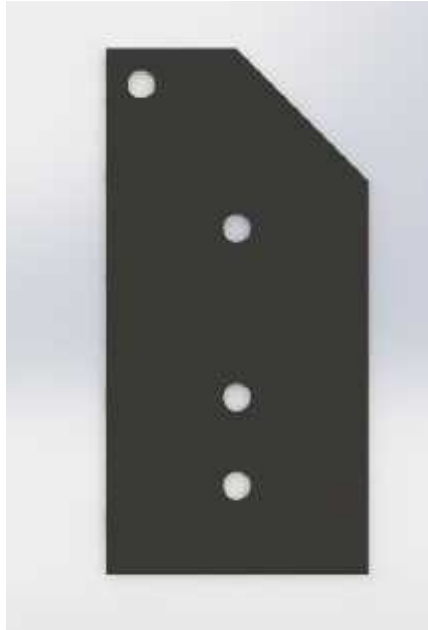
Figura 18. Placas de acero C



Fuente: Autores

- De igual forma se deben perforar tres orificios de un diámetro de 0,635cm (1/4plg) en el centro de todas las placas a distinta altura, como se muestra en la Figura 19, siendo el inferior utilizado para nivelar el líquido entre las celdas, el central para fijar las placas por medio de un perno y el superior para desalojar el gas HHO.

Figura 19. Placas de acero D



Fuente: Autores

- Se procede a limpiar las placas con alcohol antes de su ensamblaje, puesto que la grasa que se encuentra en nuestros dedos impregnada en las placas puede convertirse en una capa aislante, en lo posterior al manipular las placas tomar las debidas precauciones utilizando guantes.
- Se procede al armado de las celdas con ayuda de los pernos, con la siguiente configuración: una placa de 6 x 12, dos placas de 6 x 9 y otra placa de 6 x 12 con el bisel al lado opuesto, así hasta formar el conjunto de 15 celdas. Observe la figura 20:

Figura 20. Celdas generadoras



Fuente: Autores

- Al mismo tiempo se debe intercalar y fijar entre placas los aislantes de neopreno y con ayuda de las tuercas dar la separación adecuada equivalente a 2 mm, todo esto con el objetivo de aislar ánodo y cátodo, así como dar la separación correcta entre placas por motivos de conductividad.
- Posterior al armado de las celdas se procede al ensamble de la carcasa, para lo cual se necesita cortar 2 láminas (6 x 9 cm) de acrílico, los que conforman la parte frontal y posterior de la carcasa a la vez que sujetan los conectores rápidos, proporcionando además mayor robustez a las celdas.
- A una de estas láminas se la deberá realizar dos orificios, para la entrada de solución y salida de gas HIDROXI por medio de los conectores rápidos, debiendo ir alineados con los orificios superior e inferior de las placas.
- Se arma la carcasa con las celdas en su interior y se la sella con resina acrílica.
- Se procede a fijar los conectores rápidos en los orificios sobrantes.

- Y posterior a esto se da un baño de resina acrílica a todo el conjunto para generar hermeticidad.
- Cortar los pernos a 2cm del borde de la carcasa.
- Y para terminar se da los acabados estéticos finales.

### 3.4 Especificaciones técnicas

**3.4.1 Solución.** Para la solución de las celdas generadoras se ha seleccionado hidróxido de potasio como electrolito, sustancia que fundida o en disolución acuosa, fácilmente se disocia en iones, por lo cual es una perfecta conductora de la electricidad, facilitando de esta forma el transporte de electrones desde ánodos a cátodos, permitiendo un proceso de electrólisis eficiente. Posee una alta solubilidad en agua, no afecta al acero inoxidable y el PVC presenta resistencia, haciendo de este el electrolito adecuado para el sistema dual-fuel.

*Concentración.* La conductividad de la solución está determinada por la concentración del electrolito y por el producto usado. “Por tanto, se recomienda **determinar la cantidad necesaria de manera práctica** para así observar la variación que experimenta la intensidad de corriente que circula por nuestra celda en función de la concentración de la disolución” (GÁMEZ, 2010).

En base a lo antes citado se ha determinado que la cantidad necesaria de electrolito es 250 gramos por cada galón de agua teniendo una concentración al 6,8% en masa.

**3.4.2 Placas de acero.** El espesor de las placas de acero inoxidable ha sido seleccionado en base a resistencia y costo, luego de haber investigado se ha encontrado que muchos fabricantes y desarrolladores de este tipo de sistema luego de innumerables pruebas y ensayos han determinado que el espesor ideal es de 1mm, placas de acero AISI 316 con este espesor trabajan sin inconvenientes y por largo tiempo dentro de la cuba electrolítica.

**3.4.3 Aislante.** Además de separar las placas, también crea una cavidad interior para alojar la solución y mantener las celdas con un nivel adecuado de líquido. Cuando se trabaja con un espesor de 2 mm se obtiene un volumen de  $120\text{cm}^3$ , siendo un espacio adecuado para efectuar el proceso de electrólisis y desprender eficazmente de las placas el gas HIDROXI.

## CAPÍTULO IV

### 4. DESARROLLO DEL SISTEMA DUAL-FUEL

#### 4.1 Componentes y materiales

Tabla 11. Materiales


DEPÓSITO	
<p>Utilizaremos un recipiente cilíndrico construido a base de PVC el cual posee 4 orificios los cuales servirán para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimiento al sistema.</li> <li>• Entrada de HIDROXI.</li> <li>• Salida de HIDROXI.</li> <li>• Abastecimiento de la solución a las celdas.</li> </ul>	
BURBUJEADOR	
<p>Es un dispositivo de seguridad que tiene las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula anti-reflujo.</li> <li>• Filtro.</li> <li>• Corta fuegos.</li> </ul> <p>Forma parte del depósito y se encuentra en el interior del mismo por lo cual no es visible.</p>	
TUBERÍAS	
<p>Son tubos flexibles de polímero que serán utilizados en todo el sistema para el transporte de los fluidos.</p>	
CORREAS PLÁSTICAS	
<p>Se utilizaran para fijar los conductos y todo lo referente a la instalación eléctrica.</p>	

Tabla 12. (Continuación)

<b>CABLE ELÉCTRICO</b>	
<p>Se requiere cable eléctrico gemelo preferentemente de dos colores.</p>	
<b>RELEVADOR</b>	
<p>Se necesitara un relevador de 12 voltios de simple acción para activar y desactivar el generador de HIDROXI.</p>	
<b>FUSIBLE</b>	
<p>Se utiliza un fusible automotriz de 10 A por protección del sistema, en caso de un exceso de carga.</p>	
<b>SOCKET DE RELEVADOR</b>	
<p>Se utilizara un conector para el relevador de simple acción.</p>	
<b>TERMINALES ELÉCTRICOS</b>	
<p>Se colocaran en los extremos del cable eléctrico para las conexiones necesarias.</p>	
<b>CONECTORES RÁPIDOS</b>	
<p>Serán los que permitan conectar por medio de tuberías todos los elementos del sistema que requieran transporte de fluidos.</p>	

Fuente: Autores

## 4.2 Construcción

### 4.2.1 Depósito

#### *Materiales:*

- 1 Tubo PVC de 10,16cm (4plg) de diámetro.
- 2 Tapas de tubo PVC de 10,16cm (4plg) de diámetro.
- 1 Neplo roscado con tuerca de 3.81 cm (1 ½plg) de diámetro.
- 1 Tapa de neplo de 3,81 cm (1 ½plg) de diámetro.
- 3 Conectores rápidos 0,635 cm (¼plg) de diámetro.
- Soldadura líquida.
- Pintura.

#### *Proceso:*

- Se comienza cortando el tubo PVC con una altura de 20 cm.
- Realizar un orificio en el centro de la tapa superior para conectar el neplo con tuerca de 3,81 cm (1 ½plg) de diámetro.
- De forma simétrica se realizan dos orificios de 10 mm de diámetro en la tapa superior y uno en la tapa inferior para acoplar los conectores rápidos.
- Se lija, se limpia y se humedecen las superficies donde vamos a aplicar la soldadura líquida.
- Aplicar una capa uniforme de soldadura líquida en los contornos de las tapas y se los fija firmemente por al menos 30 segundos para asegurar una correcta impermeabilización.
- Enroscar los conectores rápidos y el neplo con tuerca a las tapas del depósito tal como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Ensamble depósito



Fuente: Autores

- Pintar el depósito y la tapa del neplo; dejar secar.
- Finalmente se ajusta la tapa del neplo.

#### 4.2.2 *Burbujeador*

*Materiales:*

- Tubería de polímero de 0,63cm (1/4´´) de diámetro.

*Proceso.* Al funcionar el mismo depósito como burbujeador, para su construcción únicamente se adicionará una sección de tubería de 15 cm a uno de los orificios pequeños de la parte superior del depósito, que deberá ir sumergida bajo el nivel de la solución, tal como se muestra a continuación:

Figura 22. Ensamblaje burbujeador



Fuente: Autores

### 4.3 Especificaciones técnicas

**4.3.1 Depósito.** El depósito a utilizar corresponde a un recipiente cilíndrico de  $1621 \text{ cm}^3$  construido a base de policloruro de vinilo (PVC) con una altura de 20 cm y un diámetro de 10,16 cm. Este material utilizado comúnmente en tuberías, se ha seleccionado debido a que sus características se acoplan perfectamente a las necesidades del sistema, de las cuales a continuación según Textos Científicos se enlistan las principales:

- Es un material altamente resistente y duradero.
- No se quema con facilidad ni arde por sí solo, debido a los átomos de cloro que forman parte de él.
- Bajo costo.
- Muy resistente a la corrosión.
- Resistencia a las variaciones de temperatura.
- Resistencia a la humedad, agentes biológicos y químicos (Textos Científicos, 2008).

Además concretamente de acuerdo a la Tabla denominada “RESISTIVIDAD QUÍMICA DEL PVC”, proporcionada por la empresa argentina CANOPOL S.A., el PVC presenta resistencia al hidróxido de potasio, como se muestra en el Anexo C: Resistencia química del PVC.

El tamaño del depósito está determinado para abastecer de suficiente cantidad de solución a las celdas generadoras de HIDROXI, además de aprovechar de mejor manera el espacio disponible en el vehículo, también el depósito es utilizado como un recolector de gas HHO antes de ser absorbido por el motor, por este motivo solo se puede ocupar los 2/3 de la capacidad del depósito con líquido, el 1/3 está destinado a almacenar HHO.

**4.3.2 Tuberías.** Las tuberías que se utilizan para el transporte de fluidos tienen un diámetro de 0,63cm (1/4"). Lo que se consigue con esto es obtener un flujo uniforme y sin obstrucciones, verificándolo a continuación con el cálculo de la velocidad del fluido, determinando así si es un flujo laminar o turbulento.

1. *Datos:*

$$D_i = 4\text{mm} = 0,4\text{ cm}$$

$$Q = 1000\text{ cm}^3/\text{min} = 16,67\text{ cm}^3/\text{seg}$$

2. *Cálculos:*

Calculamos la velocidad del fluido a través de la tubería (V).

$$Q = A * V \tag{1}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{Q}{\pi * r^2}$$

$$V = \frac{16,67\text{ cm}^3/\text{s}}{\pi * (0,2\text{cm})^2}$$

$$V = 132,63\text{ cm/seg}$$

Calculamos el número de Reynolds: (Re)

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu} \tag{2}$$

$$Re = \frac{(4,475\text{ kg/m}^3 * 0,004\text{ m} * 1,3263\text{ m/s})}{1,9 * 10^{-5}\text{ Pa * s}}$$

$$Re = 1249,5$$

Re es menor a 2000, es decir que tenemos un flujo **LAMINAR**.

Además conviene que estas sean transparentes para poder visualizar el normal transporte de los fluidos y que en estas no haya obstrucciones ni fugas. El material seleccionado es PVC por las mismas características mencionadas anteriormente.

**4.3.3 Fusible.** Para proteger las celdas generadoras de HIDROXI, de posibles sobrecargas y cortocircuitos, se colocó un fusible de 10 A, basados en la “**Condición de elección de la IN del fusible**”, la cual especifica:

*“La intensidad de cálculo será menor o igual que la nominal del fusible, y esta a su vez, estará por debajo de la máxima admisible que admita el conductor. Si esto último no se cumple, habría que elevar la sección del conductor.”* (DOMÍNGUEZ, 2008), así:

$$I_c(A) \leq I_n(A) < I_{max}(A)$$

Donde:

$I_c$  = Intensidad de cálculo.

$I_n$  = Intensidad nominal del fusible.

$I_{max}$  = Intensidad máxima admisible del conductor.

En este caso al tener una intensidad de cálculo de 5,62 A se seleccionó el valor inmediato superior disponible de acuerdo al fabricante **que sería un fusible de 10A.**

$$I_c[A] \leq I_n[A]$$

$$5,62 A \leq 10A$$

**4.3.4 Cable eléctrico.** Para el propósito se utilizara cable eléctrico flexible debido a su mejor manejabilidad, preferente en dos colores para distinguir corriente positiva/negativa y en número 14, que de acuerdo a la A.W.G (American Wire Gauge), Tabla adjuntada en el Anexo D: Tabla AWG.

Es apropiado para un amperaje de 15 A **cumpliendo lo anteriormente mencionado:**

$$I_c[A] \leq I_n[A] < I_{max}[A]$$

$$5,62 A \leq 10 A < 15 A$$

**4.3.5 Conectores rápidos.** Por su fácil instalación se utilizarán conectores rápidos para tubería de diámetro de 0,63 cm (1/4 plg), roscados (1 cm) en su otro extremo, ideales para anclarlos formando un sello hermético en el lugar que se necesite. Estos conectores rápidos además tienen la ventaja de transportar líquidos y gases sin fugas.

#### 4.4 Etapa de generación

Antes de comenzar este punto se ha visto conveniente hacer un paréntesis para analizar la relación entre hidrógeno y gasolina como combustibles, para lo cual a continuación se presenta una Tabla comparativa con sus principales propiedades y características:

Tabla 13. Propiedades hidrógeno/gasolina

Tabla comparativa de combustibles			
Propiedad	Unidad	GASOLINA	HIDRÓGENO
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	740,7	0,08988
Calor específico	J/(Kg·K)	2220	14267
PCI	KJ/Kg	43950	119930
PCS	KJ/Kg	46885	141860
Densidad de energía	KJ/m <sup>3</sup>	31150000	10050
Punto de inflamación	°C	-43	-253
Temperatura de autoencendido	°C	230 - 280	585
Octanaje	RON	87	130

Fuente: Autores

Resumiendo se puede concluir que el hidrógeno es un mejor combustible que la gasolina.

**4.4.1 Balance químico.** Para el balance de la ecuación se despreciaron los siguientes datos:

- Azufre (S) = 500 ppm (INEN 935, 2012).
- Hidrocarburos (HC) = 516 – 1008 ppm (CORPAIRE, 2013).
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) = 3,17 – 5 ppm (CORPAIRE, 2013).

Dato obtenido a partir de la norma INEN 935:2012 la cual se titula “GASOLINA. REQUISITOS”, y se la puede encontrar en el Anexo F: Norma INEN 935:2012. Debido a que las proporciones de estos en relación a los demás son insignificantes como para poder incluirlos en la reacción.

*Combustión sin hidrógeno:*



Tabla 14. Balance químico sin HHO

Átomo	Reactivos	Productos
C	8	8
H	18	18
O	20,5	20,5
N	38,54	38,54

Fuente: Autores

*Combustión con hidrógeno:*



Tabla 15. Balance químico con HHO

Átomo	Reactivos	Productos
C	8	8
H	18,125	18,125
O	20,76	20,76
N	39,02	39,02

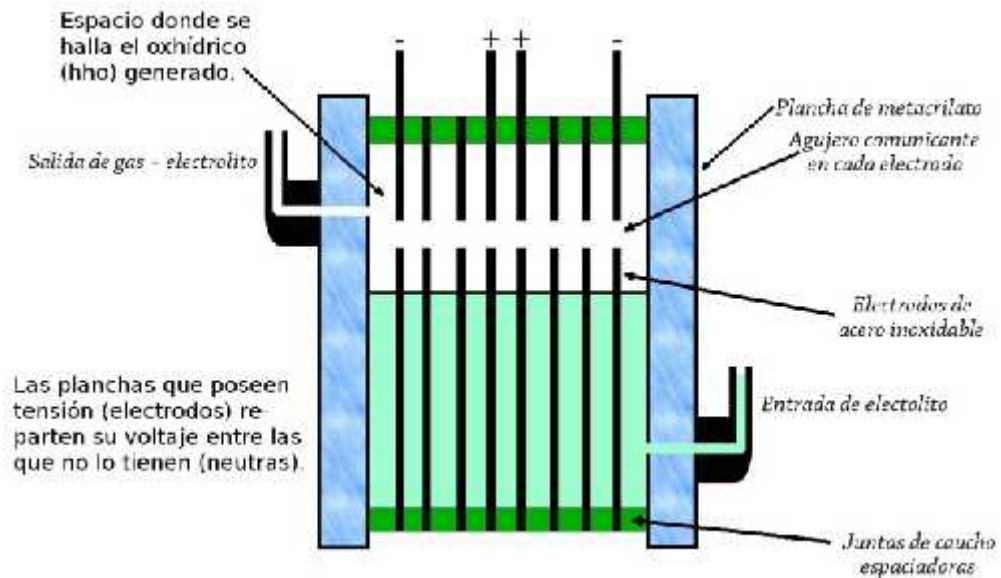
Fuente: Autores

Los balances químicos están elaborados en función de cada mol de gasolina que ingresa al motor y a partir de las proporciones moleculares obtenidas en el análisis de gases. Si comparamos las dos ecuaciones sin y con suministro de hidrógeno adicional, en la segunda se obtiene una producción más alta de dióxido de carbono y más baja de monóxido de carbono, siendo esta más eficiente que la primera ecuación, además se obtiene un valor ligeramente mayor de residuo de vapor de agua, debido al hidrógeno adicional que se está proporcionando.

#### 4.4.2 Análisis de la producción de hidrógeno

Se determina todos los cálculos necesarios para encontrar la producción de hidrógeno.

Figura 23. Esquema de celdas generadoras



Fuente: <http://hidrogenocomosolucion.wordpress.com/el-generator/>

### CÁLCULO DE ÁREAS DE PLACAS Y VOLÚMENES DE CELDAS

#### 1. Datos de placas y celdas:

Placas positivas y negativas:

Número de placas positivas: 3

Número de placas negativas: 3

Ancho:  $a = 6$  cm

Alto:  $H = 12$  cm

Espesor:  $e = 0,1$  cm

Placas neutras:

Número de placas neutras:  $np = 10$

Ancho:  $a = 6$  cm

Alto:  $h = 9$  cm

Espesor:  $e = 0,1$  cm

Celdas:

Ancho de la celda:  $a = 0,2 \text{ cm}$

Número de celdas:  $c = 15$

2. *Cálculos:*

Área de cada placa positiva - negativa: ( $Ap_{\pm}$ )

$$Ap_{\pm} = (a * H)$$
$$Ap_{\pm} = (6 \text{ cm} * 12 \text{ cm}) = 72 \text{ cm}^2$$

Área total de placas positivas y negativas: ( $At_{\pm}$ )

$$At_{\pm} = (Ap_{\pm})(P_{\pm})$$
$$At_{\pm} = (72 \text{ cm}^2)(6) = 432 \text{ cm}^2$$

Área de cada placa neutra: ( $Ap_n$ )

$$Ap_n = (a * h)$$
$$Ap_n = (6 \text{ cm} * 9 \text{ cm}) = 54 \text{ cm}^2$$

Área total de placas neutras: ( $At_n$ )

$$At_n = (Ap_n)(np)$$
$$At_n = (54 \text{ cm}^2)(10) = 540 \text{ cm}^2$$

Área total de placas: ( $AT$ )

$$AT = (At_{\pm}) + (At_n)$$
$$AT = 432 \text{ cm}^2 + 540 \text{ cm}^2 = 972 \text{ cm}^2$$

Área del aislante por cada placa: ( $Ap_a$ )

$$Ap_a = (h * a) - (h - 1)(a - 1)$$
$$Ap_a = (9 * 6) \text{ cm}^2 - (8 * 5) \text{ cm}^2 = 14 \text{ cm}^2$$



Área subtotal del aislante por todas las placas: ( $Aa$ )

$$Aa = (A_{pa})(Pt)$$
$$Aa = (14 \text{ cm}^2)(15) = 210 \text{ cm}^2$$

Área total de las placas en contacto con la solución: ( $As$ )

$$As = AT - Aa$$
$$As = 972 \text{ cm}^2 - 210 \text{ cm}^2 = 762 \text{ cm}^2$$

Volumen entre cada placa: ( $Vp$ )

$$Vp = (h - 1)(a - 1)(a)$$
$$Vp = (8 \text{ cm} * 5 \text{ cm})(0,2 \text{ cm}) = 8 \text{ cm}^3$$

Volumen entre placas: ( $Vt$ )

$$Vt = (8 \text{ cm} * 5 \text{ cm})(0,2 \text{ cm})(15) = 120 \text{ cm}^3$$

### CÁLCULO DE CONDUCTIVIDAD DEL ELECTROLITO (C)

1. *Datos:*

Voltaje:	$v = 14 \text{ V}$
Amperaje:	$A = 5,62 \text{ A}$
Ancho de celda:	$a = 0,2 \text{ cm}$
Área de placa	$A = A_{pn} - A_{pa} = 40 \text{ cm}^2$

2. *Cálculos:*

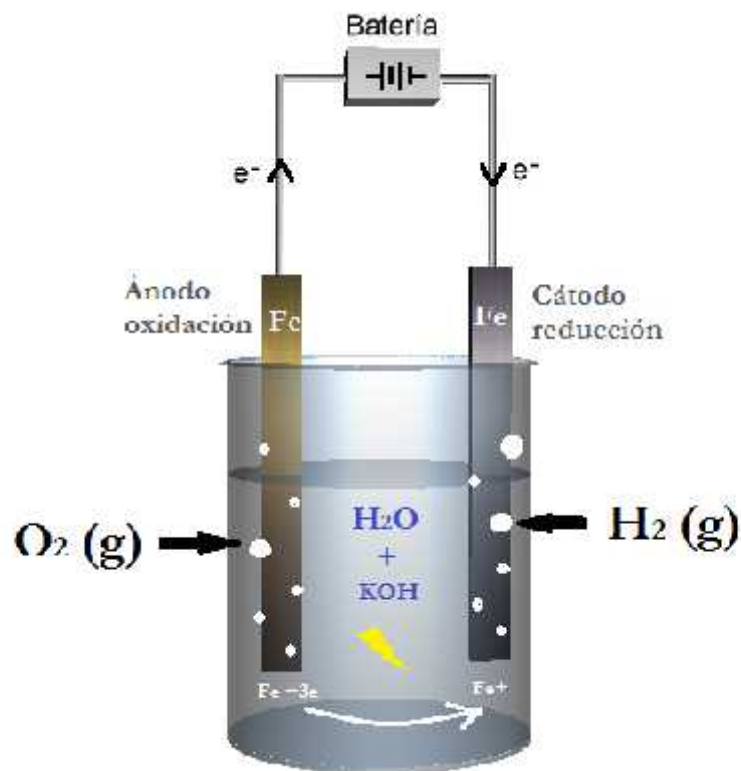
$$V = I R \tag{3}$$
$$R = \frac{V}{I}$$
$$R = \frac{14 \text{ V}}{5,62 \text{ A}}$$
$$R = 2,49$$

Conductividad del electrolito (GÓMEZ, 2010): (C)

$$C = \frac{1}{R} \left( \frac{a}{A} \right) \quad (4)$$
$$C = \frac{1}{2,49} \left( \frac{0,2 \text{ cm}}{40 \text{ cm}^2} \right)$$
$$C = 0,002 \text{ S/cm}$$

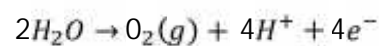
### CÁLCULO DEL PROCESO DE ELECTRÓLISIS

Figura 24. Electrólisis

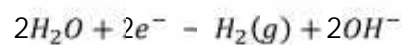


Fuente: <http://fisicayquimicavarques.com/electrolisis>

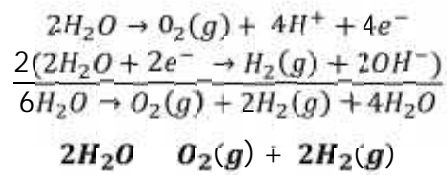
Ánodo:



Cátodo:



Igualación:



1. Datos:

Voltaje:  $v = 14 \text{ V}$

Amperaje:  $A = 5.62 \text{ A}$

2. Cálculos:

Entalpía de formación del agua: ( $H_f^\circ$ )

$$H_f^\circ = -285,84 \text{ KJ/mol} = -285840 \text{ J/mol}$$

En el caso del proceso de electrólisis se consume energía, entonces la energía necesaria para descomponer un mol de agua es:

$$H_f^\circ = 285,84 \text{ KJ/mol} = 285840 \text{ J/mol}$$

La constante de Faraday es la cantidad de carga eléctrica en un mol de electrones, entonces se necesita; 96485,34 C (culombios) por cada mol de agua (LAVOISIER, 1801).

$$F = 96485,34 \text{ C/mol}$$

Recordar que:

$$1 \text{ mol } H_2O = 18 \text{ gramos } H_2O (l)$$

Y a condiciones normales se obtiene:

$$18 \text{ gramos } H_2O(l) = 22400 \text{ cm}^3 H_2(g) + 11200 \text{ cm}^3 O_2(g)$$

Aplicando Faraday, se necesita 96485,34 C por cada 18 gramos de agua para obtener 22400 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> y 11200 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> en estado gaseoso. Es decir que por cada 1C se obtiene 0,232 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>(g) y 0,116 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>(g).

Cálculo del caudal de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> desprendido por cada celda: (Q)

$$Q_H = (V_H)(A)(t)$$

$$Q_H = (0,232 \text{ cm}^3 \text{ H}_2)(5,62 \text{ A})(1 \text{ min})(60) = 78,23 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_O = (V_O)(A)(t)$$

$$Q_O = (0,116 \text{ cm}^3 \text{ O}_2)(5,62 \text{ A})(1 \text{ min})(60) = 39,11 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Cálculo del caudal de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> desprendido por todas las celdas: (Qt)

$$Qt_H = (Q_H)(Pt)$$

$$Qt_H = (78,23 \text{ cm}^3/\text{min})(15) = 1177,95 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

$$Qt_O = (Q_O)(Pt)$$

$$Qt_O = (39,11 \text{ cm}^3/\text{min})(15) = 586,65 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Cálculo del caudal total teórico de la producción de HHO generado: (Qt<sub>HHO</sub>)

$$Qt_{HHO} = Qt_H + Qt_O$$

$$Qt_{HHO} = 1177,95 \text{ cm}^3 / \text{min} + 586,66 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

$$Qt_{HHO} = 1764.6 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Si se consideran las pérdidas en el proceso de electrólisis del agua, por la conversión de la energía eléctrica en energía química, se obtiene una eficiencia de alrededor del 60%, de esta forma se tendría (GÁMEZ, 2010):

$$Q_H = 706,77 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

$$Q_O = 352 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

$$Q_{HHO}' = 1058,7 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

En términos prácticos y para cuestión de análisis la cantidad de gas HHO producido es aproximadamente:

$$Q_H = 666,66 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

$$Q_O = 333,33 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

$$Q_{HHO} = 1000 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

### CANTIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA (E)

1. *Datos:*

$$V = 14V$$

$$A = 5,62A$$

2. *Cálculos:*

$$P = V \cdot A$$

$$P = (14 V)(5,62A)$$

$$P = 78,68w$$

$$E = P \cdot t$$

$$E = 78,68w \cdot \frac{1h}{3600seg}$$

$$E = 0,022 J \left( \frac{w}{s} \right)$$

El sistema generador de HIDROXI tiene un consumo de energía de 0,022J, correspondiente a 78,68 w/h, lo cual equivale al consumo de un foco halógeno.

#### 4.4.3 *Análisis de la relación hidrógeno-gasolina*

### RELACIÓN DE H<sub>2</sub>/GASOLINA EN MASA (GRAMOS)

Calcular la masa de hidrógeno: ( $m_H$ )

$$d_H = 0,0899 \text{ kg/m}^3$$

$$m_H = V_H \cdot d_H$$

$$m_H = 666,66 \text{ cm}^3 H_2 \left[ \frac{(1 \text{ m})^3}{(100 \text{ cm})^3} \right] \left[ \frac{(0,0899 \text{ kg})}{(1 \text{ m})^3} \right] \left[ \frac{(1000 \text{ g})}{(1 \text{ kg})} \right] = 0,05993 \text{ g } H_2$$

Calcular la masa de oxígeno: ( $m_O$ )

$$d_O = 1,429 \text{ kg/m}^3$$

$$m_O = V_O * d_O \tag{5}$$

$$m_O = 333,33 \text{ cm}^3 O_2 \left[ \frac{(1 \text{ m})^3}{(100 \text{ cm})^3} \right] \left[ \frac{(1,429 \text{ kg})}{(1 \text{ m})^3} \right] \left[ \frac{(1000 \text{ g})}{(1 \text{ kg})} \right] = 0,47632 \text{ g } O_2$$

Masa total de HIDROXI por minuto: ( $m_{HHO}$ )

$$m_{HHO} = m_H + m_O$$

$$m_{HHO} = 0,05993 \text{ g } H_2 + 0,47632 \text{ g } O_2 \approx 0,536258 \text{ g } HHO$$

Masa de gasolina aproximada **por minuto**: (CORPAIRE, 2013)

$$m_g = 31 \text{ g}$$

Cálculo de la relación hidrógeno/gasolina en masa (gr)

Calcular los gramos de hidrógeno:

$$m_H = 0,05993 \text{ g}$$

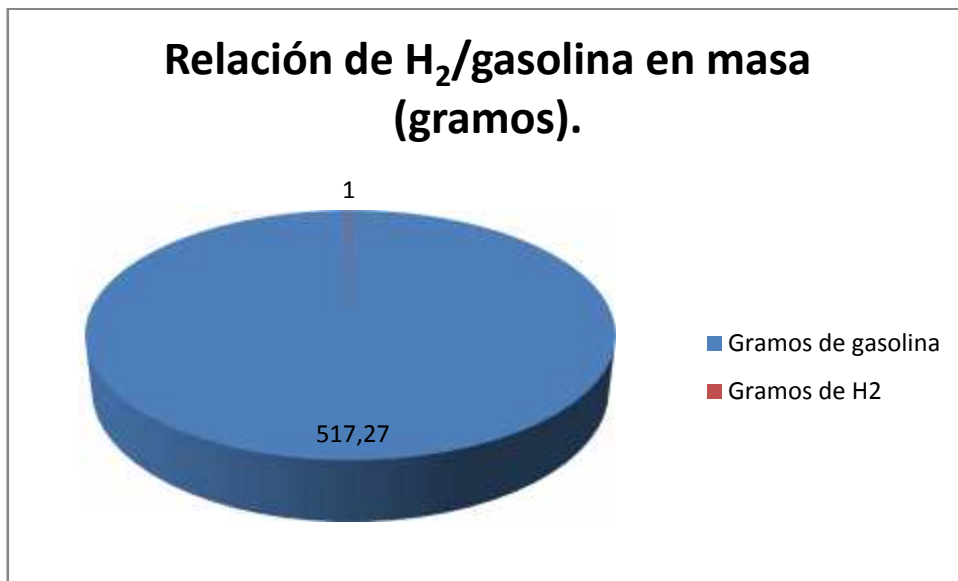
$$m_g = 31 \text{ g}$$

$$\frac{31 \text{ g}}{0,05993 \text{ g}} = 517,27$$

$$\mathbf{517,27 \text{ g Gasolina} : 1 \text{ g } H_2}$$

Es decir que por cada 517,27 gramos de gasolina ingresa al motor 1 gramo de hidrógeno.

Figura 25. Relación H<sub>2</sub>/gasolina (gramos)



Fuente: Autores

### RELACIÓN DE H<sub>2</sub>/GASOLINA EN CANTIDAD DE SUSTANCIA (mol)

Calcular las moles de hidrógeno:

$$H_2 = (1g * 2) = 2 g$$

$$1 mol H_2 = 2 g$$

$$mol_H = 0,05993 g H_2 \left[ \frac{1 mol H_2}{2 g H_2} \right] = 0,0299 moles H_2$$

Masa de gasolina aproximada **por minuto**: (CORPAIRE, 2013)

$$m_g = 31 g$$

Calcular las moles de gasolina:

$$C_8 = (14g * 8) = 112 g$$

$$H_{18} = (1g * 18) = 18 g$$

$$1 mol C_8H_{18} = 130 g$$

$$\text{mol}_g = 31 \text{ g } C_8H_{18} \left[ \frac{1 \text{ mol } C_8H_{18}}{130 \text{ g } C_8H_{18}} \right] = 0,2384 \text{ moles } C_8H_{18}$$

Cálculo de la relación hidrógeno/gasolina en moles:

$$\text{mol}_H = 0,0299 \text{ moles}$$

$$\text{mol}_g = 0,2384 \text{ moles}$$

$$\frac{0,2384 \text{ moles}}{0,0299 \text{ moles}} = 7,97$$

**8 moles gasolina : 1 mol H<sub>2</sub>**

Es decir que por cada 8 moles de gasolina ingresa al motor 1 mol de hidrógeno.

Figura 26. Relación H<sub>2</sub>/gasolina (moles)



Fuente: Autores

#### 4.5 Acoplamiento

Todo motor de combustión interna genera un vacío producto del descenso del pistón en la cámara de combustión, en la fase de admisión, siendo aprovechado por el sistema generador de HIDROXI para absorber el gas que se acumula en el depósito y llevarlo hacia las cámaras de combustión.



El punto de acoplamiento por ende debe ir en la admisión del motor, teniendo cierta libertad para ubicarlo, sin embargo es importante saber seleccionar adecuadamente el punto ideal de acople. Básicamente los elementos que conforman el sistema de admisión de un vehículo de sistema a carburador son:

- Filtro de aire
- Carburador
- Múltiple de admisión

De los cuales luego de analizar varios parámetros se ha determinado que el punto de acople más favorable es el carburador presentado las siguientes ventajas:

- Buena absorción del motor.
- Aprovechar el punto donde se mezcla el aire con el combustible para incorporarle a esta mezcla el HIDROXI.
- Es un punto muy poco invasivo puesto q no tenemos que hacer orificios ni adaptaciones, aprovechamos en este caso un conducto de vacío libre para nuestro acople.
- Este punto nos asegura que nuestro gas HIDROXI llegará de manera uniforme a todas las cámaras de combustión.
- Es un lugar muy cercano al depósito del sistema.

## **CAPÍTULO V**

### **5. INSTALACIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO**

#### **5.1 Generalidades**

Herramientas a utilizar:

- Alicates.
- Destornillador.
- Llaves de tuercas.

Insumos:

- Taype.
- Correas plástica.
- Cable eléctrico.
- Terminales eléctricos

#### **5.2 Precauciones y seguridad**

- Realizar un mantenimiento y calibración del motor del vehículo previo a la instalación del sistema.
- Es importante que todos los terminales eléctricos estén bien remachados para que no tiendan a salirse y que ninguna hebra quede fuera, generando falsos contactos y posibles cortos eléctricos.
- Asegurarse que las celdas generadoras y el depósito queden perpendiculares al piso.
- Verificar que la posición de la llave este en apagado.
- Procurar trabajar con el motor frío para evitar posibles quemaduras.

- Utilizar el equipo de seguridad industrial apropiado como: overol, gafas de seguridad, zapatos de seguridad, guantes de goma, y utilizar las herramientas apropiadas.

### 5.3 Proceso de instalación

- Asegurarse de tener todos los insumos, componentes y herramientas necesarias.
- Abrir el compartimiento del motor y establecer la mejor ubicación posible para los componentes de nuestro sistema, teniendo en consideración los requerimientos del mismo, así como cuidar que no tenga contacto directo con fuentes de calor ni con partes móviles que se encuentren cerca.
- Limpiar el lugar designado y verificar que en el sector no existan cables sueltos ni fugas de ningún tipo.
- Las celdas generadoras deben ubicarse lo más bajo posible, alejado de fuentes directas de calor y evitando que piezas móviles tengan contacto con las mismas, en lo posible ubicarlas en lugar que tenga una adecuada ventilación. Se debe procurar que la cara de las celdas donde se encuentran los conectores queden visibles para tener un fácil acceso a los mismos. Una vez cumplidos estos requerimientos se procede a fijar las celdas procurando que queden perpendicular al piso (ver Figura 27).

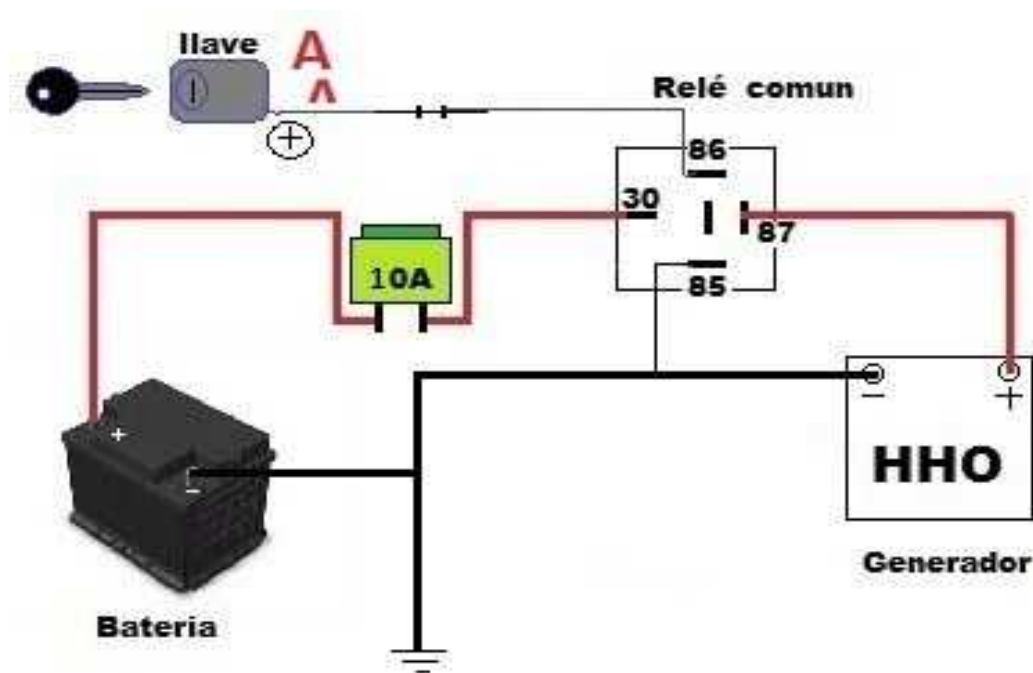
Figura 27. Ubicación de las celdas



Fuente: Autores

- Con respecto al depósito este deberá ser ubicado cumpliendo los mismos requerimientos que las celdas a diferencia que este debe situarse a la mayor altura posible procurando que este se encuentre lo más cerca sobre las celdas generadoras, manteniendo así una conexión directa entre ambos.
- Ñ Una vez fijados los componentes se procede a medir los tramos de manguera que se necesitaran, cortándolos y conectándolos de la siguiente forma:
- Del orificio de la parte inferior del depósito hacia el orificio inferior de las celdas generadoras, este conducto va a abastecer de electrolito a las celdas generadoras.
  - Del orificio superior de las celdas hacia el orificio de la parte superior del depósito correspondiente a la entrada del burbujeador, esta manguera llevará el HIDROXI directamente generado y no depurado hacia el burbujeador.
  - De la salida del burbujeador que se encuentra en la parte superior del depósito hacia la admisión del motor, aquí se transportará el HIDROXI depurado hacia las cámaras de combustión.
- Ñ En este punto se puede iniciar con las conexiones eléctricas como se muestra en el siguiente esquema:

Figura 28. Esquema eléctrico



Fuente: Autores

Figura 29. Verificación de conexiones eléctricas



Fuente: Autores

- Ñ Asegurar con las correas plásticas el cable eléctrico, procurando evitar el contacto directo con fuentes de calor y partes móviles, de forma que este quede lo menos visible posible.
- Ñ Verificar nuevamente todas las conexiones, en especial las del cableado eléctrico.
- Ñ Cargar con solución al sistema como se muestra en la Figura 30:

Figura 30. Carga de la solución



Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. PRUEBAS EN EL VEHÍCULO ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Para verificar la funcionalidad del sistema generador de HIDROXI, así como determinar los efectos que este tiene sobre el vehículo de prueba, se han desarrollado una serie de pruebas permitiendo analizar cada uno de los beneficios que este ofrece; los mismos que a continuación se presentan:

Figura 31. Personal CORPAIRE



Fuente: Autores

Las pruebas de potencia, torque, análisis de gases y consumo de combustible fueron llevadas a cabo en la ciudad de Quito en el Centro de Revisión Vehicular de Guamaní, mediante la autorización de la SECRETARIA DEL AMBIENTE, con la colaboración de los ingenieros Jorge Kaslin, técnico en proyectos de control de emisiones vehiculares, y Alex Guzmán, máster en sistemas automotrices (ver Figura 31).

A continuación presentamos la ficha técnica del vehículo de prueba:

Tabla 16. Especificaciones técnicas vehículo de prueba

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA</b>	
<b>Modelo:</b>	Uno SL
<b>Año de fabricación:</b>	1995
<b>Cilindraje:</b>	1297 cm <sup>3</sup>
<b>Número de cilindros:</b>	4L
<b>Transmisión/# velocidades:</b>	Manual / 5 v.
<b>Tracción:</b>	2WD
<b>Ubicación del motor:</b>	Delantero transversal
<b>Potencia máxima:</b>	58 CV (42,65kw)
<b>Torque máximo:</b>	10 kgf·m (98.0665 N.m)
<b>Peso del vehículo:</b>	920 kg (2018,16 libras)
<b>Longitud del vehículo:</b>	3690 mm (144,57 pulgadas)
<b>Ancho del vehículo:</b>	1570 mm (61,49 pulgadas)
<b>Altura del vehículo:</b>	1430 mm (56,02 pulgadas)
<b>Distancia entre ejes:</b>	2370 mm (92,83 pulgadas)

Fuente: Autores

Figura 32. Vehículo de prueba



Fuente: Autores

## 6.1 Pruebas mecánicas

### 6.1.1 Potencia y torque

Figura 33. Desarrollo pruebas potencia- torque



Fuente: Autores

Las pruebas de potencia y torque se llevaron a cabo en el Centro de Revisión Vehicular de Guamaní, en la ciudad de Quito a una altitud de 2800 msnm en las siguientes fechas:

Prueba sin HIDROXI

Fecha: 29/01/2013

Temp. Ambiente: 25,7 °C

Prueba con HIDROXI

Fecha: 05/06/2013

Temp. Ambiente: 23,3 °C

Para el propósito se contó con un banco de potencia marca MAHA de procedencia alemana, modelo LPS3000 (ver Figura 34) que opera bajo normas DIN 70020, ISO 1585 y SAE J1349, las cuales consideran factores externos como la temperatura del aire ambiente, la presión ambiente y la humedad relativa del aire para el cálculo, permitiendo obtener datos de alta fidelidad (DIN 70020, 2013) (ISO 1585, 1992) (SAE J1349, 2004).



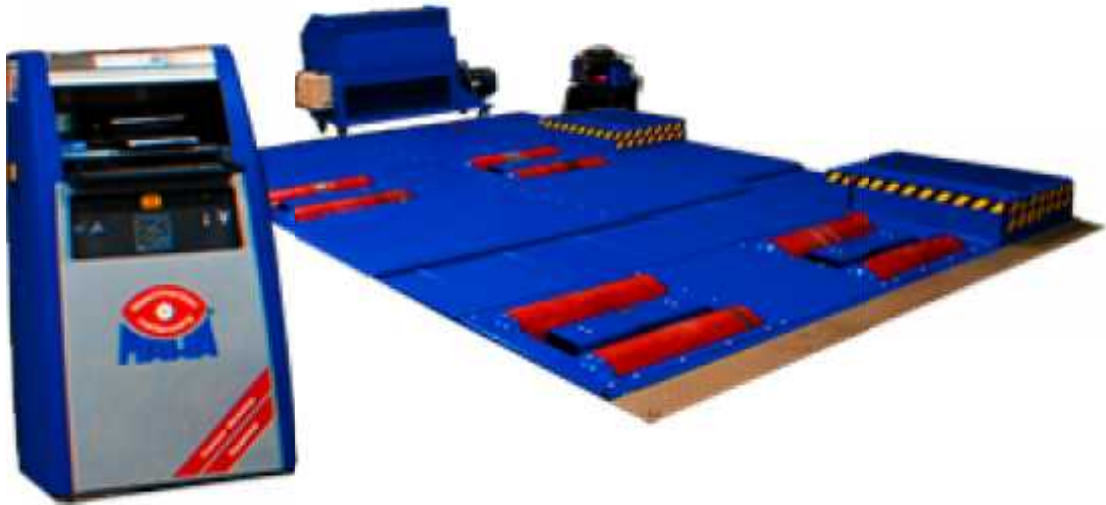
El detalle de las normas se las puede encontrar en los Anexos:

Anexo E: Norma DIN 70020

Anexo F: Norma ISO 1585

Anexo G: Norma SAE J1349

Figura 34. Banco de potencia A



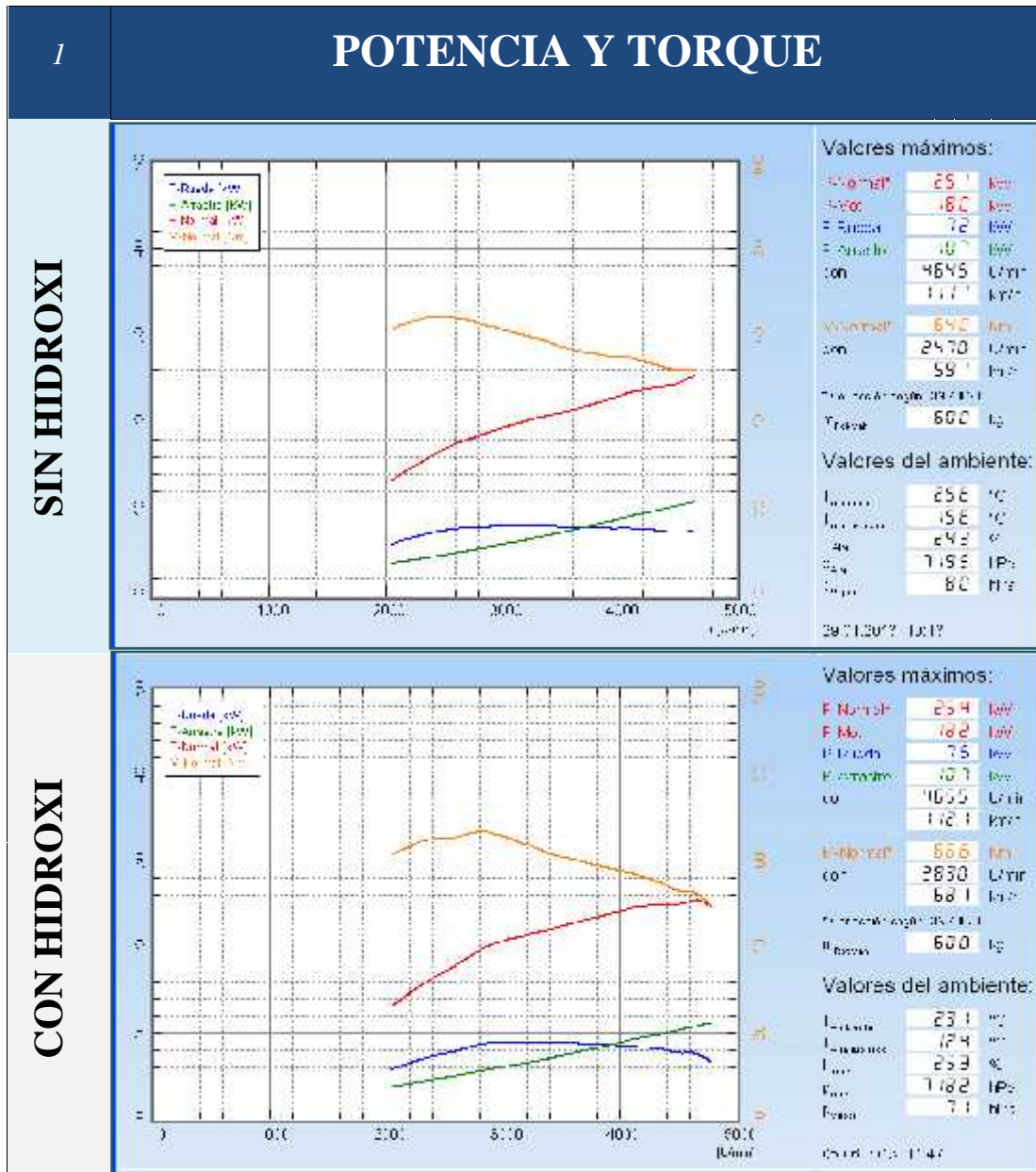
Fuente: [http://www.pitstop.slupsk.pl/auto\\_tuning\\_en.php](http://www.pitstop.slupsk.pl/auto_tuning_en.php)

Se realizó tres pruebas consecutivas, sus resultados se presentan a continuación, así como los valores promedio de las mismas:

Gráfica comparativa de potencia y torque con y sin HIDROXI

PRUEBA 1

Figura 35. Gráfica potencia/torque prueba 1

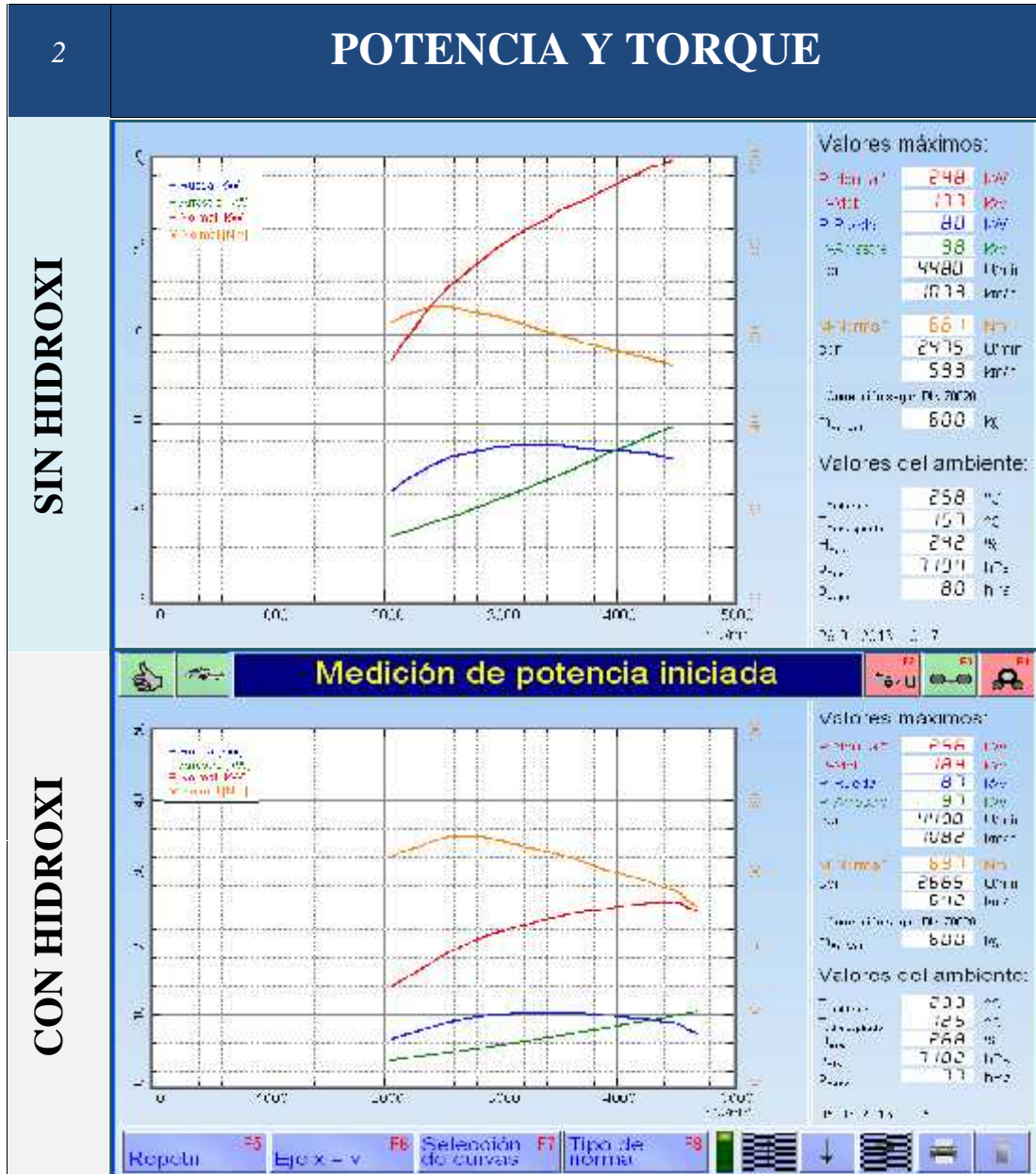


Fuente: Autores

Gráfica comparativa de potencia y torque con y sin HIDROXI

PRUEBA 2

Figura 36. Gráfica potencia/torque prueba 2

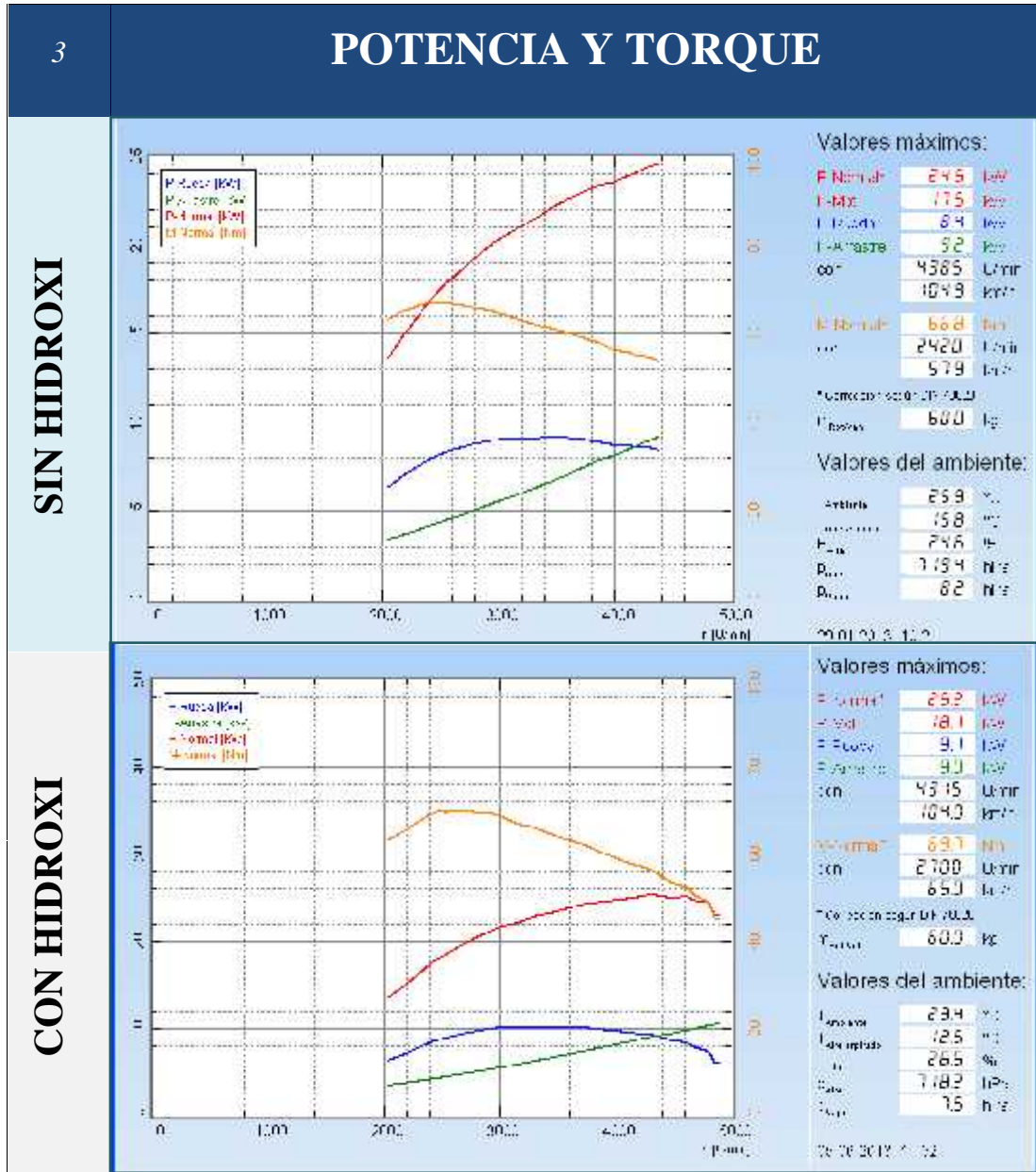


Fuente: Autores

Gráfica comparativa de potencia y torque con y sin HIDROXI

PRUEBA 3

Figura 37. Gráfica potencia/torque prueba 3



**Tabla de resultados y promedios del análisis de potencia y torque**

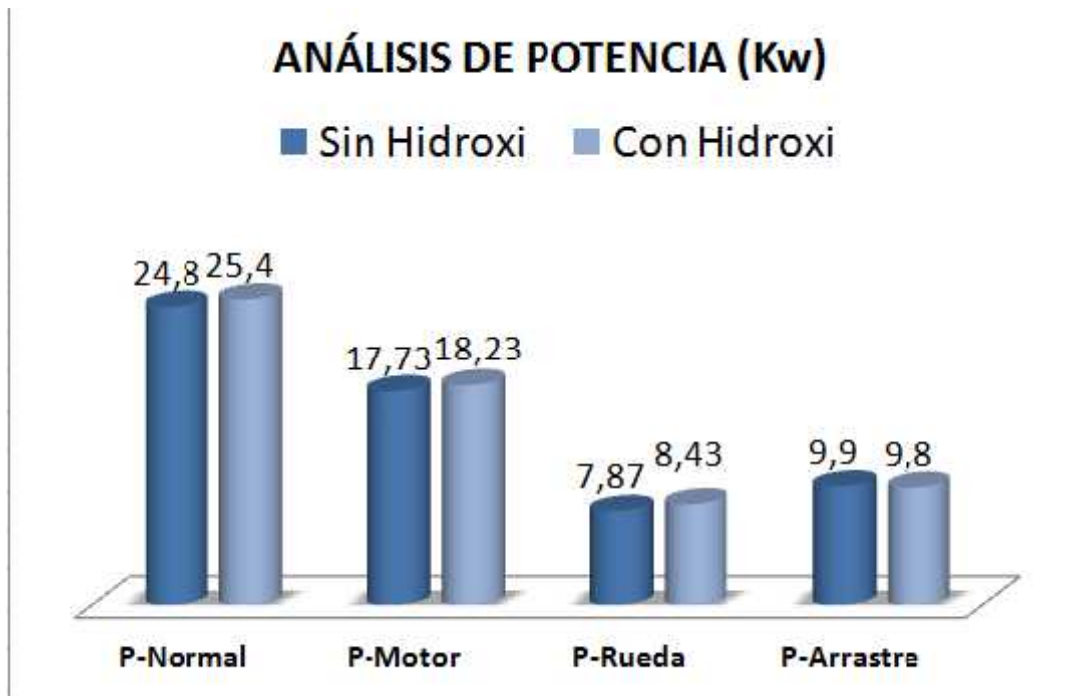
Tabla 17. Resultados y promedios del análisis de potencia y torque

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE POTENCIA Y TORQUE										
		P-Normal	P-Motor	P-Rueda	P-Arrastre	RPM	Velocidad	M-Normal	RPM	Velocidad
		(Kw)	(Kw)	(Kw)	(Kw)	U/min	km/h	N/m	U/min	km/h
SIN HIDROXI	Medición 1	25,1	18	7,2	10,7	7645	111,1	64	2170	55,1
	Medición 2	24,8	17,7	8	9,8	7480	107,4	56,1	2175	54,3
	Medición 3	24,5	17,5	8,4	9,2	4385	104,0	56,8	2420	57,9
CON HIDROXI	Medición 1	25,4	18,2	7,5	10,7	4655	112,1	56,6	2300	66,1
	Medición 2	25,6	18,1	8,7	9,7	7490	118,7	59,7	2365	64,2
	Medición 3	25,7	18,1	9,1	9	4315	104	59,7	2700	65
SIN HIDROXI PROM.		24,8	17,73	7,87	9,9	4503	107,77	55,63	2455	58,77
CON HIDROXI PROM.		25,4	18,23	8,11	9,8	4486,67	118,1	58,67	2731,67	65,77

Fuente: Autores

**Gráfico comparativo del análisis de potencia con y sin HIDROXI**

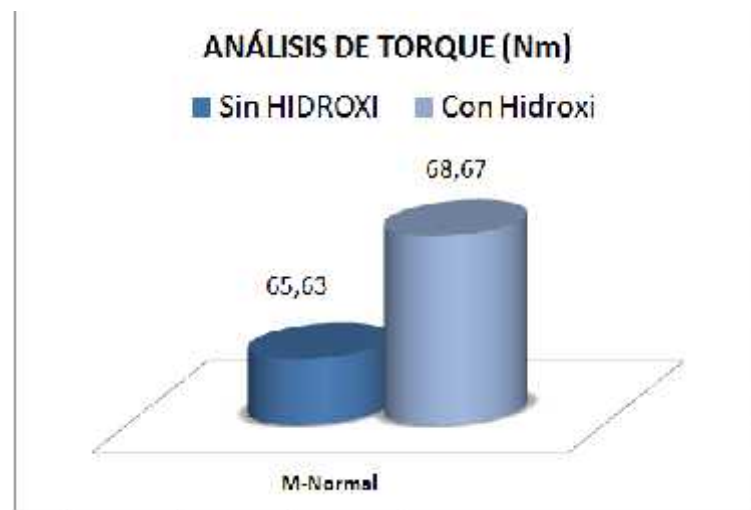
Figura 38. Gráfico comparativo del análisis de potencia con y sin HHO



Fuente: Autores

## Gráfico comparativo del análisis de torque con y sin HIDROXI

Figura 39: Gráfico comparativo del análisis de torque con y sin HHO



Fuente: Autores

**6.1.2 Estado de las cámaras de combustión.** Una hipótesis sobre el uso de hidrógeno como combustible complementario, asegura que este tiene la facultad de limpiar y mantener limpias las cámaras de combustión de los residuos de carbono, como hollín y carbonilla. Es por esto que se ha verificado el estado de las cámaras de combustión antes y después de la instalación del sistema generador de HIDROXI.

Figura 40. Pruebas / estado cámaras de combustión



Fuente: Autores

Para un mejor análisis de esta prueba luego de tomar fotos, se procedió a limpiar el cabezote, liberándolo de todos los residuos de carbono que acumuló durante el tiempo, por otra parte las cabezas de pistones no fueron alteradas.

*Antes de la instalación del sistema.* Estas pruebas fueron realizadas en la ciudad de Riobamba el 9 de enero del 2013, con un kilometraje en el vehículo de 313899 Km. Obteniendo las siguientes fotografías:

Figura 41. Pistones antes de la instalación del sistema



Fuente: Autores

Figura 42. Cabezote antes de la instalación del sistema



Fuente: Autores

*Después de la instalación del sistema.* Estas pruebas fueron realizadas en la ciudad de Riobamba el 26 de septiembre del 2013, con un kilometraje en el vehículo de 319873 Km, obteniendo las siguientes fotografías:

Figura 43. Pistones después de la instalación del sistema



Fuente: Autores

Figura 44. Cabezote después de la instalación del sistema



Fuente: Autores



## 6.2 Análisis de gases

De igual forma las pruebas de análisis de gases se llevaron a cabo en el Centro de Revisión Vehicular de Guamaní, en la ciudad de Quito a una altitud de 2800 msnm en las siguientes fechas:

Prueba sin HIDROXI

Fecha: 29/01/2013

Temp. Ambiente: 25,7 °C

Prueba con HIDROXI

Fecha: 05/06/2013

Temp. Ambiente: 23,3 °C

Para el propósito se contó con un analizador de gases marca MAHA de procedencia alemana modelo MGT5 (ver Figura 45), el cual trabaja por infrarrojos para el análisis de CO, CO<sub>2</sub>, HC; además cuenta con un analizador electroquímico de oxígeno, óxido de nitrógeno y permite calcular el valor lambda.

Figura 45. Analizador de gases



Fuente: <http://www.malinis.gr/eshop/kausanalutes/64.html>

Los gases generados por el motor de un vehículo a ralentí o a una carga determinada, obviamente no son los mismos que los generados por un vehículo en circulación. Es por esto, que para esta prueba se han propuesto dos tipos de ensayos, un estático y otro dinámico.

Figura 46: Desarrollo prueba análisis de gases



Fuente: Autores

**6.2.1 Prueba estática.** Consiste en realizar la medición de los gases producto de la combustión a diferentes cargas del motor. La normativa de la CORPAIRE sugiere realizar dos ensayos, uno a ralentí (1000 RPM) y otro a media carga (2500 RPM).

Se realizó tres pruebas consecutivas de cada ensayo, presentándolas a continuación así como los valores promedio de las mismas:

**6.2.1.1 Medición con marcha en vacío.** Es una de las pruebas predeterminadas por el equipo que toma sus mediciones a ralentí, los rangos de tolerancia para una adecuada medición establecidos por este equipo son de 400 a 1500 RPM y a una temperatura de aceite entre 60 y 110 °C.

**Tabla de resultados y promedios del análisis de gases a 1000 rpm**

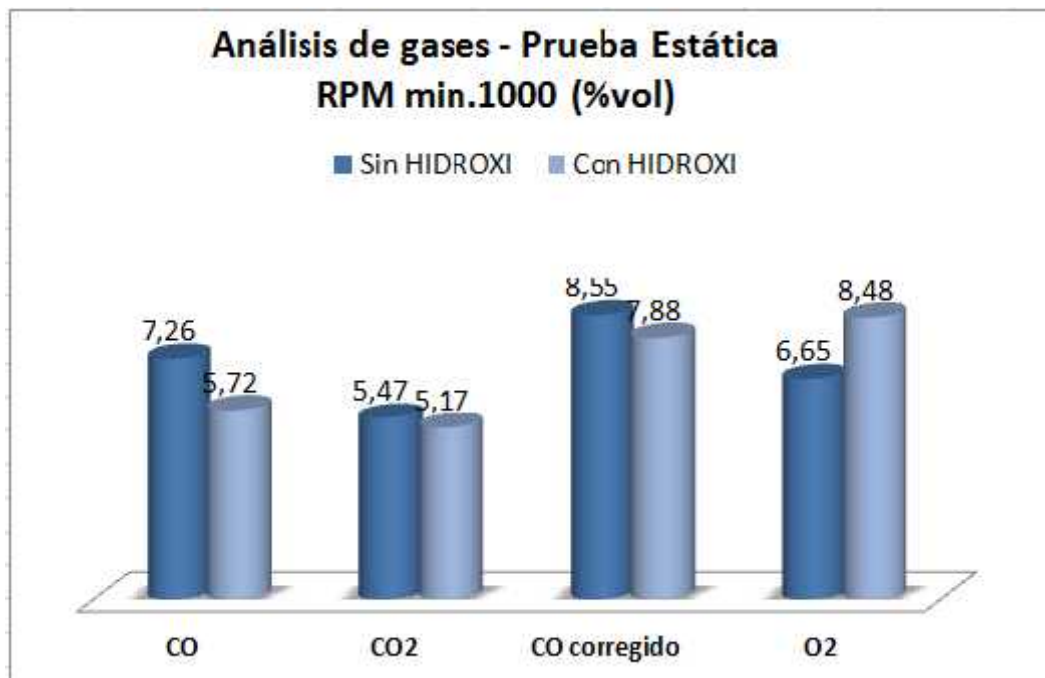
Tabla 18. Análisis de gases prueba estática (1000RPM)

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE GASES PRUEBA ESTÁTICA								
RPM min. 1000								
		CO	CO2	CO corregido	O2	HC	NOX	LAMBDA
		% Vol	% Vol	% Vol	% Vol	ppm	ppm	λ
SIN HIDROXI	Medición 1	6,58	5,90	7,91	6,75	797,00	6,00	1,08
	Medición 2	7,45	5,20	8,83	6,79	1104,00	5,00	1,03
	Medición 3	7,74	5,30	8,90	6,42	1125,00	6,00	1,00
CON HIDROXI	Medición 1	5,92	5,00	8,13	8,57	600,00	3,00	1,24
	Medición 2	5,80	5,20	7,91	8,30	523,00	3,00	1,21
	Medición 3	5,45	5,30	7,60	8,57	425,00	3,00	1,28
<b>SIN HIDROXI PROM.</b>		7,26	5,47	8,55	6,65	1008,67	5,67	1,03
<b>CON HIDROXI PROM.</b>		5,72	5,17	7,88	8,48	516,00	3,00	1,25

Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de CO, CO2, CO corregido, O2 con y sin HIDROXI a 1000 rpm**

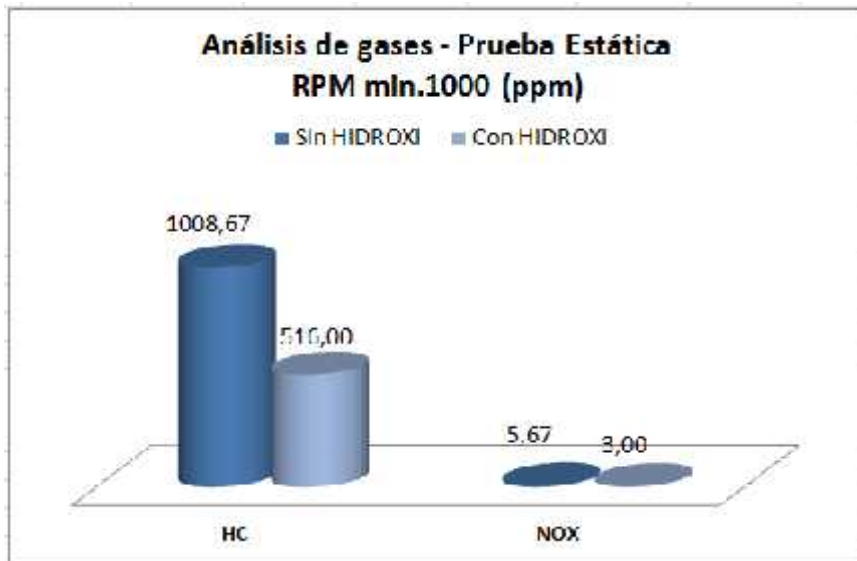
Figura 47. Resultados análisis de gases-estática (1000RPM) A



Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de HC, NOX, con y sin HIDROXI a 1000 rpm**

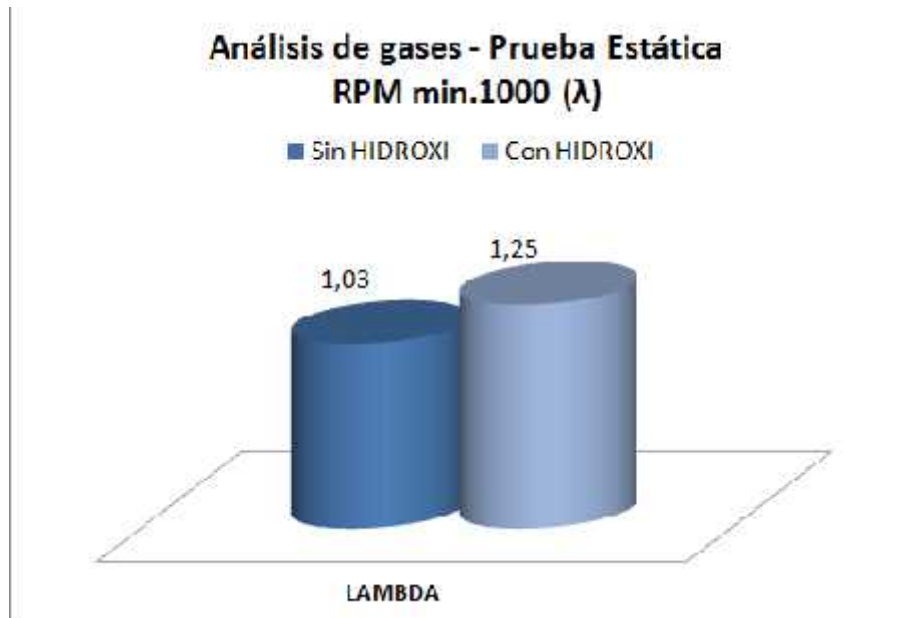
Figura 48. Resultados análisis de gases-estática (1000 RPM) B



Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de la relación lambda con y sin HIDROXI a 1000 rpm**

Figura 49. Resultados análisis de gases-estática (1000 RPM) C



Fuente: Autores

**6.2.2 Medición con marcha en vacío acelerada.** De igual forma es una prueba predeterminada por el equipo que toma sus datos a media carga, los rangos de tolerancia para una adecuada medición establecidos por este equipo son de 2500 a 3000 RPM y a una temperatura de aceite entre 60 y 110 °C.

**Tabla de resultados y promedios del análisis de gases a 2500 rpm**

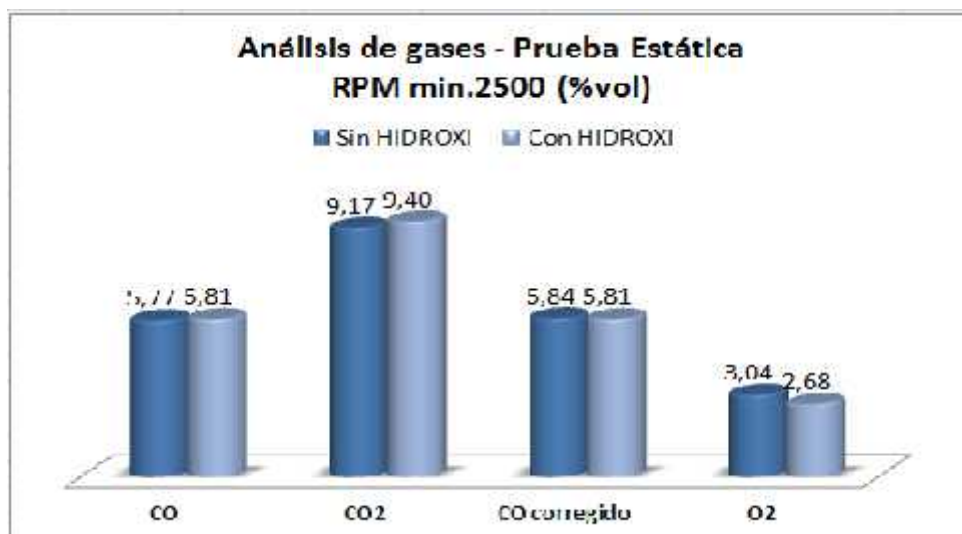
Tabla 19. Análisis de gases prueba estática (2500 RPM)

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE GASES PRUEBA ESTÁTICA								
RPM mín. 2500								
		CO	CO2	CO corregido	O2	HC	NOX	LAMBDA
		% Vol	% Vol	% Vol	% Vol	ppm	ppm	λ
SIN HIDROXI	Medición 1	5,90	9,30	5,90	2,74	975,00	22,00	0,91
	Medición 2	5,18	9,20	5,40	3,35	1109,00	17,00	0,95
	Medición 3	6,23	9,00	6,23	3,02	1056,00	18,00	0,91
CON HIDROXI	Medición 1	5,39	9,70	5,39	2,71	290,00	12,00	0,95
	Medición 2	5,96	9,30	5,96	2,76	331,00	10,00	0,93
	Medición 3	6,09	9,20	6,09	2,58	327,00	11,00	0,92
SIN HIDROXI PROM.		5,77	9,17	5,84	3,04	1046,67	19,00	0,92
CON HIDROXI PROM.		5,81	9,40	5,81	2,68	316,00	11,00	0,93

Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de CO, CO2, COcorregido, O2 con y sin HIDROXI a 2500 rpm**

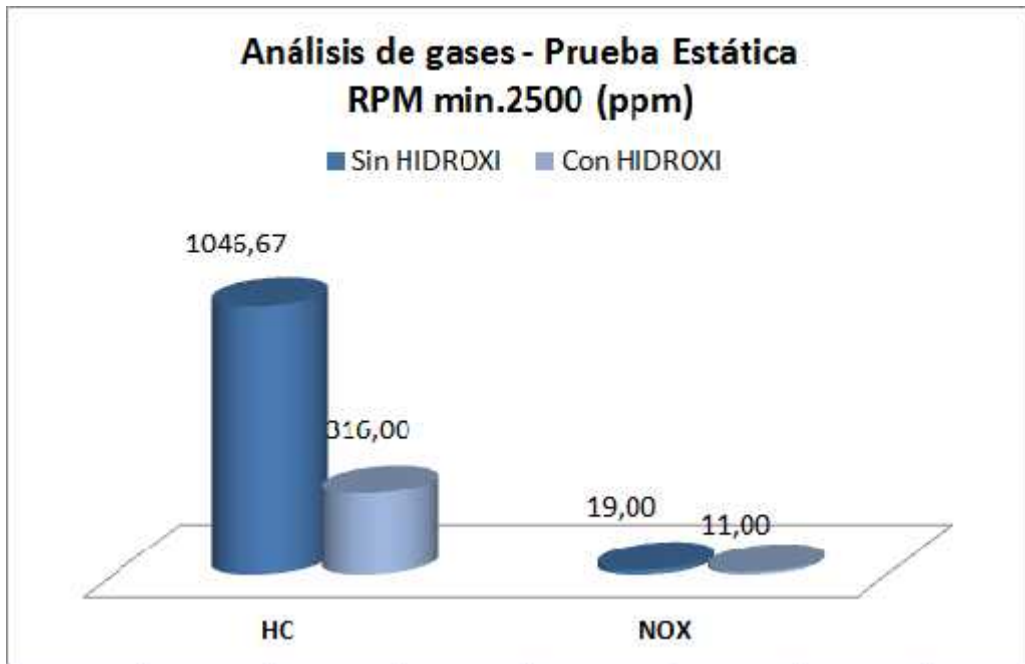
Figura 50. Resultados análisis de gases-estática (2500 RPM) A



Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de HC, NOX, con y sin HIDROXI a 2500 rpm**

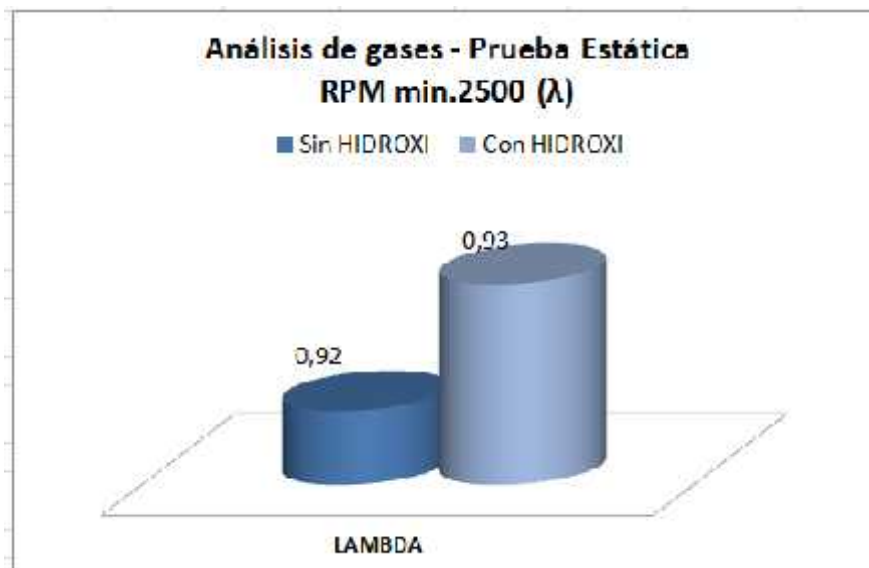
Figura 51. Resultados análisis de gases-estática (2500 RPM) B



Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de la relación lambda con y sin HIDROXI a 2500 rpm**

Figura 52. Resultados análisis de gases-estática (2500 RPM) C



Fuente: Autores

**6.2.3 Prueba dinámica.** Se utiliza la prueba IM240 que es una simulación de conducción típica en la ciudad, pero realizada en un banco dinamométrico de inercia, donde el vehículo funciona durante un ciclo de conducción a diferentes velocidades y revoluciones, por lo tanto incluye los modos de conducción tales como la aceleración y desaceleración, siendo parámetros importantes para la medición de la cantidad de emisiones del vehículo en condiciones normales de conducción en el perímetro urbano.

Figura 53. Banco de potencia B



Fuente: <http://www.ccar-greenlink.org/Search/1713body.htm>

La prueba fue aplicada antes y después de la instalación del sistema generador de HIDROXI para comparar las concentraciones de gases contaminantes. La prueba dura 240 segundos, que representa una ruta de 3.1 km con una velocidad media de 47.3 km/h y una velocidad máxima de 91.2 km/h (MAHA, 1999).

Figura 54. Análisis de gases prueba dinámica



Fuente: Autores

Se realizó tres pruebas consecutivas, sus resultados se presentan a continuación así como los valores promedio de las mismas.

## Gráfica comparativa del análisis de gases

### PRUEBA 1

Figura 55. Análisis de gases prueba dinámica 1



Fuente: Autores



## Gráfica comparativa del análisis de gases

### PRUEBA 2

Figura 56. Análisis de gases prueba dinámica 2



Fuente: Autores

## Gráfica comparativa del análisis de gases

### PRUEBA 3

Figura 57. Análisis de gases prueba dinámica 3



Fuente: Autores

**Tabla de resultados y promedios del análisis de gases**

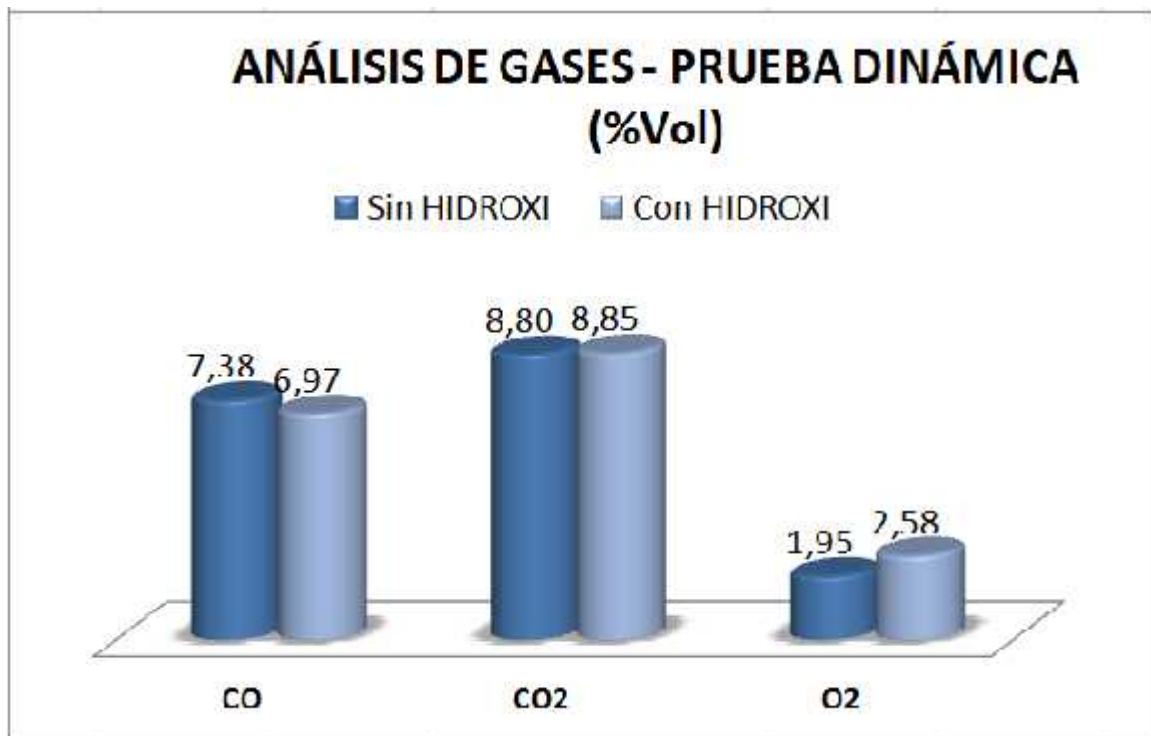
Tabla 20. Análisis de gases prueba dinámica

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE GASES - PRUEBA DINÁMICA							
	CO	CO2	O2	HC	NOX	LAMBDA	
	% Vol	% Vol	% Vol	ppm	ppm	λ	
SIN HIDROXI	Medición 1	7,78	8,55	1,87	809,20	47,85	0,84
	Medición 2	7,40	8,82	1,99	886,16	52,30	0,83
	Medición 3	6,96	9,02	1,98	796,08	55,37	0,89
CON HIDROXI	Medición 1	7,06	8,64	2,71	563,88	25,71	0,87
	Medición 2	6,93	8,96	2,45	536,02	26,30	0,87
	Medición 3	6,92	8,95	2,57	510,90	25,76	0,87
<b>SIN HIDROXI PROM.</b>							
	7,38	8,80	1,95	830,48	51,84	0,85	
<b>CON HIDROXI PROM.</b>							
	6,97	8,85	2,58	536,94	25,92	0,87	

Fuente: Autores

**Gráfico comparativo de CO, CO2, CO, O2 con y sin HIDROXI**

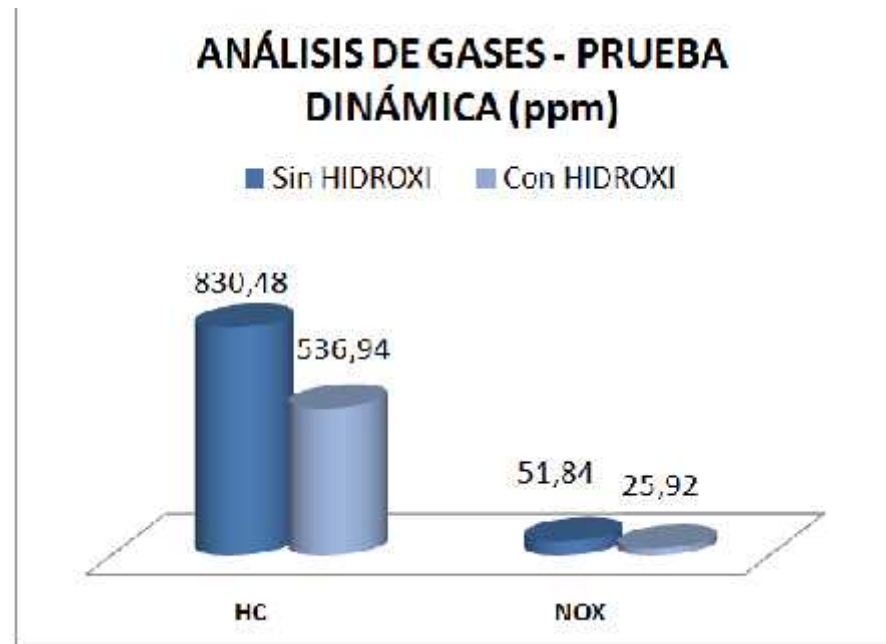
Figura 58. Análisis de gases prueba dinámica A



Fuente: Autores

### Gráfico comparativo de HC, NOX, con y sin HIDROXI

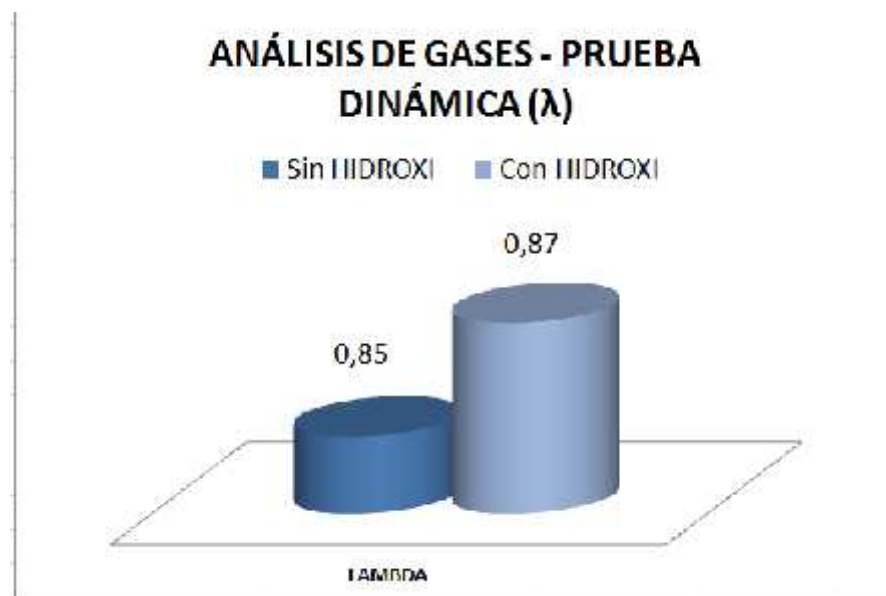
Figura 59. Análisis de gases prueba dinámica B



Fuente: Autores

### Gráfico comparativo de la relación lambda con y sin HIDROXI

Figura 60. Análisis de gases prueba dinámica C



Fuente: Autores

Todos estos procesos de medición en pruebas dinámicas como en estáticas, fueron realizados bajo las normas INEN 2204, INEN 2203, INEN 935, ISO 6145 (INEN 2204, 2002) (INEN 2203, 2004) (INEN 935, 2012) (ISO 6145 - 2, 2003).

El gas de calibración debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ISO 6145. Este gas debe contar con una certificación emitida por el fabricante, de acuerdo con lo establecido en la norma anteriormente indicada (ISO 6145 - 2, 2003).

Los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina se basan en la norma INEN 2204:2002 (INEN 2204, 2002).

Todas estas normas constan en los Anexos señalados a continuación:

Anexo H: Norma INEN 2203.

Anexo I: Norma INEN 2204.

Anexo J: Norma INEN 935.

Anexo K: ISO 6145.

### **6.3 Consumo**

Las pruebas de consumo de combustible se llevaron a cabo en la ciudad de Quito a una altitud de 2800 msnm en dos días consecutivos, se trazó 2 rutas, una dentro del perímetro urbano con condiciones de tráfico medio y otra en una vía perimetral con el fin de poder evaluar el consumo tanto en ciudad como en carretera, estas pruebas fueron realizadas en las siguientes fechas:

Prueba sin HIDROXI

Fecha: *06/09/2013*

Prueba con HIDROXI

Fecha: *07/09/2013*

Para el propósito se contó con un equipo para medición de consumo y análisis de gases marca GLOBALMRV de procedencia americana, modelo Axion<sup>TM</sup>R/S+ (ver Figura 61), el cual es un equipo portable de alta fidelidad.

Figura 61. Cuantificador de consumo de combustible



Fuente: <http://globalmrv.com/products/axionrsh3/>

A continuación se presentan los valores obtenidos, así como los valores promedio de las mismas, para cada prueba, tanto en ciudad como en carretera se realizaron cuatro ensayos, dos con HIDROXI y dos sin HIDROXI, cada uno de 30 minutos:

Figura 62. Desarrollo pruebas consumo



Fuente: Autores

**6.3.1 Prueba en ciudad.** Se trazó una ruta dentro del perímetro urbano de la ciudad de Quito, específicamente al norte de la ciudad, partiendo de la Secretaría de ambiente ubicada en las calles Av. Río Coca e Isla Genovesa, la duración de las pruebas establecidas por el equipo es de 30 min, tiempo en el cual se pudo recorrer un aproximado de 5,6 km. La ruta, los días y la hora de las pruebas fueron seleccionadas para que ambas sean lo más homogéneas posible, así como encontrar un tráfico moderado permitiendo obtener datos más precisos.

**Tabla de resultados y promedios del consumo de combustible en ciudad**

Tabla 21. Análisis de consumo de combustible en ciudad

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE								
PRUEBA EN CIUDAD								
		Hora	Duración	Distancia	Consumo (gas)	Consumo (gas)	Consumo (gas)	Rendimiento
		hh:mm:ss	hh:mm:ss	Km	Kg.	Cm3.	Gal	Km/gal.
SIN HIDROXI	Medición A	12:15:10	0:30:00	5,40	0,820	1109,10	0,293	18,43
	Medición B	13:00:34	0:30:00	5,22	0,787	1063,70	0,281	18,58
CON HIDROXI	Medición E	12:19:23	0:30:00	5,10	0,736	995,56	0,263	23,19
	Medición F	13:04:07	0:30:00	5,85	0,694	938,78	0,248	23,59
SIN HIDROXI PROM.			0:30:00	5,31	0,80	1086,40	0,29	18,50
CON HIDROXI PROM.			0:30:00	5,98	0,72	967,17	0,26	23,39
		AHORRO		Km/gal.	4,89			
				%	20,91			

Fuente: Autores

**Gráfico comparativo del consumo de combustible con y sin HIDROXI en ciudad**

Figura 63. Consumo de combustible / ciudad



Fuente: Autores

**6.3.2 Prueba en carretera.** Posterior a las pruebas de consumo en ciudad se llevó el vehículo de prueba a una perimetral, específicamente Av. Simón Bolívar norte para simular la conducción en carretera. De igual forma la duración de cada prueba fue de 30 min con lo que se

pudo recorrer una media de 22,8 km, de igual forma se otorgó suma prioridad a que las condiciones en las pruebas sea lo más uniformes posibles.

### Tabla de resultados y promedios del consumo de combustible en carretera

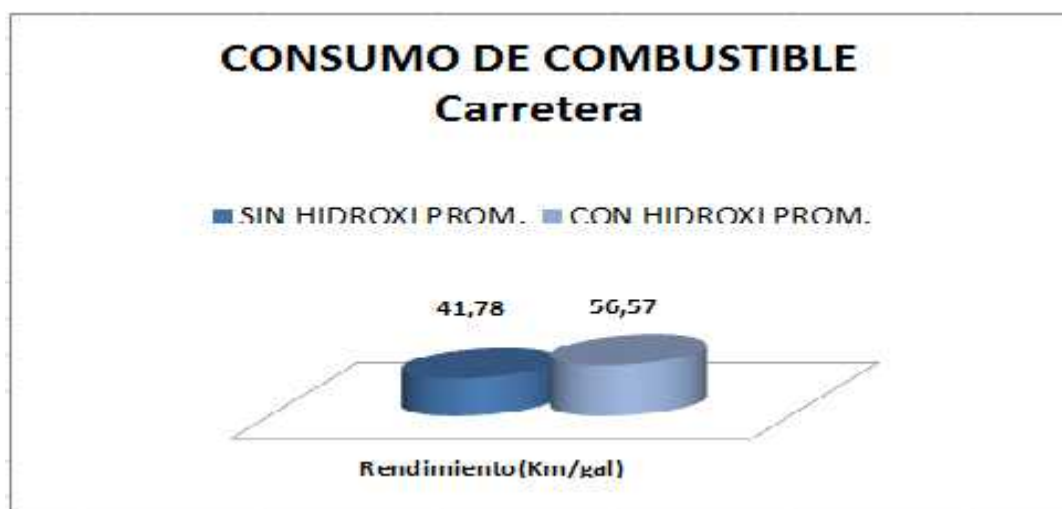
Tabla 22. Análisis de consumo de combustible en carretera

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE								
PRUEBA EN CARRETERA								
		Hora	Duración	Distancia	Consumo (gas)	Consumo (gas)	Consumo (gas)	Rendimiento
		hh:mm:ss	hh:mm:ss	Km	Kg.	Cm3.	Gal	Km/gal.
SIN HIDROXI	Medición C	13:40:46	0:30:00	23,83	1,619	2188,30	0,578	41,22
	Medición D	14:33:39	0:30:00	21,16	1,399	1391,80	0,500	42,34
CON HIDROXI	Medición G	13:44:06	0:30:00	22,01	1,098	1484,60	0,392	56,12
	Medición H	14:35:54	0:30:00	24,38	1,197	1518,50	0,428	57,02
SIN HIDROXI PROM.			0:30:00	22,50	1,51	2040,05	0,54	41,78
CON HIDROXI PROM.			0:30:00	23,20	1,15	1551,55	0,41	56,57
						AHORRO		
						Km/gal		14,79
						%		26,14

Fuente: Autores

### Gráfico comparativo del consumo de combustible con y sin HIDROXI en carretera

Figura 64. Consumo de combustible / carretera



Fuente: Autores



## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DEL SISTEMA

#### 7.1 Análisis técnico

El propósito de este análisis es comparar los datos técnicos que se obtuvieron del vehículo antes y después de la instalación del sistema, para conocer las ventajas o desventajas que se pudieron haber generado.

**7.1.1 Combustión.** La siguiente Tabla muestra los resultados de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y lambda.

Tabla 21. Análisis técnico / combustión

Parámetro	Tipo de prueba	Análisis técnico/combustión			
		SIN HIDROXI	CON HIDROXI	Eficiencia	%
CO <sub>2</sub> (% vol.)	1000 rpm	5,47	5,17	-0,3	-5,80
	2500 rpm	9,17	9,4	0,23	2,45
	Dinámico	8,8	8,85	0,05	0,56
O <sub>2</sub> (% vol.)	1000 rpm	6,65	8,48	-1,83	-27,52
	2500 rpm	3,04	2,68	0,36	11,84
	Dinámico	1,95	2,58	-0,63	-32,31
Lambda (λ)	1000 rpm	1,03	1,25	-0,22	-21,36
	2500 rpm	0,92	0,93	0,01	1,09
	Dinámico	0,85	0,87	0,02	2,35

Fuente: Autores

*Dióxido de carbono.* El incremento del porcentaje de este gas, representa una mejoría en la combustión del motor, como es el caso del régimen a 2500 rpm y la prueba dinámica, donde las emisiones de CO<sub>2</sub> incrementan. Y en la prueba de 1000 rpm se nota un descenso de este gas y por ende dando a conocer una mala combustión a este régimen.

Pese a que estos valores no superan el 14% de vol. correspondiente a la producción ideal de CO<sub>2</sub>, se nota un incremento de este valor con la utilización del sistema dual-fuel acercándonos

al valor ideal, representando una combustión más completa y eficiente en revoluciones altas y medias.









*Oxígeno.* La cantidad de oxígeno en una combustión ideal debería ser cero, sin embargo la norma permite como un valor máximo 2% de vol., es decir mientras menos oxígeno exista como producto de una combustión, esta es más completa.

En la prueba a 2500 rpm el valor del oxígeno con la implementación del sistema, baja a valores casi admisibles por la norma, sin embargo en las pruebas a 1000 rpm y dinámica; los valores de oxígeno aumentan implicando una degradación en la combustión, justificable por cuanto al motor no solo se le adiciona H sino HHO teniendo de esta forma un exceso de comburente.

*Relación lambda.* Como se conoce, lo ideal es que la relación lambda sea 1. En el primer caso a 1000 rpm existe un incremento de este valor denominándose mezcla pobre por exceso de O<sub>2</sub>, sin embargo en la prueba a 2500 rpm y dinámica se obtiene una mezcla rica, llegando a ser más estequiométrica con el uso del sistema, pues el valor tiende a acercarse más a 1, obteniendo por ende una mejor combustión.

*Estado de las bujías.* Para esta prueba se procedió tomando dos muestras, la primera de ellas fue toma el 9 de enero del 2013 sin la utilización del sistema dual-fuel, y la segunda el 26 de septiembre del 2013 luego haber utilizado el sistema por un tiempo aproximado de 8 meses.

Tabla 22. Bujías antes y después de la instalación del sistema

Bujías		
Cilindro #	Sin HHO	Con HHO
1		
2		
3		
4		

Fuente: Autores

Como se puede observar en las fotografías es evidente una mejoría en la combustión con la utilización del sistema dual-fuel, pasando de un tono negro en la cabeza y electrodos de las bujías causado por una capa opaca de hollín a un tono marrón claro, que de acuerdo al “Análisis del estado de la bujía de encendido” de Bosch corresponden a una combustión ideal como se muestra en el Anexo L. Por lo cual se puede aseverar que la implementación del sistema dual-fuel permite obtener una combustión más completa quemando de mejor manera los gases y aprovechando de una forma más eficiente el combustible como fuente de energía.

**7.1.2** *Potencia / torque.* La siguiente Tabla es una comparación entre potencia y torque, antes y después de la instalación del sistema dual-fuel:

Tabla 23. Análisis técnico / potencia – torque

Parámetros	Unidades	Análisis técnico/potencia-torque			
		SIN HIDROXI	CON HIDROXI	Eficiencia	%
POTENCIA	(Kw)	74,8	75,4	0,6	2,36
TORQUE	(Nm)	65,53	68,67	3,04	4,43

Fuente: Autores

*Potencia.* Es evidente el incremento de potencia antes y después de la instalación, pues se logra aumentar en 0,6 Kw, o lo que es igual a 0,8 Hp la potencia normal del vehículo a 4500 rpm que representaría el 2,36%.

*Torque.* Se obtiene un aumento en el torque del vehículo con la implementación del sistema dual-fuel, de 3,04 Nm a 2600 rpm, representando el 4,43%.

**7.1.3** *Estado de las cámaras de combustión.* La prueba del estado de las cámaras de combustión fue realizada luego de un tiempo aproximado de 8 meses en los cuales el vehículo de prueba recorrió un total de 5974 Km y cuyos resultados se presentan a continuación:

*Limpieza de las cámaras de combustión.* Las fotografías a continuación presentadas corresponden a las cabezas de los pistones del motor del vehículo de prueba, antes y después de la instalación del sistema generador de HIDROXI, cabe en este punto recordar que estas no se las alteró de ninguna forma, conservando su estado durante el transcurso de la prueba. Como se puede notar en las imágenes de la Tabla 24, los residuos de carbono en las cabezas de los pistones han permanecido casi inalterables, por lo cual se puede concluir que el sistema generador de HIDROXI no tiene la facultad de limpiar las cámaras de combustión.

Tabla 24. Pistones antes y después de la instalación del sistema

Cabezas de Pistones		
Cilindro #	Sin HHO	Con HHO
1		
2		
3		
4		









Fuente: Autores

*Conservación de las cámaras de combustión.* Las fotografías a continuación mostradas corresponden al cabezote del motor del vehículo de prueba, antes y después de la instalación del sistema generador de HIDROXI, es importante mencionar que este fue limpiado antes del rearmado el motor, liberándolo de los residuos de carbono e impurezas acumuladas hasta el momento.

Como se puede apreciar en las imágenes de la Tabla 25, han aparecido nuevos depósitos de carbono e impurezas en el cabezote, por lo cual se puede concluir que el sistema generador de HIDROXI no tiene la facultad de mantener limpias las cámaras de combustión.

Por otra parte al igual que en el caso de las bujías, aquí también se puede evidenciar una mejora en la combustión por el tono marrón claro, en las cabezas de válvulas.

Tabla 25. Cabezote antes y después de la instalación del sistema

Cabezote		
Cilindro #	Sin HHO	Con HHO
1		
2		
3		
4		

Fuente: Autores

**7.1.4 Rendimiento efectivo.** “Es la relación entre el trabajo útil en el eje del motor y el equivalente a la energía calorífica del combustible consumido, es igual al producto del rendimiento termodinámico por el rendimiento mecánico” (DÍAZ, 2008).

En otros términos, el rendimiento no es más que la relación que existe entre el trabajo realizado por un motor y la cantidad de combustible que se ocupó para el mismo. Su valor está comprendido entre 0 y 1, mientras mayor sea este valor, indica un mayor rendimiento.

**Sin HIDROXI:**

Datos:

$$\dot{W}_e = 17,73 \text{ Kw (CORPAIRE, 2013)}$$

$$H_i = 43950 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \text{ (CORPAIRE, 2013)}$$

$$V_g = 0,052 \frac{\text{cm}^3}{\text{ciclo}} \approx 0,000000052 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}} \text{ (CORPAIRE, 2013)}$$

$$\rho_g = 740,7 \text{ Kg/m}^3 \text{ (CORPAIRE, 2013)}$$

Cálculos:

Masa de gasolina sin HHO: ( $m_g$ )

$$m_g = V_g * \rho_g \tag{6}$$

$$m_g = (0,000000052 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}})(740,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})$$

$$m_g = 0,0000385164 \frac{\text{Kg}}{\text{ciclo}}$$

Flujo de gasolina sin HHO: ( $\dot{g}$ )

$$\dot{g} = \frac{2}{z} m_c i \frac{n}{60} \tag{7}$$

$$\dot{g} = \left(\frac{2}{4}\right) (0,000385164 \text{ Kg}) (4) \left(\frac{1000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{60}\right)$$

$$\dot{g} = 0,00128385 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{g} = 1,28385 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$



**Rendimiento total del motor sin HHO: ( $n_T$ )**

$$n_T = \frac{W_e}{\dot{m}_g H_l} \quad (8)$$
$$n_T = \frac{(17,73 \text{ Kw})(860 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kwh}})(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}})}{(0,00128385 \frac{\text{Kg}}{\text{s}})(43950 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}})(\frac{1 \text{Kcal}}{4,1868 \text{ KJ}})} =$$
$$n_T = \frac{4,2355 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}}{13,4769 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}} =$$
$$n_T = 0,31$$

**Con HIDROXI:**

Datos:

$$W_e = 18,23 \text{ Kw (CORPAIRE, 2013)}$$

$$H_l = 43950 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \text{ (CORPAIRE, 2013)}$$

$$V_{\text{comb.}} = 0,042 \text{ cm}^3 = 0,000042 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}} \text{ (CORPAIRE, 2013)}$$

$$\rho_{\text{comb.}} = 740,7 \text{ Kg/m}^3 \text{ (CORPAIRE, 2013)}$$

Cálculos:

Masa de gasolina con HHO: ( $m_g$ )

$$m_g = V_g * \rho_g$$
$$m_g = (0,00000042 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}})(740,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})$$
$$m_g = 0,0000311094 \frac{\text{Kg}}{\text{ciclo}}$$

Flujo de gasolina con HHO: ( $g$ )

$$g = \frac{2}{z} m_g i \frac{n}{60}$$

$$g = \left(\frac{2}{4}\right) (0,0000311094 \text{ Kg}) (4) \left(\frac{1000 \frac{rev}{min}}{60}\right)$$

$$g = 0,00103698 \frac{Kg}{s}$$

$$g = 1,03698 \frac{g}{s}$$

**Rendimiento total del motor con HHO: ( $n_T$ )**

$$n_T = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_g H_i}$$

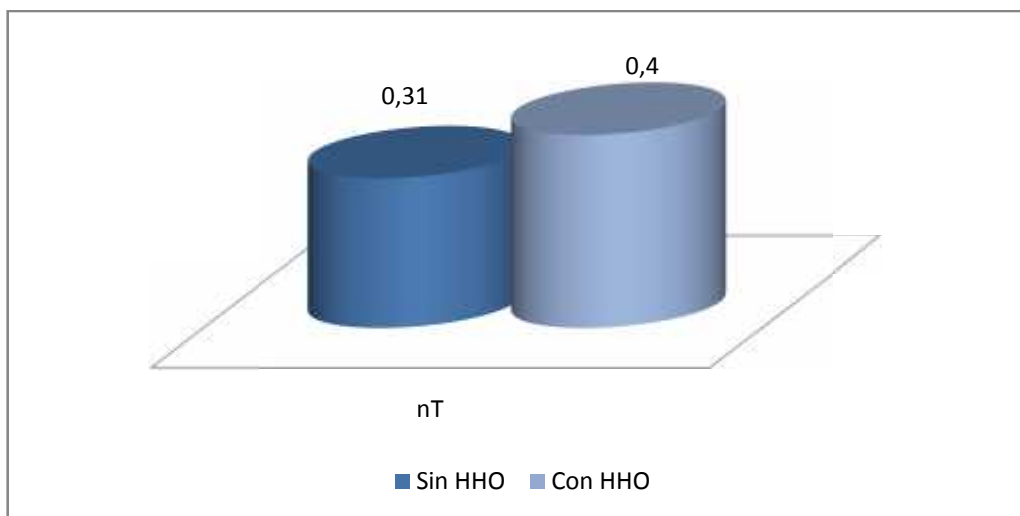
$$n_T = \frac{(18,23 \text{ Kw}) (860 \frac{Kcal}{Kwh}) (\frac{1 h}{3600 s})}{(0,00103698 \frac{Kg}{s}) (43950 \frac{KJ}{Kg}) (\frac{1 Kcal}{4,1868 KJ})}$$

$$n_T = \frac{4,3594 \frac{Kcal}{s}}{10,88 \frac{Kcal}{s}}$$

$$n_T = 0,40$$

Con los datos obtenidos podemos concluir que el rendimiento del motor del vehículo tuvo un incremento de 0,09 equivalente al 9 %; lo cual corresponden a un 22,5% de incremento en el rendimiento con la utilización del sistema dual-fuel.

Figura 65. Rendimiento con y sin HHO



Fuente: Autores

**7.1.5 Consumo específico.** “El consumo específico es la relación entre el flujo de combustible ( $\dot{m}_g$ ) y la potencia efectiva del motor” (DÍAZ, 2008).

En otras palabras, el consumo específico es la cantidad de combustible que necesita un motor de combustión interna para proporcionar una unidad de potencia, en una unidad de tiempo. El consumo específico en cierta forma expresa la eficiencia de un motor, al relacionar consumo con beneficios, cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su eficiencia.

**Sin HIDROXI:**

Datos:

$$P_e = 17,73 \text{ Kw (CORPAIRE, 2013)}$$

$$\dot{m}_g = 1,28385 \text{ g/s (CORPAIRE, 2013)}$$

Cálculos:

$$Cs = \frac{\dot{m}_g}{W_e} \tag{9}$$

$$Cs = \frac{(1,28385 \frac{g}{s})(\frac{3600 s}{h})}{17,73 \text{ Kw}}$$

$$Cs = 260,68 \frac{g}{Kwh}$$

**Con HIDROXI:**

Datos:

$$P_e = 18,23 \text{ Kw (CORPAIRE, 2013)}$$

$$\dot{m}_g = 1,03698 \text{ g/s (CORPAIRE, 2013)}$$

Cálculos:

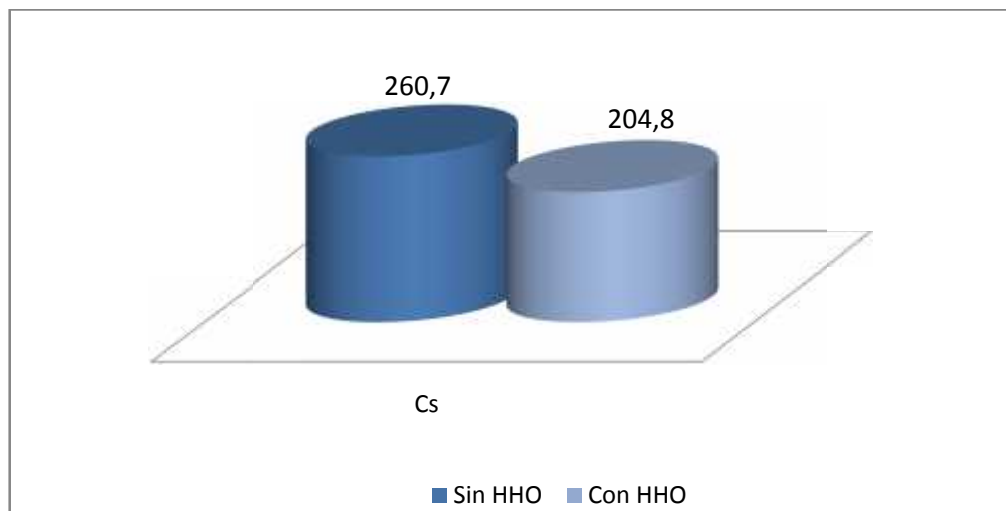
$$Cs = \frac{\dot{m}_g}{W_e}$$

$$Cs = \frac{(1,03698 \frac{g}{s}) (\frac{3600 s}{h})}{18,23 Kw}$$

$$Cs = 204,77 \frac{g}{Kwh}$$

Los datos obtenidos a través de cálculos reflejan una disminución en el consumo específico correspondiente a 55,91 g/Kwh, los cuales equivalen a un 21,5%, reflejando una mejor eficiencia con la utilización del sistema dual-fuel.

Figura 66. Consumo específico con y sin HHO



Fuente: Autores

## 7.2 Análisis ambiental

El análisis ambiental permite conocer los porcentajes de reducción de gases contaminantes hacia la atmósfera antes y después de la implementación del sistema dual-fuel en el vehículo de prueba, a partir de las respectivas pruebas de emisiones de gases ya antes descritas, además de compararlas con las normas vigentes en el país, **INEN 2204:2002** descritas en el Anexo E (INEN 2204, 2002).

**7.2.1 Análisis ambiental estático a 1000 RPM.** En el análisis de gases estático a 1000 rpm se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 26. Análisis de gases estático – 1000rpm

Parámetros	Análisis de gases estático - 1000 rpm			
	SIN HHO	CON HHO	Eficiencia	%
CO (% vol.)	8,55	7,88	0,67	7,84
HC (ppm)	1008,67	516	492,67	48,84
NOX (ppm)	5,67	3	2,67	47,09

Fuente: Autores

*Monóxido de carbono.* Se observa una disminución en los gases de monóxido de carbono de 8,55 % vol. a 7,88 % vol. con una eficiencia de 7,48%. Si se compara este dato con la norma **INEN 2204:2002** el valor del CO debería ser de 4,5 % vol. De esta manera con la implementación de sistema dual-fuel, se logró un descenso en la producción de monóxido de carbono, pero aún no está dentro de los parámetros aceptados por la norma ecuatoriana (INEN 2204, 2002).

*Hidrocarburos.* La cantidad de hidrocarburos no combustionados (HC) han disminuido una cantidad muy considerable de 1008,67 ppm a 516 ppm HC con una disminución del 48,84% siendo un valor aceptado por la norma **INEN 2204:2002** la cual permite máximo 750 ppm de HC (INEN 2204, 2002).

*Óxidos de nitrógeno.* Los óxidos de nitrógeno también disminuyen de 5,67 ppm a 3 ppm con una reducción del 47,09%, aunque lo ideal es no tener la presencia de estos gases en el vehículo.

**7.2.2 Análisis ambiental estático a 2500RPM.** La siguiente Tabla nos muestra las emisiones de gases a 2500 rpm, con los siguientes resultados:

Tabla 27. Análisis de gases estático – 2500rpm

Parámetros	Análisis de gases estático - 2500 rpm			
	SIN HHO	CON HHO	Eficiencia	%
CO (% vol.)	5,84	5,81	0,03	0,51
HC (ppm)	1046,67	316	730,67	69,81
NOX (ppm)	19	11	8	42,11

Fuente: Autores

*Monóxido de carbono.* El valor de los gases de monóxido de carbono se encuentra más cercano a la norma **INEN 2204:2002** cuando el motor se encuentra trabajando a media carga. Con la implementación del sistema se logró una disminución de 5,84% vol. a 5,81% vol. con una eficiencia de 0,3% vol. y una disminución del 0,51% de la producción de CO (INEN 2204, 2002).

*Hidrocarburos.* Los hidrocarburos no combustionados (HC) han disminuido notablemente, su valor se redujo de 1046,67 ppm a 316 ppm con una disminución del 69,81% siendo un valor aceptado por la norma **INEN 2204:2002** (INEN 2204, 2002).

*Óxidos de nitrógeno.* De igual forma los óxidos de nitrógeno también disminuyen de 19 ppm a 11 ppm con una reducción del 42,11%.

**7.2.3 Análisis ambiental dinámico.** La siguiente Tabla nos muestra el análisis de gases dinámico:

Tabla 23. Análisis de gases dinámico

Parámetros	Análisis de gases dinámico			
	SIN HHO	CON HHO	Eficiencia	%
CO (% vol.)	7,38	6,97	0,41	5,56
HC (ppm)	830,48	536,94	293,54	35,35
NOX (ppm)	51,84	25,92	25,92	50,00

Fuente: Autores

*Monóxido de carbono.* El porcentaje de volumen de los gases de monóxido de carbono ha disminuido de 7,38 a 6,97, y aunque tampoco se encuentran dentro de los parámetros aceptados por las normas ecuatorianas. Con la implementación del sistema dual-fuel se logró una disminución de 0,41 % vol. de monóxidos de carbono hacia el ambiente.

*Hidrocarburos.* La cantidad de los hidrocarburos no combustionados (HC) han disminuido de 830,48 ppm a 536,94 ppm con una mejora del 35,35%, estando dicho valor dentro del rango de las normas ecuatorianas.

*Óxidos de nitrógeno.* Los óxidos de nitrógeno se redujeron de 51,84 ppm a 25,92 ppm, con una disminución del 50%.

Al final de este análisis se determinó que la implementación del sistema dual-fuel, fue favorable, pues se logró disminuir la producción de gases nocivos para el ambiente, y que afectan a los seres vivos, como es el caso de los NO<sub>x</sub> los cuales se pudo disminuir un 46%. Pese a que se consiguió disminuir la producción de monóxidos de carbono se redujo en un 2%, estos no calificaron según las normas ecuatorianas de GESTIÓN AMBIENTAL DEL AIRE; pero por otra parte los hidrocarburos disminuyeron en un 51% llegando a valores aceptados por las normas. Sin lugar a duda la combustión mejoro en la mayoría de los casos y esto se ve evidenciado en el incremento de la producción de los CO<sub>2</sub>.

### 7.3 Análisis económico

**7.3.1 Ahorro de combustible.** En el presente análisis se va a determinar la viabilidad económica del sistema desde el punto de vista del usuario puesto que este estudio está orientado a examinar la construcción, funcionamiento y beneficios del sistema generador de HIDROXI. Luego de haber realizado las pruebas pertinentes en cuanto a consumo se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 29. Análisis de ahorro de combustible

Tipo de prueba	Análisis de ahorro de combustible		
	SIN HIDROXI	CON HIDROXI	Ahorro
	Rendimiento Km/Gal	Rendimiento Km/Gal	
CIUDAD	18,50	23,40	21
CARRETERA	41,78	56,57	26

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos se observa que el ahorro en carretera y en ciudad es muy considerable, pues se ha obtenido un ahorro de 26% y 21% respectivamente. En promedio un vehículo recorre anualmente 20000 Km, y si se considera que el vehículo de prueba antes de la instalación del sistema tenía un de rendimiento de 42,78 km/gal en carretera y 18,50 Km/gal en ciudad, estaríamos hablando que al año con el precio actual del galón de gasolina a \$1,45 (septiembre 2013), gastamos entre \$1567 y \$677 planteando un gasto medio tendríamos \$1122, lo cual con la incorporación del sistema generador de HIDROXI y un ahorro promedio de 23,5%; al año se economiza alrededor de \$250 anuales.

**7.3.2 Costo de producción.** La implementación del sistema ha generado gastos entre insumos, materiales y mano de obra, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 30. Costos de producción

Costos de producción				
Tipo	Cantidad	Descripción	Precio unit.	Subtotal
Material	1	Tubo PVC 4plg Ø x 20cm	0,8	0,8
	2	Tapas tubo PVC 4plg Ø	1,8	3,6
	1	Neplo con tuerca 1 ½plg Ø	0,8	0,8
	1	Tapa neplo 1 ½plg Ø	0,85	0,85
	5	Conectores rápidos para 1/4plg Ø	1,5	7,5
	4	m de cable eléctrico gemelo #14	0,85	3,4
	2	m de tubería de polímero 1/4plg Ø	0,25	0,5
	1	Fusible 10 <sup>a</sup>	0,1	0,1
	1	Porta fusible	0,3	0,3
	1	Relevador	2	2
	1	Socket de relevador	0,45	0,45
	4	Terminales eléctricos	0,05	0,2
	0,5	Acero inoxidable AISI 316 (500x500mm)	258	129
	0,5	Neopreno (500x500mm)	10	5
	3	Pernos 1/4plg Ø x 5plg	0,07	0,21
	16	Tuercas 1/4plg Ø	0,03	0,48
	1	Lámina de acrílico (350x350mm)	10	10
Insumo	1	Soldadura líquida	4	4
	2	Pintura en aerosol	2,5	5
	10	Correas plásticas	0,05	0,5
	1	Taype	0,5	0,5
	1	Resina acrílica	10	10
	1	Gal agua destilada y desmineralizada	2,5	2,5
	1	Hidróxido de potasio 250gr	11,25	11,25
Otros		Mano de obra	50	50
			<b>Total</b>	<b>248,94</b>

Fuente: Autores

Se puede concluir que el sistema generador de HIDROXI es económicamente viable representando un ahorro promedio de 23,5% equivalentes a \$250 anuales; si se considera que el costo total de producción del sistema es de \$248,94 entonces la inversión realizada se recuperaría en un año, permitiendo aprovechar todos los beneficios por los años siguientes.



## CAPÍTULO VIII

### 8. Manual de operación y mantenimiento

#### 8.1 Introducción

El sistema “DUAL-FUEL, HIDRÓGENO / GASOLINA”, es un generador de gas HIDROXI el cual funciona como un combustible y comburente adicional para el motor de un vehículo. Ha sido instalado y probado por estudiantes de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz.

Obteniendo los siguientes resultados en:

- Consumo de combustible, ahorro del 23,5%.
- Emisiones de gases, reducción: HC al 51%/ NOx al 46%/ CO al 2%.
- Potencia y torque, incremento de 0,8hp y 3,04 Nm respectivamente.
- Mejor combustión en revoluciones altas y medias.
- Limpieza de cámaras de combustión: nula.

## 8.2 Especificaciones técnicas

Tabla 31. Especificaciones técnicas del sistema dual-fuel, hidrógeno/gasolina

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DUAL-FUEL, HIDRÓGENO/GASOLINA		
MOTOR	Cilindraje recomendado:	1000 -1800 cm <sup>3</sup>
	Tipo de combustible:	Gasolina
	Tipo de alimentación :	Carburador
	Voltaje de batería:	12- 14 V
CELDA GENERADORA	Amperaje:	5 - 6 A
	Tipo de líquido:	Agua destilada y desmineralizada
	Electrolito:	Hidróxido de potasio
	Número de placas:	16
	Caudal de HHO generado:	1000 cm <sup>3</sup> /min
	Peso sin líquido:	4 kg
	Peso con líquido:	4,2 kg
	Longitud:	114 mm.
	Ancho:	100 mm.
Altura:	160 mm.	
DEPÓSITO	Diámetro:	110 mm.
	Altura:	200 mm.
	Peso sin líquido:	0,5 kg
	Peso con líquido(2/3):	2 kg
	Capacidad:	1600 cm <sup>3</sup> .

Fuente: Autores

## 8.3 Esquema y componentes

Básicamente el sistema se compone de los siguientes elementos:

- *Celda Generadora.* Es el componente principal del sistema, es aquí donde por medio de electrólisis se genera el HIDROXI, en sí es una caja cuyo tamaño varía en función de la cantidad de HIDROXI que se necesita generar, posee un orificio de entrada para la solución y otro de salida para el HIDROXI, además de dos bornes para conexión a corriente y tierra respectivamente.

Figura 67. Celda generadora



Fuente: Autores

- *Depósito.* Su función principal es abastecer permanentemente de solución a la celda generadora de HIDROXI. Consiste en un reservorio con capacidad de  $1600\text{ cm}^3$ , posee cuatro orificios, el primero y el de mayor diámetro se utiliza para cargar la solución y recargar el sistema con agua destilada y desmineralizada, posee una tapa roscada la cual debe mantener un sello hermético con el depósito, los otros dos orificios de la parte superior del depósito se utilizan para la entrada y salida del gas HIDROXI y el orificio inferior sirven para abastecer a las celdas generadoras con la solución.

Figura 68. Depósito



Fuente: Autores

- *Burbujeador.* Con el fin de optimizar espacio y recursos el burbujeador se encuentra formando parte del mismo depósito no siendo visible, en sí es un dispositivo de seguridad que además de hacer las veces de filtro, permite únicamente el ingreso de gas HIDROXI hacia el motor.

Figura 69. Burbujeador

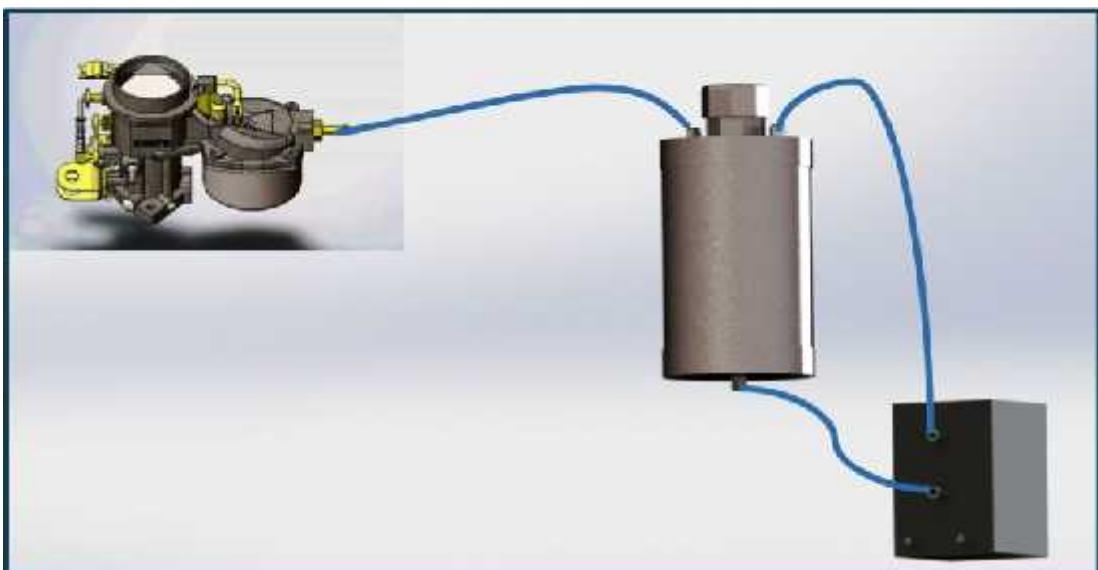


Fuente: Autores

- *Tuberías.* Son mangueras flexibles de PVC, que tienen la función de transportar los distintos fluidos.

Esquema

Figura 70. Esquema del sistema



Fuente: Autores

## 8.4 Mantenimiento

La simplicidad del sistema evita que este sea susceptible a cualquier tipo de avería, a su vez facilita su mantenimiento, no obstante no se debe olvidar dar un adecuado mantenimiento al sistema dual-fuel, hidrógeno/gasolina.

A continuación se presenta el plan de mantenimiento requerido:

Tabla 24. Mantenimiento del Sistema Dual-Fuel

Km	Mantenimiento
500	Chequeo nivel de la solución
500	Verificar fugas
20000	Cambio de solución
35000	Purgar todo el sistema
35000	Cambio de tuberías

Fuente: Autores

## 8.5 Precauciones y seguridad

- Jamás se debe manipular el sistema ni sus conexiones sin la supervisión de un técnico especialista.
- El mal uso del hidrógeno puede provocar serias lesiones en el cuerpo y daños en el automóvil.
- El hidrógeno es un gas muy inflamable.
- La solución líquida del depósito es muy tóxica y corrosiva.
- Prohibido fumar o encender llama/chispa cerca del sistema cuando esté funcionando.
- En caso de emergencia que se necesite apagar o desconectar el sistema, hacerlo únicamente desconectando el terminal eléctrico marcado en la bobina de encendido.
- Completar únicamente el nivel de la solución con agua destilada y desmineralizada.

- El nivel de la solución en el tanque del sistema no debe superar los  $\frac{2}{3}$  del mismo.
- Evitar cualquier tipo de contacto con la solución.
- Asegurase que la tapa del reservorio esté correctamente cerrada.
- En el caso de presentarse alguna fuga o cualquier inconveniente con el sistema favor contactarse con personal especializado.

## CAPÍTULO IX

### 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 Conclusiones

Se recopiló la información necesaria para conocer acerca de los sistemas dual-fuel hidrógeno /gasolina, su funcionamiento, así también los efectos de los gases productos de la combustión.

Utilizando los materiales y procedimientos previstos en la presente investigación, se construyó las celdas generadoras de HIDROXI.

Se completó el desarrollo del sistema dual-fuel hidrógeno/gasolina, construyendo y acondicionando el resto de componentes que lo conforman.

Se procedió a la instalación del sistema dual-fuel hidrógeno/gasolina, en el vehículo de prueba, tomando en cuenta las debidas precauciones y respetando los parámetros de seguridad.

Las pruebas mecánicas, análisis de gases y consumo de gasolina, se efectuaron exitosamente en el vehículo de prueba, con equipos certificados, supervisión técnica y bajo normas nacionales e internacionales, antes y después de las instalación del sistema dual-fuel, hidrógeno/gasolina.

A partir del resultado obtenido en las pruebas, se analizaron los beneficios económicos, ambientales y técnicos del sistema dual-fuel; dando como resultado:

Ahorro de gasolina del 23,5%.

Reducción de gases contaminantes (CO: 2%; NOx: 46% y HC: 51%).

Incremento de potencia del 2,4%.

Incremento del torque del 4,4%.

Combustión más eficiente en revoluciones altas y medias.

Limpieza de cámaras de combustión: nula.

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema dual-fuel y prevenir daños o accidentes ocasionados por la incorrecta manipulación del equipo se elaboró, un manual de operación y mantenimiento.

## 9.2 Recomendaciones

Gestionar los permisos necesarios en el CONSEP para adquirir el hidróxido de potasio, pues la venta de esta sustancia química está restringida en el país.

Anticipar la necesidad de la utilización de los equipos e instalaciones de la SECRETARIA DEL AMBIENTE, enviando oportunamente un oficio para disponer de los mismos en el tiempo previsto.

Evitar una vez instalado el sistema dual-fuel hidrógeno/gasolina, que la llave quede en posición de contacto si el vehículo no está encendido, puesto que la producción de HHO estará en marcha y su acumulación es peligrosa, además esto consume corriente de la batería.

Corroborar antes de cada prueba que las condiciones del vehículo como presión de neumáticos, carga en el vehículo, etc. permanezcan constantes para todas las pruebas evitando así lecturas erróneas.

Instalar un tacómetro en el caso que el vehículo de prueba no lo posea, para mantener un modo de conducción uniforme durante las pruebas de ruta.

Avalar que el agua adquirida sea destilada y desmineralizada, caso contrario se podría generar corrosión y obstrucción en las celdas generadoras.

Utilizar los resultados obtenidos en este proyecto para futuras investigaciones.



## BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. 2001.** *Definición y clasificación de los tipos de aceros.* Madrid, España : Asociación Española de Normalización y Certificación, febrero de 2001.
- AISI 316. 2012.** *Clasificación de los aceros inoxidables.* Warrendale, EEUU : AISI, 2012.
- BOSCH. 2008.** *Análisis del estado de la bujía de encendido.* Bujías de encendido Bosch. Brasil : s.n., 2008.
- CAPL. 2013.** *International Chemical Safety Card.* [En línea] 2013. [Citado el: 27 de marzo de 2013.] [http://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS\\_113134/lang--en/index.htm](http://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_113134/lang--en/index.htm).
- Comisión Nacional De Los Derechos Humanos. 1992.** *La Contaminación Atmosférica en México.* Mexico : s.n., 1992.
- CORPAIRE. 2013.** *Propiedades de la gasolina.* Quito : s.n., 2013.
- CORPAIRE. 2013.** *Pruebas en el vehículo.* Quito : s.n., 2013.
- CORTÉZ, José M. 2007.** *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales.* Lima : Elsevier, 2007.
- DÍAZ, Rodrigo. 2008.** *Termodinámica Automotriz.* Riobamba : s.n., 2008.
- DIN 70020. 2013.** *Deutsche Industrie Norm y Das Ist Norm.* Berlín, Alemania : s.n., 2013.
- DOMÍNGUEZ, Alfonso Carlos. 2008.** *deprofeaprofeelectrico.* [En línea] 07 de abril de 2008. [Citado el: 20 de diciembre de 2012.] <http://roble.pntic.mec.es/adog0009/4.html>.
- EPA. 1999.** *Boletín Técnico Óxidos de Nitrógeno.* [En línea] noviembre de 1999. [Citado el: 27 de 12 de 2012.] <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/fnoxdocs.pdf>.
- GÁMEZ, Daniel. 2010.** *El Hidrógeno y Sus Aplicaciones energéticas.* Cataluña : s.n., 2010.
- GÓMEZ, Clara. 2010.** *Laboratorio Química-Física I.* Valencia : s.n., 2010.
- GUARDIA, Miguel. 2009.** *Química 2 Bachillerato.* Madrid : Santillana, 2009.
- INEN 2203. 2004.** *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o "Ralentí".* Quito, Pichincha, Ecuador : s.n., 09 de enero de 2004.
- INEN 2204. 2002.** *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotres. límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de gasolina. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)\*a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).* Quito, Ecuador : s.n., 17 de abril de 2002.
- INEN 2266. 2010.** *Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos. REQUISITOS.* Quito : s.n., 2010. Primera edición.

- INEN 935. 2012.** *Gasolina. Requisitos.* Requisito de la de gasolina de 87 Octanos (RON). Quito, Pichincha, Ecuador : s.n., 2 de mayo de 2012.
- ISO 1585. 1992.** *Vehículos de carretera - Código de ensayo del motor - Rendimiento neto.* Ginebra : Organización Internacional de Normalización, 1992.
- ISO 6145 - 2. 2003.** *Análisis de gases - Preparación de las mezclas de gases de calibración utilizando métodos volumétricos dinámicos.* Parte 1: Métodos de calibración. Ginebra : Organización Internacional de Normalización, 2003. Vol. 2.
- LAVOISIER, Antoine. 1801.** *Tratamiento Elemental de la Química.* Paris : Deterville, 1801. (3ed).
- LENNTECH. 2013.** *Oxígeno.* LENNTECH. [En línea] 2013. [Citado el: 27 de 12 de 2012.] <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/o.htm>.
- MAHA. 1999.** *Banco de Potencia LPS3000 Manual de Usuario.* Haldenwang : MAHA GMBH & CO. KG., 1999.
- MANUEL, Braulio. 2010.** *El cambio climático.* Bloggers. [En línea] 14 de marzo de 2010. [Citado el: 05 de enero de 2013.] [http://manuel-informate.blogspot.com/2010\\_03\\_01\\_archive.html](http://manuel-informate.blogspot.com/2010_03_01_archive.html).
- NOVOA, Mariana. 2003.** *Falta de oxígeno.* [En línea] Monografías.com, 20 de noviembre de 2003. [Citado el: 27 de diciembre de 2012.] <http://www.monografias.com/trabajos14/falta-oxigeno/falta-oxigeno.shtml>.
- RODRÍGUEZ, Manuel. 2007.** *Química 2 Bachillerato.* Madrid : McGraw-Hill, 2007.
- SAE J1349. 2004.** *Proven Power Performance.* Warrendale, USA : Society of Automotive Engineering, agosto de 2004.
- TESTO. 2010.** *Gases de combustión.* [En línea] 2010. [Citado el: 27 de 12 de 2012.] <http://www.academiatesto.com.ar/cms/?q=gases-de-combustion-1>.
- Textos Científicos. 2008.** *Policloruro de vinilo - PVC.* [En línea] TextosCientíficos.com, 23 de agosto de 2008. [Citado el: 27 de marzo de 2013.] <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>.
- VILHER. 2012.** *Resinas Acrílicas.* [En línea] 2012. [Citado el: 27 de 12 de 2012.] <http://www.vilher.com.mx/productos/industrial/resinas-acrilicas>.