# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MOTORES CICLO OTTO CON EL USO DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE DE APORTE

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc) EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

**ING. RUPERTO ALEJANDRO OCHOA VALLEJO**
rupertoalejandro@gmail.com

**ING. PABLO DAVID PULLAY CORO**
padav555@gmail.com

**DIRECTOR: MSc. ÁNGEL PORTILLA A.**
ahph2001@gmail.com

**Quito, Mayo del 2012**

# DECLARACIÓN

Nosotros Ruperto Alejandro Ochoa Vallejo y Pablo David Pullay Coro, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

| | |
|---|---|
| _____ | _____ |
| Ruperto Alejandro Ochoa Vallejo | Pablo David Pullay Coro |

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Ing. Ruperto Alejandro Ochoa Vallejo e Ing. Pablo David Pullay Coro, bajo mi supervisión.

_____

MSc. Ángel Portilla A.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

# AGRADECIMIENTO

A Dios.

A los profesores de Maestría en Sistemas Automotrices Escuela Politécnica Nacional.

Al Ing. Ángel Portilla A. Director Ejecutivo del CCICEV por su valiosa contribución en la utilización de los equipos que dispone el Centro y su acertada dirección en la realización de ésta Tesis de Grado.

A nuestros compañeros del CCICEV y en especial al Ing. Christian Guachamín por su colaboración en la supervisión de la utilización de los equipos.

A los compañeros de la Maestría en Sistemas Automotrices Primera Promoción, por su compañerismo y sincera amistad.

Y, a todas las personas que demostraron amistad y contribuyeron para la realización del presente trabajo.

***Ruperto Ochoa***

***Pablo Pullay***

# DEDICATORIA

A Dios
A mis papás: Ruperto y Florita.
A mis hermanos: Miguelito, Florita.

***Ruperto Alejandro***

A Dios: Por haberme dado la fortaleza para culminar una etapa más en mi vida.
A mi esposa: Sandra, por su amor, comprensión y ser mi fuente de inspiración.
A mis hijas: Paola y Gisela, por su cariño y alegría en los momentos más difíciles.

***Pablo David***

# SIMBOLOGÍA

- $H_2$ = hidrógeno
- $O_2$ = Oxígeno
- $H_20$ = Agua
- $CO_2$ = Dióxido de Carbono
- NOx = Óxidos de Nitrógeno
- HC = Hidrocarburos no Combustionados
- CO = Monóxido de Carbono
- PMI = Punto Muerto Inferior
- PMS = Punto Muerto Superior
- M1 = Mezcla 1, Gasolina Extra
- M2 = Mezcla 2, Gasolina Extra más el aporte de hidrógeno
- M3 = Mezcla 3, Gasolina Súper
- M4 = Mezcla 4, Gasolina Súper más el aporte de hidrógeno
- RPM = Revoluciones por minuto
- AVP = Aceites vegetales puros
- λ = Lambda
- C.E.C = Consumo específico de combustible
- GLP = Gas Licuado de Petróleo
- INEN = Instituto  Ecuatoriano de Normalización
- NTE = Norma Técnica Ecuatoriana
- $H_2SO_4$ = Ácido sulfúrico
- HCl = Ácido Clorhídrico
- $HNO_3$ = Ácido Nítrico
- NaCl = Cloruro de Sodio
- LiCl =  Cloruro de Litio
- KCl = Cloruro de Potasio
- TIS = Two Idle Speed

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVoS PARA LA UTILIZACIÓN EN MOTORES DE CICLO OTTO ..... 18

1.1 INTRODUCCIÓN ..... 18

1.2 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS ..... 19

1.2.1 PRINCIPALES COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS ..... 19

1.2.1.1 Biodiesel ..... 20

1.2.1.2 Etanol ..... 21

1.2.1.3 Hidrógeno ..... 22

1.2.1.4 Metanol ..... 23

1.2.1.5 Gas Natural ..... 24

1.2.1.6 Gas Licuado de Petróleo ..... 24

1.2.1.7 Aceites vegetales puros ..... 25

1.2.2 OTROS COMBUSTIBLES Y TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS ..... 25

CAPÍTULO II DEFINICIONES GENERALES ..... 28

2.1 MOTOR OTTO ..... 28

2.1.1 CICLO OTTO ..... 28

2.1.1.1 Ciclo de Cuatro tiempos (4T) ..... 30

2.1.1.2 Ciclo de Dos tiempos (2T) ..... 32

2.1.1.3 Eficiencia del Motor Ciclo Otto ..... 34

2.1.1.4 Relación de Aire y Combustible ..... 34

2.1.1.5 Control del Par Motor ..... 35

2.1.2 EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR OTTO ..... 36

2.2 COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL SEGMENTO AUTOMOTRIZ EN EL ECUADOR ..... 37

2.2.1 COMBUSTIBLES LIQUIDOS DERIVADOS DE HIDROCARBUROS ..... 37
2.2.2 COMPOSICIÓN DE LAS GASOLINAS Y DIESEL ..... 38
2.2.2.1 Gasolina Extra ..... 38
2.2.2.2 Gasolina Súper ..... 39
2.2.2.3 Diesel Premium ..... 40
2.2.3 MEJORAMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES E IMPACTO AMBIENTAL ..... 41
2.3 EL HIDRÓGENO ..... 42
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO ..... 42
2.4 OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO ..... 45
2.4.1 A PARTIR DEL AGUA: ELECTRÓLISIS ..... 45
2.4.2 A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES ..... 47
2.4.3 A PARTIR DE BIOMASA ..... 48
2.5 ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN ..... 49
2.5.1 ALMACENAMIENTO ..... 49
2.5.1.1 Almacenamiento a presión ..... 49
2.5.1.2 Almacenamiento líquido ..... 50
2.5.1.3 Hidruros metálicos ..... 50
2.5.2 TRANSPORTE ..... 51
2.5.3 DISTRIBUCIÓN ..... 52
2.6 USOS DEL HIDRÓGENO ..... 54
2.6.1 PROCESOS QUE UTILIZAN HIDROGENO ..... 54
2.7 PILA DE COMBUSTIBLE ..... 55
2.7.1 CELDA DE COMBUSTIBLE ..... 55
2.7.2 TIPOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE ..... 56
2.7.2.1 Ácido fosfórico (PAFCs) ..... 56
2.7.2.2 Polímero Sólido ó Membrana de Intercambio Protónico (PEM) ..... 57
2.7.2.3 Carbonato Fundido (MCFCs) ..... 58
2.7.2.4 Celdas de combustible de óxido sólido (SOFCs) ..... 58
2.7.2.5 Celdas de Combustible Alcalinas ..... 59
2.7.2.6 Otras Celdas de Combustible ..... 60

2.8 CELDAS DE COMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE ..... 60
2.9 ELECTRÓLISIS ..... 61
2.10 PROPIEDADES DEL GAS Y NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE ..... 64
2.10.1 PROPIEDADES FÍSICAS ..... 64
2.10.1.1 Estado ..... 66
2.10.1.2 Olor, color y gusto ..... 66
2.10.1.3 Toxicidad ..... 66
2.10.1.4 Densidad ..... 67
2.10.1.5 Volumen específico ..... 67
2.10.1.6 Relación de expansión ..... 67
2.10.2 NORMAS DE UTILIZACIÓN ..... 68
2.10.2.1 Conservación ..... 68
2.10.2.2 Prohibición en áreas de utilización de hidrógeno ..... 68
2.10.2.3 Verificación ..... 68
2.10.2.4 Normas de actuación en caso de emergencia – Fuga ..... 69

CAPÍTULO III PRUEBAS EN BANCO DE MOTOR CICLO OTTO ..... 71

3.1 TIPOS DE PRUEBAS ..... 71
3.1.1 OBJETIVO ..... 71
3.1.2 LINEA BASE SIN LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO ..... 72
3.1.3 PRUEBA CON LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO ..... 72
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS ..... 72
3.2.1 PRUEBA TWO IDLE SPEED (TIS) ..... 73
3.2.1.1 Descripción de la prueba TIS ..... 73
3.2.2 PRUEBA CON CARGA EN DINAMÓMETRO DE MOTOR ..... 76
3.2.2.1 Descripción de la prueba de medición de torque y potencia en dinamómetro de motor ..... 78
3.2.3 PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE ..... 80
3.2.3.1 Definición de la prueba consumo de combustible ..... 80
3.2.3.2 Instalación de equipos medidores de caudal ..... 81

3.2.4 INSPECCIÓN MECÁNICA DE LOS MOTORES SELECCIONADOS ..... 85
3.3 INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO ..... 87
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 92
4.1 PRUEBAS EN BANCO DE MOTOR ..... 92
4.1.1 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A CARBURADOR CON EL USO DE GASOLINA EXTRA Y GASOLINA EXTRA MÁS HIDRÓGENO ..... 93
4.1.1.1 Prueba Two Idle Speed (TIS) ..... 93
4.1.1.2 Prueba dinámica motor Otto a carburador ..... 102
4.1.1.3 Emisiones Otto para la prueba dinámica - motor carburador Gasolina Extra ..... 104
4.1.2 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A INYECCIÓN CON EL USO DE GASOLINA SUPER Y GASOLINA SUPER MÁS HIDRÓGENO ..... 116
4.1.2.1 Prueba Two Idle Speed (TIS) ..... 116
4.1.2.2 Prueba dinámica Motor Otto a inyección ..... 125
4.1.2.3 Emisiones Otto para la prueba dinámica – motor inyección Gasolina Súper ..... 128
CONCLUSIONES ..... 140
RECOMENDACIONES ..... 142

# CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1-1: Principales características del *biodiesel* ..... 20

Tabla 2-1: Composición de la Gasolina Extra. ..... 38

Tabla 2-2: Composición de la Gasolina Súper. ..... 39

Tabla 2-3: Composición del Diesel Premium ..... 40

Tabla 2-4: Propiedades químico-físicas del hidrógeno ..... 45

Tabla 3-1: Bancos de Motor Otto pertenecientes al CCICEV ..... 71

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas analizador de gases ..... 75

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del dinamómetro de motor ..... 77

Tabla 3-4: Especificaciones técnicas de Flujómetros ..... 83

Tabla 4-1: Resumen de pruebas efectuadas ..... 93

Tabla 4-2: Resultados de la prueba en Ralentí para las mezclas M1 y M2 ..... 94

Tabla 4-3: Resultado de Contaminantes en prueba en Ralentí de motor a carburador ..... 94

Tabla 4-4: Contaminantes HC y NOx de la prueba en Ralentí motor a carburador ..... 96

Tabla 4-5: Resultados de Lambda en prueba en Ralentí del motor a carburador ..... 97

Tabla 4-6: Resultados de la prueba en 2500 RPM del motor a carburador ..... 98

Tabla 4-7: Resultado de contaminantes de la prueba 2500 RPM en porcentaje en volumen ..... 99

Tabla 4-8: Resultados de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en prueba 2500 RPM del motor a carburador ..... 100

Tabla 4-9: Resultados de Lambda en prueba 2500 RPM del motor a carburador ..... 101

Tabla 4-10: Resultado de los valores del Torque o Par en la prueba dinámica .... 102

Tabla 4-11: Resultados de Potencia en la prueba dinámica del motor a carburador ..... 103

Tabla 4-12: Resultados de Monóxido de Carbono (CO) en la prueba dinámica de motor a carburador ..... 104

Tabla 4-13: Resultado de los valores de Dióxido de Carbono ($CO_2$) en la prueba dinámica de motor a carburador ..... 106

Tabla 4-14: Resultado de los valores de Hidrocarburos no Combustionados (HC) en la prueba dinámica del motor a carburador. ..... 107

Tabla 4-15: Resultados de los valores $O_2$ en la prueba dinámica del motor a carburador ..... 109

Tabla 4-16: Resultados de los NOx en la prueba dinámica para el motor a carburador ..... 110

Tabla 4-17: Resultados de los valores de Lambda (λ) en la prueba dinámica para el motor a carburador ..... 112

Tabla 4-18: Resultado de los valores de Consumo de Combustible en la prueba dinámica para el motor a carburador. ..... 113

Tabla 4-19: Resultado del consumo específico de combustible (c.e.c) en la prueba dinámica del motor a carburador ..... 115

Tabla 4-20: Resultados de la prueba en Ralentí para las mezclas M3 y M4..... 117

Tabla 4-21: Resultado de contaminantes en prueba en ralentí del motor a inyección ..... 117

Tabla 4-22: Contaminantes HC y NOx de prueba en Ralentí motor a inyección .. 119

Tabla 4-23: Comparación del valor de Lambda en prueba TIS Ralentí para las mezclas M3 y M4 ..... 120

Tabla 4-24: Resultados de la prueba a 2500 RPM del motor a inyección ..... 121

Tabla 4-25: Resultados de los contaminantes de la prueba a 2500 RPM en porcentaje en volumen del motor a inyección ..... 122

Tabla 4-26: Resultados de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en la prueba a 2500 RPM ..... 123

Tabla 4-27: Resultados de Lambda en prueba a 2500 RPM en motor a inyección ..... 124

Tabla 4-28: Resultado de los valores del Torque o Par en la prueba dinámica del motor a carburador ..... 125

Tabla 4-29: Comparación de los valores de Potencia en la prueba dinámica para las mezclas M1 y M2 ..... 127

Tabla 4-30: Resultados de Monóxido de Carbono (CO) en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 128

Tabla 4-31: Resultados de $CO_2$ en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 130

Tabla 4-32: Resultados de HC en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 131

Tabla 4-33: Resultados de $O_2$ en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 132

Tabla 4-34: Comparación de los resultados de NOx en la prueba dinámica para el motor a inyección ..... 133

Tabla 4-35: Resultado de lambda (λ) en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 135

Tabla 4-36: Resultado de los valores de Consumo de Combustible en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 136

Tabla 4-37: Resultado de Consumo Específico de Combustible en la prueba dinámica para el motor a inyección ..... 138

# CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1-1: Símbolo de hidrógeno. Representación en color verde que indica que se obtiene energía limpia para la naturaleza. ..... 23

Figura 2-1: Diagrama $P$-$v$ de aire estándar en un ciclo Otto ..... 29

Figura 2-2: Esquema del Ciclo Otto ideal. Representación del Ciclo Otto de 4 tiempos en un diagrama $P$-$v$. ..... 29

Figura 2-3: Esquema Motor de cuatro tiempos ..... 32

Figura 2-4: Esquema Motor de dos tiempos ..... 33

Figura 2-5: Gráfico de los contaminantes en la llamada ventana lambda ..... 35

Figura 2-6: Equipos de Análisis de Combustibles de laboratorio. ..... 41

Figura 2-7: Esquema del proceso de electrólisis ..... 46

Figura 2-8: Elementos que intervienen en la electrólisis ..... 47

Figura 2-9: Almacenamiento de hidrógeno en tanques a presión ..... 49

Figura 2-10: Almacenamiento de hidrógeno líquido ..... 50

Figura 2-11: Cilindro de almacenamiento de hidruros metálicos. ..... 51

Figura 2-12: Transporte de hidrógeno por tuberías. ..... 51

Figura 2-13: Transporte de hidrógeno por vía terrestre ..... 52

Figura 2-14: Transporte de hidrógeno por vía marítima ..... 52

Figura 2-15: Hidrogenera en Berlín ..... 53

Figura 2-16: Repostaje de un autobús en una hidrogenera ..... 53

Figura 2-17: Esquema de una celda de combustible ..... 56

Figura 2-18: Esquema del funcionamiento de una celda de combustible PAFC ..... 57

Figura 2-19: Esquema del funcionamiento de una celda de combustible PEM ..... 57

Figura 2-20: Esquema del funcionamiento de una celda de combustible MCFC ..... 58

Figura 2-21: Esquema del funcionamiento de una celda de combustible SOFC .... 59

Figura 2-22: Esquema del funcionamiento de una celda de combustible Alcalina ..... 60

Figura 2-23: Auto con motor de hidrógeno y depósito con células de combustible..... 61

Figura 2-24: Elementos constitutivos en el proceso electrolítico ..... 62

Figura 2-25: Representación de una molécula de Agua..... 63

Figura 2-26: Electrólisis del Agua con el uso de un electrolito..... 64

Figura 2-27: Protio ..... 65

Figura 2-28: Deuterio..... 65

Figura 2-29: Tritio..... 66

Figura 2-30: Símbolos de Seguridad Industrial para el uso y manejo de hidrógeno..... 70

Figura 3-1: Analizador de gases NEXTECH ..... 74

Figura 3-2: Dinamómetro de Motor. Panel de control ..... 76

Figura 3-3: Banco de Motor Otto a carburador ..... 77

Figura 3-4: Banco de motor Otto a inyección..... 78

Figura 3-5: Identificación de las cañerías de ida y retorno de combustible ..... 81

Figura 3-6: Flujómetro Biotech ..... 82

Figura 3-7: Displays Totalizador..... 84

Figura 3-8: Partes de un generador electrolítico de hidrógeno..... 88

Figura 3-9: Partes de un generador electrolítico de hidrógeno..... 89

Figura 3-10: Elementos del sistema eléctrico de un generador de hidrógeno..... 90

# CONTENIDO DE GRÁFICOS


Grafico 4-1: Comparación de los resultados de M1 y M2 de la prueba en Ralentí del motor a carburador ..... 95

Grafico 4-2: Comparación de los contaminantes HC y NOx de la prueba en Ralentí del motor a carburador ..... 96

Grafico 4-3: Comparación de Lambda en prueba Ralentí motor a Carburador ..... 97

Grafico 4-4: Comparación de contaminantes en porcentaje en volumen de la prueba a 2500 RPM ..... 99

Grafico 4-5: Comparación de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en prueba 2500 RPM para las mezclas M1 y M2 ..... 100

Grafico 4-6: Comparación de Lambda en prueba a 2500 RPM motor a carburador ..... 101

Grafico 4-7: Comparación del Torque o Par en función de RPM ..... 102

Grafico 4-8: Comparación de Potencia en función de las RPM de la prueba dinámica del motor a carburador ..... 103

Grafico 4-9: Comparación de las curvas Monóxido de Carbono (CO) en función de las RPM en la prueba dinámica de motor a carburador ..... 105

Grafico 4-10: Comparación de las curvas Dióxido de Carbono ($CO_2$) en función de de RPM en la prueba dinámica del motor a carburador. ..... 106

Grafico 4-11: Comparación de HC en función de RPM en la prueba dinámica para el motor a carburador. ..... 108

Grafico 4-12: Oxígeno ($O_2$) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para el motor a carburador ..... 109

Grafico 4-13: Óxidos de Nitrógeno (NOx) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica del motor a carburador ..... 111

Grafico 4-14: Lambda (λ) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para las mezclas M1 y M2 ..... 112

Grafico 4-15: Comparación de Consumo de Combustible en función de las RPM del motor a carburador ..... 114

Grafico 4-16: Comparación del consumo específico de combustible en función de RPM en la prueba dinámica para el motor a carburador. ..... 115

Grafico 4-17: Contaminantes CO, $CO_2$, $O_2$ en (%V) en prueba en Ralentí para las mezclas M3 y M4 ..... 118

Grafico 4-18: Comparación de los contaminantes HC y NOx de la prueba en Ralentí del motor a inyección ..... 119

Grafico 4-19: Comparación de Lambda en prueba Ralentí de motor a inyección ..... 120

Grafico 4-20: Comparación de contaminantes en porcentaje en volumen de la prueba a 2500 RPM ..... 122

Grafico 4-21: Comparación de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en prueba a 2500 RPM para las mezclas M3 y M4 ..... 123

Grafico 4-22: Comparación de Lambda en prueba a 2500 RPM motor a inyección ..... 124

Grafico 4-23: Comparación del torque o par en función de RPM en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 126

Grafico 4-24: Potencia en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para las mezclas M1 y M2 ..... 127

Grafico 4-25: Comparación de las curvas de (CO) en función de RPM en prueba dinámica del motor a inyección. ..... 129

Grafico 4-26: Comparación del $CO_2$ en función de RPM en la prueba dinámica del motor a inyección ..... 130

Grafico 4-27: Comparación de HC en función de RPM de la prueba dinámica del motor a inyección ..... 131

Grafico 4-28: Comparación de $O_2$ en función de RPM de la prueba dinámica del motor a inyección ..... 132

Grafico 4-29: Comparación de NOx en función RPM en la prueba dinámica para el motor a inyección ..... 134

Grafico 4-30: Comparación de Lambda (λ) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para el motor a inyección. ..... 135

Grafico 4-31: Comparación del Consumo de Combustible en función de las RPM en la prueba dinámica para el motor a inyección ..... 137

Grafico 4-32: Comparación del consumo específico de combustible (c.e.c.) en función de RPM en la prueba dinámica para el motor a inyección ..... 138

# RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito realizar el estudio del comportamiento de los motores Ciclo Otto mediante la utilización del hidrógeno como combustible de aporte, para el efecto se analiza la combinación de gasolina (Extra y Súper) sin y con aporte de hidrógeno ($H_2$), lo cual permite efectuar la evaluación de la utilización de éste combustible alternativo, elaborar los protocolos de pruebas, así como sus dispositivos y sistemas para el uso del hidrógeno como combustible de aporte.

Esta Tesis de Grado consta de 4 capítulos que a continuación se puntualizan brevemente.

El ***Capítulo I*** estudia todo lo referente a los nuevos combustibles y tecnologías alternativas, los cuáles son amigables con el medio ambiente, además se define y analizan de manera general las propiedades del hidrógeno.

El ***Capítulo II*** define de manera general los tipos de motores Otto, tipos combustibles, características del hidrógeno y las normas de seguridad en el uso del hidrógeno como combustible.

En el ***Capítulo III*** presenta los tipos de pruebas a realizarse y la descripción de los procedimientos en los motores de combustión interna Ciclo Otto, con el uso de gasolina Extra y Súper y con el aporte de hidrógeno en los combustibles indicados.

El ***Capítulo IV*** expone mediante gráficas los resultados de las pruebas realizadas, lo cual permite comparar y determinar el comportamiento de los motores Ciclo Otto con el uso del hidrógeno como combustible de aporte.

Posteriormente el presente trabajo finaliza con la presentación de las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

# PRESENTACIÓN

El uso de los combustibles fósiles se revierte en un fuerte impacto medioambiental en nuestro planeta. La contaminación atmosférica, el cambio climático, la lluvia ácida o el propio agotamiento de los recursos petrolíferos son razones de peso para hacer que la política energética camine hacia nuevos campos poco explorados y buscar nuevas formas energéticas a las cuales por ser amigables con el ambiente se los puede denominar combustibles del futuro.

La contaminación que genera la actividad humana, se manifiesta de diferentes formas, con aumentos de temperatura (entre 0,3 y 0,6℃ los últimos 50 años en Europa) o a través del crecimiento del nivel del mar (entre 10 y 25 cm en los últimos 100 años). Todo ello se debe a la utilización excesiva de los combustibles fósiles como fuente de energía. La combustión de carbón, petróleo o gas natural emite a la atmósfera gases nocivos y generadores del efecto invernadero.

Estos problemas se agravan si además se tiene en cuenta que el consumo energético mundial aumenta drásticamente, impulsado principalmente por economías emergentes como las de China e India; estimándose que, hacia el año 2050, se duplicará la energía consumida en nuestro planeta. Si a esto se suma que las reservas existentes de petróleo se están reduciendo y que en muchas ocasiones se encuentran en regiones conflictivas, es fácil vislumbrar una situación complicada a medio y largo plazo para el panorama energético mundial.

Por los motivos mencionados anteriormente, la utilización del hidrógeno puede ser una solución al problema medioambiental; principalmente, porque alcanzan eficiencias altas con niveles de contaminación bajos. Su utilización generalizada depende aún de avances en determinados ámbitos de su tecnología. Es preciso aumentar la durabilidad media de sus componentes, disminuir los costos de fabricación y conseguir una buena infraestructura de producción y distribución del hidrógeno. En estos logros reside el que sea factible la transición de una economía

basada en los combustibles fósiles hacia una economía basada en el hidrógeno como combustible, la denominada "Economía del hidrógeno".

Empresas gubernamentales y privadas en el Ecuador han prestado poca importancia a la utilización de combustibles alternativos que guarden relación con la conservación del medio ambiente. Los combustibles alternativos tienen una gran eficiencia y sus emisiones producto de la combustión no afectan a los seres vivos, que habitan en el Planeta. Por esta razón es de vital importancia que la Escuela Politécnica Nacional, de los primeros pasos en la investigación de los combustibles que no afectan al entorno natural y a la salud humana.

El objetivo de desarrollar ésta Tesis de Grado es investigar el comportamiento de los motores Ciclo Otto con el uso del hidrógeno como combustible de aporte, verificando torque, potencia, consumo de combustible y lo más significativo la tasa de nivel de contaminación de sus emisiones.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de los motores Ciclo Otto con el uso de hidrógeno como combustible de aporte.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las ventajas y desventajas de la utilización del hidrógeno como combustible.
- Determinar la cantidad de emisiones contaminantes provenientes de la combustión de la gasolina con y sin aporte de hidrógeno.
- Realizar la comparación de los valores de torque y potencia obtenidos con el uso de la gasolina con y sin aporte de hidrógeno.
- Determinar el consumo de combustible que se obtiene al realizar el aporte de hidrógeno a la gasolina en motores Ciclo Otto.
- Evaluar una nueva tecnología en la utilización de combustibles alternativos que protejan los recursos naturales y la vida en el planeta tierra.

# CAPÍTULO I

# FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA LA UTILIZACIÓN EN MOTORES DE CICLO OTTO

En el presente capítulo se desarrolla la descripción de los principales combustibles alternativos empleados en motores Ciclo Otto, considerados en la actualidad como combustibles ecológicos, por sus bajos niveles de contaminación.

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de vida en las principales ciudades del Ecuador como Quito, Guayaquil y Cuenca, están siendo amenazadas especialmente por la contaminación del aire en gran parte por el transporte automotor. Como consecuencia de la contaminación ambiental se han establecido políticas favorables para la utilización de vehículos no contaminantes, como los vehículos híbridos, eléctricos, etc., cuya importación está excenta de impuestos con el objetivo de incentivar su compra.

El uso del hidrógeno como aditivo de combustibles tradicionales (en una etapa de transición) y como combustible autónomo para alimentar motores de combustión interna o celdas combustibles (en un futuro que no debería ser muy lejano), se presenta como una solución real, compatible con el desarrollo tecnológico actual. Pero no habrá un número significativo de vehículos impulsados a hidrógeno hasta que no exista una infraestructura adecuada para su distribución y suministro, cuyo desarrollo dependerá de la demanda del mercado y de las políticas fiscales que se implementen. Esta demanda no crecerá rápidamente si sólo se consideran los precios relativos actuales del hidrógeno en comparación con los combustibles fósiles. Será necesario crear la conciencia suficiente para que estos últimos carguen con los costos de la contaminación del aire y de sus consecuencias para el ambiente y la salud humana.

Por lo expuesto, se considera importante la utilización del combustible hidrógeno-gasolina, para reducir el problema de contaminación ambiental, principalmente porque ésta mezcla de combustible alcanza eficiencias altas con niveles de contaminación bajos, lo cual ha sido comprobado mediante estudios en países desarrollados a nivel del mar. Finalmente las condiciones geográficas de nuestro país nos obligan a investigar el comportamiento de los motores Ciclo Otto, con el uso de la combinación hidrógeno-gasolina como combustible, principalmente en la altura.

## 1.2 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Son varias las tecnologías que están siendo desarrolladas para sustituir a la gasolina y diesel en motores de combustión interna. Las reservas de petróleo han sufrido una elevada disminución, y en un futuro no muy lejano llegarán a agotarse, además la voluntad de utilizar combustibles más limpios y menos costosos, dan importancia al hecho de la búsqueda de un combustible alternativo.

### 1.2.1 PRINCIPALES COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

El concepto de combustibles alternativos nace con la necesidad de producir y usar combustibles que sean más amigables con el medio ambiente, reduciendo las emisiones de contaminantes dañinas a la salud. Los principales combustibles alternativos que se tienen en la actualidad son:

- Biodiesel,
- Etanol,
- Hidrógeno,
- Metanol,
- Gas Natural,
- Gas Licuado de Petróleo,
- Aceites vegetales puros,
- Otros.

De los combustibles alternativos que actualmente se conocen, solamente el Biodiesel y el Bioetanol son totalmente renovables de aplicación directa, no requieren cambios sustanciales a los motores y son idóneos para desarrollarse debido a que pueden fortalecer sensiblemente el sector agrícola, favorecen la independencia tecnológica, mejoran la administración de los recursos petroleros, además de sus excelentes beneficios ambientales.

#### 1.2.1.1 Biodiesel

Este combustible renovable se obtiene de aceites vegetales, grasas animales o de las grasas y aceites vegetales que son desechados. El Biodiesel es un combustible seguro, es biodegradable y presenta reducciones sustanciales en la generación de contaminantes de área, tales como partículas, monóxido de carbono, hidrocarburos y compuestos aromáticos poli-cíclicos.

**Tabla 1-1:** Principales características del *biodiesel*[1]

| Características del Biodiesel | |
|---|---|
| Densidad relativa | 0.87 a 0.89 |
| Viscosidad cinemática @ 40℃ | 3.7 a 5.8 |
| Número de Cetano | 46 a 70 |
| Poder calorífico alto [Btu/lb] | 16,928 a 17,996 |
| Poder calorífico bajo [Btu/lb] | 15,700 a 16,735 |
| Azufre, % | 0.0 a 0.0024 |
| Punto de escurrimiento ℃ | -15 a 13 |
| Número de yodo | 60 a 135 |

[1] Artículo COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS: Ing. Jorge Luis Aguilar González – ICA Flúor, México, Año 2005.

Se obtiene por esterificación de los ácidos grasos que constituyen las grasas y aceites vegetales o animales. En la actualidad se emplea mezclado con el diesel del petróleo proporción de 20-80% (B20) en las máquinas diesel sin requerir modificación alguna depende del año en vehículos modernos desde el año 2006, no hay mayor problema en vehículos antiguos, hay que cambiar mangueras (polímeros) ya que el biodiesel es mas diluyente y tiene propiedades de limpieza.

El Biodiesel también puede emplearse en otras proporciones, sin embargo en la proporción mencionada se tiene en fuerte impacto en la mejora del desempeño ambiental con un costo mínimo y sin problemas de mantenimiento o desempeño de máquinas diseñadas para 100% petrodiesel.[2]

#### 1.2.1.2 Etanol

El etanol como combustible representa una opción muy atractiva debido a las bajas emisiones ya que puede ser obtenido de fuentes renovables. Tradicionalmente el etanol se ha obtenido por la destilación del producto de la fermentación de azúcares simples. Se pueden emplear almidones que previamente deben ser convertidos a los azúcares simples correspondientes.

Por otro lado, el resto de la planta está constituido principalmente por celulosa que a su vez constituye un polímero de los propios azúcares que son fermentables. Actualmente se han desarrollado procesos que incorporan la hidrólisis de la celulosa para producir azúcares que sean fermentables para la producción de etanol, al que se llama Bioetanol.

El etanol puede emplearse solo, es decir al 100% ó mezclado con la gasolina en diversos porcentajes siendo el caso más típico al 10% (E10). El etanol proporciona mejores características a la gasolina. En cuanto al octanaje el etanol tiene un número de octano medio de 100 comparado con 86 a 94 que tiene la gasolina.

[2] Artículo COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS. México, Año 2005.

También es una fuente de oxígeno en las llamadas gasolinas oxigenadas, lo que mejora las características de combustión en los motores.

Los fabricantes de automóviles recomiendan mantener una proporción máxima de 85% etanol y 15% gasolina (E85), para poder mantener prácticamente inalterado el motor y emplear etanol, gasolina o una mezcla de ambos.[3] Debido a que el poder calorífico volumétrico del etanol (no así el másico) es sensiblemente menor que el de la gasolina, los vehículos deben tener tanques de combustible aproximadamente un 50% mayores que los vehículos convencionales para conservar la autonomía típica de un automóvil (500 a 650 Km).

El Bioetanol representa una opción muy atractiva para países de América Latina, en los que se requiere potenciar el desarrollo agrario. Además de que al ser un proceso integral en el que prácticamente no hay desperdicio representa una opción sustentable que genera una gran cantidad de fuentes de empleo directas e indirectas. La obtención del Bioetanol a partir del forraje y estructura de las plantas constituye también una posibilidad de sinergia con la producción del Biodiesel ya que en este último combustible sólo se aprovecha el grano y más concretamente los aceites vegetales obtenidos de éste, de tal forma el resto de la biomasa pueden emplearse la producción de Bioetanol.

#### 1.2.1.3 Hidrógeno

El hidrógeno juega un papel importante en el desarrollo sostenible de la transportación. Se estima que en el futuro el hidrógeno podrá ser obtenido en grandes cantidades a costos muy competitivos empleando recursos renovables. De esta manera el hidrógeno representará un medio muy útil e ideal en cuanto a emisiones. El hidrógeno como combustible, básicamente se emplea de dos formas. La primera consiste en mezclar hidrógeno puro con gas natural como combustible directo en una máquina de combustión interna. Mientras que la segunda consiste en emplearlo como alimentación a una celda de combustible.

[3] Artículo COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS. México, Año 2005.

**Figura 1-1:** Símbolo de hidrógeno. Representación en color verde que indica que se obtiene energía limpia para la naturaleza.[4]

La clave de las bondades del hidrógeno como combustible alterno está en el desarrollo de procesos rentables, eficientes y que emplean recursos renovables para producirlo. Este tipo de energía proveniente del hidrógeno es muy conveniente para ciudades pobladas, con elevadas fuentes móviles, ya que la contaminación ambiental en estas ciudades causan graves problemas de salud a los habitantes de las mismas.[5]

#### 1.2.1.4 Metanol

El metanol tuvo un desarrollo importante en los años pasados y se ha empleado por varios años en vehículos prototipo en mezclas de 85% de Metanol y 15% gasolina (M85) sin embargo ha perdido vigencia, debido fundamentalmente a que la materia prima empleada en la producción del metanol y el metanol mismo son productos de mayor uso en otras aplicaciones industriales.

También ha sido un inconveniente el hecho de que las máquinas adaptadas para usar metanol no pueden fácilmente admitir gasolina o mezclas en menor proporción de M85. No obstante estos inconvenientes, aún se le considera como un prospecto

[4] 3ª Guía Inventario Sectorial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en España, Santiago de Compostela; Asociación Española del hidrógeno, Año 2007.
[5] 3ª Guía Inventario Sectorial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en España, Santiago de Compostela; Asociación Española del hidrógeno, Año 2007.

de combustible alternativo, dado sus buenas características de desempeño y bajas emisiones contaminantes.[6]

#### 1.2.1.5 Gas Natural

El gas natural es un combustible de quemado limpio, que produce sensiblemente menos emisiones dañinas que la gasolina reformulada o el diesel cuando se emplea en vehículos especialmente adaptados para usar este combustible. En motores de tamaño mediano y de trabajo pesado, ha demostrado que pueden conseguirse reducciones en la emisión de monóxido de carbono y partículas de más del 90%. La reducción en la emisión de óxidos de nitrógeno también es significativa; del orden del 50%. En ambos casos comparado con el desempeño de una máquina diesel convencional.

El gas natural puede emplearse en el vehículo almacenado en estado gaseoso a alta presión (de 3000 a 3600 psi) o bien licuado a muy baja temperatura y presiones de 20 a 150 psi, siendo este último caso muy raro dado la dificultad de mantener al energético a temperaturas del orden de –150 a –160 ℃. El gas natural puede también ser usado en mezclas con hidrógeno, obteniéndose aún mayores beneficios en cuanto a emisiones a la atmósfera. El inconveniente que enfrenta este combustible en la actualidad para su uso como carburante de vehículos, es la disponibilidad en los sitios de consumo, que han encarecido este energético de una manera desmesurada.[7]

#### 1.2.1.6 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Este combustible ha sido popular por años, debido a lo fácil que pueden adaptarse los motores para usar este combustible, el mismo motor puede en un momento dado utilizar gas o gasolina, incluso hacer el cambio de un combustible al otro en

---

[6] Artículo COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS: Ing. Jorge Luis Aguilar González – ICA Flúor, México, Año 2005.

[7] Nota de prensa: GAS NATURAL: Una nueva alternativa de combustibles en Ecuador, www.ratingspcr.com

operación. Este combustible se obtiene como subproducto de los procesos de refinación o como recuperado de los procesos de tratamiento del gas natural y presenta ventajas sensibles en cuanto a su manejo. Muchas ciudades del mundo han buscado, con éxito la solución a los problemas de contaminación del aire, empleando en su flotilla de taxis y autobuses, gas licuado de petróleo (GLP). El inconveniente de este energético noble en cuanto a las emisiones que produce, es la competencia que enfrenta frente a su uso para otras aplicaciones industriales.[8]

#### 1.2.1.7 Aceites vegetales puros

La preocupación sobre la dependencia de los países industrializados que consumen petróleo importado para el funcionamiento de las máquinas y la fluctuación en los precios de los combustibles ha despertado un interés creciente en el uso de los aceites vegetales puros (AVP). Estos aceites son atractivos porque se pueden obtener de fuentes agrícolas o industriales sin necesidad de procesamiento intermedio. No obstante, el AVP y otros aceites usados en general no se consideran aceptables como combustible para uso generalizado o prolongado en vehículos.[9]

### 1.2.2 OTROS COMBUSTIBLES Y TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Existen varios intentos por desarrollar nuevos combustibles alternativos, sin embargo desde 1992 que los combustibles alternativos mencionados arriba fueron reconocidos como tales, sólo uno ha sido reconocido oficialmente por las autoridades de Estados Unidos como tal en 1997. Es el caso de un combustible sintético desarrollado específicamente para empleo en climas extremadamente fríos.

---

[8] Andrés Di Pelino, Graciela Vianco: Informe sobre la situación actual del gas licuado de petróleo, Artículo, Noviembre 2002.

[9] U.S. Departament of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy, Programa de Tecnologías de vehículos, Año 2003.

Este combustible conocido como “Serie-P” es una mezcla de líquidos separados del gas natural (pentanos y más pesados), etanol y un co-solvente derivado de biomasa; el metil tetrahidro furano. Este combustible es un líquido claro; de características similares a la gasolina reformulada, con menores emisiones a la atmósfera, con un octanaje de 89 a 93 y que puede ser usado en motores adaptados para usar una diversidad de combustibles.[10]

En este contexto, de los combustibles alternativos que han sido propuestos, el hidrógeno es una la alternativa ideal a sistemas alimentados con combustibles fósiles, este tipo de mezcla se adapta fácilmente a los motores de combustión interna, y a la vez permitiendo un menor impacto ambiental.

La electricidad puede ser utilizada como un combustible para transporte, cuando es usada en los vehículos eléctricos la electricidad se almacena en bancos de baterías, cuya capacidad es limitada, de tal forma que se requiere de algún mecanismo que la reponga. Este medio de reposición de carga puede ser simplemente la conexión a la red de suministro, la cual puede ser alimentada de fuentes convencionales o bien de fuentes renovables como energía solar o eólica.
Aún con las fuentes tradicionales hay ventajas, dado que la generación de energía eléctrica masiva de manera más o menos estable es más eficiente y se tiene una reducción neta de emisiones a la atmósfera.

El principio de que la generación de energía eléctrica estable puede ser más eficiente que la generación de energía mecánica según la demanda variable del vehículo es empleado en los vehículos híbridos que cuentan con un generador eléctrico que emplea combustibles tradicionales, mientras que la demanda variable del vehículo es atendida con la energía eléctrica acumulada, lo cual se hace de manera eficiente.

[10] Luiz A. Horta Nogueira. «Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central: Proyecto Uso Sustentable de Hidrocarburos». Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) , Año 2005..

Los vehículos con celda de combustible emplean hidrógeno para producir agua al combinarse con el oxígeno del aire en una reacción electroquímica con la correspondiente generación de energía eléctrica, que se acumula en baterías para ser usada cuando se requiera. Se pueden emplear compuestos ricos en hidrógeno como el metanol o gas natural, en cuyo caso en el propio vehículo se lleva a cabo la reformación de este compuesto para producir el hidrógeno.

Conviene aclarar que este es un proceso, que de manera global es un consumidor neto de energía y su principal ventaja es que las emisiones a la atmósfera están prácticamente libres de compuestos contaminantes.

# CAPÍTULO II

# DEFINICIONES GENERALES

El presente capítulo, describe las definiciones generales de los motores Ciclo Otto, así como los combustibles que usa el parque automotor del Ecuador, a su vez detalla las propiedades y uso del hidrógeno como combustible de aporte en este tipo de motores.

## 2.1 MOTOR OTTO

El primer inventor, hacia 1862, fue el francés Alphonse Beau de Rochas. El segundo, hacia 1875, fue el alemán doctor Nikolaus August Otto. Como ninguno de ellos sabía de la patente del otro hasta que se fabricaron motores en ambos países, hubo un pleito. De Rochas ganó cierta suma de dinero, pero Otto se quedó con la fama: el principio termodinámico del motor de cuatro tiempos se llama aún ciclo de Otto.

Otto construyó su motor en 1866 junto con su compatriota Eugen Langen. Se trataba de un motor de gas que poco después dio origen al motor de combustión interna de cuatro tiempos. Otto desarrolló esta máquina, que después llevaría su nombre (motor cíclico Otto), en versiones de cuatro y dos tiempos.

### 2.1.1 CICLO OTTO

Existen tres ciclos que añaden una idealización de aire estándar como ciclo termodinámico, el de Otto, Diesel, y el Ciclo Dual. Estos ciclos diferentes unos de otros sólo en la forma en que el proceso de adición de calor. El ciclo Otto de aire estándar es un ciclo ideal que supone la adición de calor se produce instantáneamente, mientras que el pistón está en punto muerto superior. El ciclo Otto se muestra en diagramas $P$-$v$ de la Figura 2-1. El ciclo consta de cuatro procesos internamente reversibles.

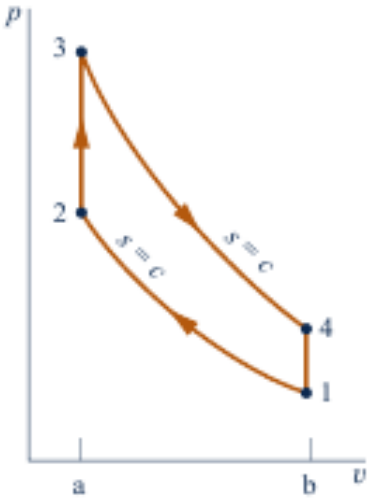



**Figura 2-1:** Diagrama $P$-$\upsilon$ de aire estándar en un ciclo Otto[11]

El ciclo Otto es el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido por chispa (motores de gasolina), como se indica en la Figura 2-2.

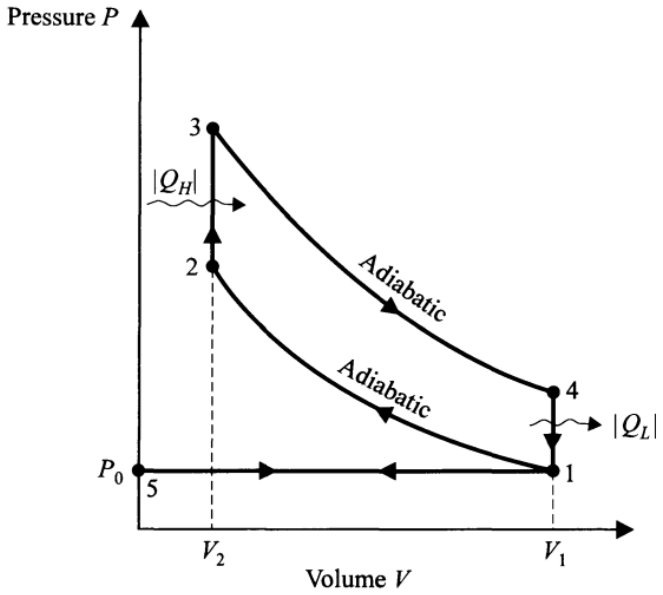



**Figura 2-2:** Esquema del Ciclo Otto ideal. Representación del Ciclo Otto de 4 tiempos en un diagrama $P$-$\upsilon$.[12]

[11] Michael J. Moran, Howard N. Shapiro: Fundamentals of Engineering THERMODYNAMICS, edition, Año 2010.
[12] Mark W. Zemansky, Ph.D.: Heat and Thermodynamics, seventh edition, Año 1997.

#### 2.1.1.1 Ciclo de Cuatro tiempos (4T)

El ciclo consta de seis procesos como se lo puede apreciar en la Figura 2-2, dos de los cuales no participan en el ciclo termodinámico del fluido operante pero son fundamentales para la renovación de la carga del mismo:

5-1: Admisión a presión constante (renovación de la carga).

1-2: Compresión isentrópica.

2-3: Combustión, aporte de calor a volumen constante.

3-4: Fuerza, expansión adiabática o parte del ciclo que entrega trabajo.

4-5: Escape, cesión del calor residual al ambiente a volumen constante.

1-5: Escape, vaciado de la cámara a presión constante (renovación de la carga).

Existen dos tipos de motores que se rigen por el ciclo de Otto, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos. Este último, junto con el motor diesel, es el más utilizado en los automóviles ya que tiene un buen rendimiento y contamina mucho menos que el motor de dos tiempos.

A continuación se explica cada una de las fases Admisión, Compresión, Expansión y Escape.

a) **Primer tiempo: Admisión,** Al inicio de este tiempo el pistón se encuentra en el **PMS** (Punto Muerto Superior). En este momento la válvula de admisión se encuentra abierta y el pistón, en su carrera o movimiento hacia abajo va creando un vacío dentro de la cámara de combustión a medida que alcanza el **PMI** (Punto Muerto Inferior), ya sea ayudado por el motor de arranque

cuando ponemos en marcha el motor, o debido al propio movimiento que por inercia le proporciona el volante una vez que ya se encuentra funcionando. El vacío que crea el pistón en éste tiempo, provoca que la mezcla aire-combustible que envía el carburador al múltiple de admisión ingrese en la cámara de combustión del cilindro a través de la válvula de admisión abierta.

b) **Segundo tiempo: Compresión,** Una vez que el pistón alcanza el **PMI** (Punto Muerto Inferior), el árbol de leva, que gira sincrónicamente con el cigüeñal y que ha mantenido abierta hasta este momento la válvula de admisión para permitir que la mezcla aire-combustible ingrese en el cilindro, la cierra. En ese preciso momento el pistón comienza a subir comprimiendo la mezcla de aire y gasolina que se encuentra dentro del cilindro.

c) **Tercer tiempo: Expansión,** Una vez que el cilindro alcanza el **PMS** (Punto Muerto Superior) y la mezcla aire-combustible ha alcanzado el máximo de compresión, salta una chispa eléctrica en el electrodo de la bujía, que inflama dicha mezcla y hace que explote. La fuerza de la explosión obliga al pistón a bajar bruscamente y ese movimiento rectilíneo se transmite por medio de la biela al cigüeñal, donde se convierte en movimiento giratorio y trabajo útil.

d) **Cuarto tiempo: Escape,** El pistón, que se encuentra ahora de nuevo en el **PMI** después de ocurrido el tiempo de explosión, comienza a subir. El árbol de levas, que se mantiene girando sincrónicamente con el cigüeñal abre en ese momento la válvula de escape y los gases acumulados dentro del cilindro, producidos por la explosión, son arrastrados por el movimiento hacia arriba del pistón, atraviesan la válvula de escape y salen hacia la atmósfera por un tubo conectado al múltiple de escape.

La Figura 2-3 indica las etapas correspondientes a un motor de combustión interna de 4 tiempos Ciclo Otto.

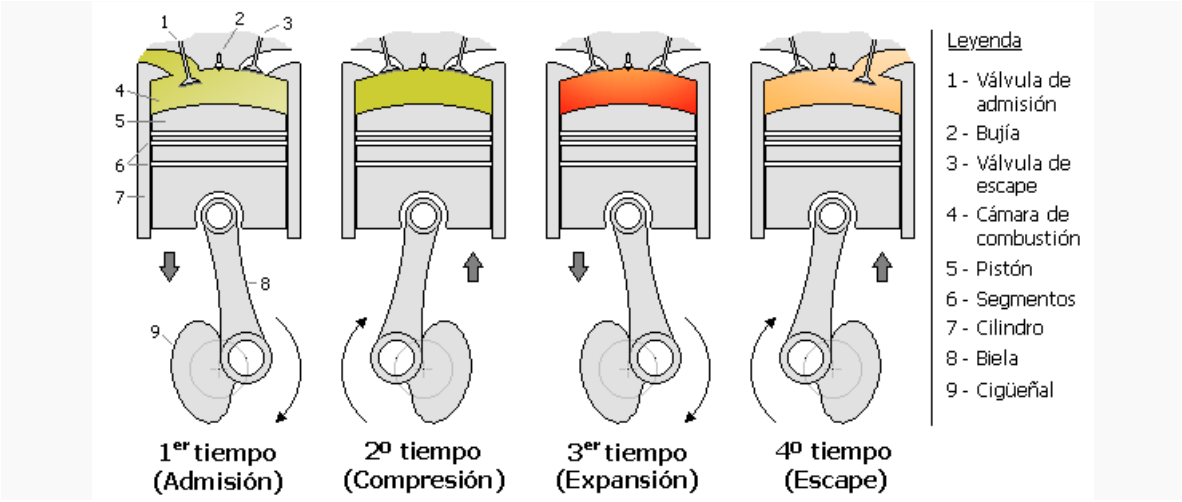



**Figura 2-3:** Esquema Motor de cuatro tiempos[13]

De esta forma se completan los cuatro tiempos del motor como se indica en la Figura 2-3, que continuarán efectuándose ininterrumpidamente en cada uno de los cilindros, hasta tanto se detenga el funcionamiento del motor.

### 2.1.1.2 Ciclo de Dos tiempos (2T)

Un motor de dos tiempos realiza las siguientes fases al momento de su funcionamiento. La figura 2-4 muestra un esquema del funcionamiento de un motor de dos tiempos.

a) **Admisión – Compresión**: Cuando el pistón alcanza el **PMI** (Punto Muerto Inferior) empieza a desplazarse hasta el **PMS** (Punto Muerto Superior), creando una diferencia de presión que aspira la mezcla de aire y gasolina por la lumbrera de admisión hacia el cárter de pre-compresión .(Esto no significa que entre de forma gaseosa). Cuando el pistón tapa la lumbrera, deja de entrar mezcla, y durante el resto del recorrido descendente el pistón la comprime en el cárter inferior, hasta que se descubre la lumbrera de transferencia que lo comunica con la cámara de compresión, con lo que la

[13] Motores endotérmicos Dante Giacosa- Editorial HOEPLI, Año 1964.

mezcla fresca pre comprimida ayuda a expulsar los gases quemados del escape (renovación de la carga).

b) **Expansión - Escape de Gases:** Una vez que el pistón ha alcanzado el **PMS** y la mezcla está comprimida, se la enciende por una chispa entre los dos electrodos de la bujía, liberando energía y alcanzando altas presiones y temperaturas en el cilindro. El pistón se desplaza hacia abajo, realizando trabajo hasta que se descubre la lumbrera de escape. Al estar a altas presiones, los gases quemados salen por ese orificio.

El rendimiento del motor de 2 tiempos es inferior respecto al motor de 4 tiempos, ya que tiene un rendimiento volumétrico menor y el escape de gases es menos eficaz, también son más contaminantes. Por otro lado, suelen dar más par motor en la unidad de tiempo (potencia) para la misma cilindrada, ya que éste hace una explosión en cada revolución, mientras el motor de 4 tiempos hace una explosión por cada 2 revoluciones, y cuenta con más partes móviles. En el pasado fueron sumamente populares por sus elevadas prestaciones en las motocicletas hasta una cierta cilindrada, ya que al aumentar ésta su consumo era excesivo.

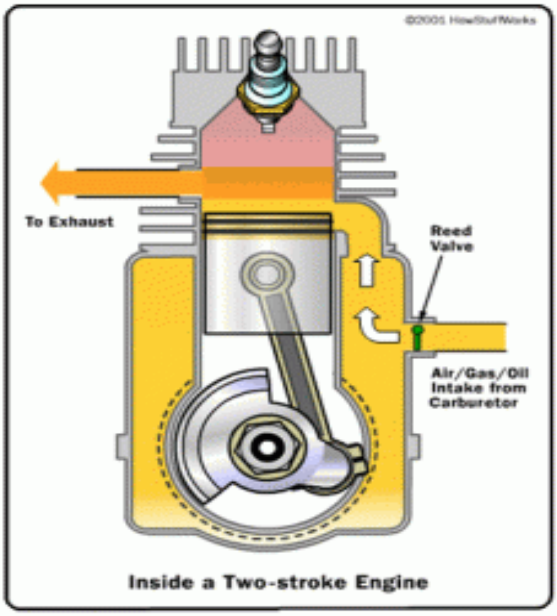



**Figura 2-4:** Esquema Motor de dos tiempos[14]

[14] Motores endotérmicos Dante Giacosa- Editorial HOEPLI, Año 1964.

#### 2.1.1.3 Eficiencia del Motor Ciclo Otto

La eficiencia o rendimiento térmico de un motor de este tipo depende de la relación de compresión, proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 hasta 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octanos para evitar la detonación. Una relación de compresión baja no requiere combustible con alto número de octanos para evitar este fenómeno; de la misma manera, una compresión alta requiere un combustible de alto número de octanos, para evitar los efectos de la detonación, es decir, que se produzca una auto ignición del combustible antes de producirse la chispa en la bujía. El rendimiento medio de un buen motor Otto de 4 tiempos es de un 25 a un 30%, inferior al rendimiento alcanzado con motores diesel, que llegan a rendimientos del 30 al 45%, debido precisamente a su mayor relación de compresión.

#### 2.1.1.4 Relación de Aire y Combustible (λ)

Esta relación ha de permanecer lo más uniforme posible, dentro de unos estrechos márgenes de variación, llamada zona lambda y se sitúa alrededor de 14-15 partes de aire en peso por cada parte de gasolina en peso, estando la mezcla estequiometria aire/gasolina en 14,7:1.

Lambda (**λ**): Es la relación entre la cantidad de aire disponible para la combustión y la cantidad teóricamente ideal o mezcla estequiométrica. Si Lambda es igual a 1, la mezcla es la teóricamente ideal. Si es menor, es una mezcla rica en gasolina; si es mayor, es una mezcla pobre en gasolina. La Figura 2.5 detalla los contaminantes en la ventana lambda.

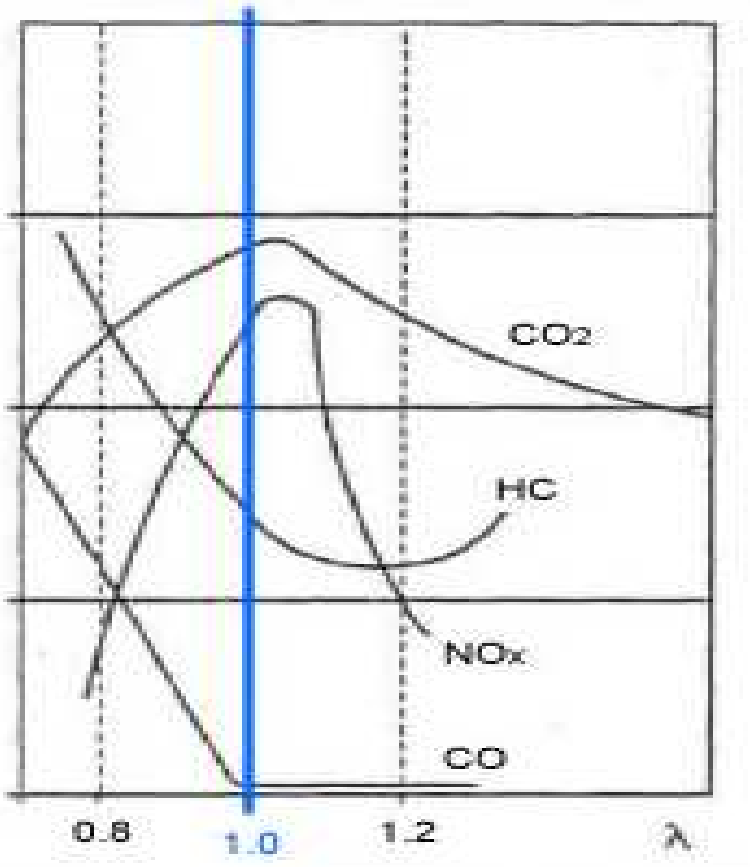



**Figura 2-5:** Gráfico de los contaminantes en la llamada ventana lambda[15]

### 2.1.1.5 Control del Par Motor

Se efectúa controlando la cantidad de aire o mezcla carburada que entra al motor, mediante el acelerador. De esta manera ajusta el conductor el par motor a la carga motor. La eficiencia o rendimiento de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros, la pérdida de llenado en el proceso de renovación de la cargaenergía por la fricción y la refrigeración. En el ciclo Otto los motores trabajan en un rango de presiones de combustión de 25 a 30 bares, partiendo de una relación de compresión de 9 a 10, y en los que la relación de aire/combustible (factor lambda), toma valores de 0,9 a 1,1.

[15] http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm

### 2.1.2 EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR OTTO

Las emisiones producidas por un vehículo y que se consideran contaminantes para el medio ambiente y además perjudiciales para la salud de las personas, son detalladas a continuación:

a) Hidrocarburos (**HC**): son partículas que no reaccionaron en la combustión o lo hicieron parcialmente, y es el mayor contribuyente a lo que se conoce como el smog de las ciudades, así como es reconocido que es altamente tóxico para la salud humana. Pueden causar daños y problemas en el hígado así como cáncer si se está continuamente expuesto a este.[16]

b) Óxido de nitrógeno (**NOx**): Estos son generados cuando el nitrógeno reacciona con el oxígeno del aire a alta temperatura y las condiciones de presión que se presentan dentro del motor. Las emisiones de estos óxidos de nitrógeno contribuyen también para la creación del smog así como para la formación de la lluvia ácida.[17]

c) Monóxido de carbono (**CO**): un producto de la combustión incompleta debido a la ineficiencia de estas tecnologías. Algunos de los efectos nocivos son que disminuye la capacidad natural de la sangre para cargar oxígeno en las células llevando consigo peligrosos riesgos así como enfermedad cardiaca.[18]

d) Dióxido de carbono (**$CO_2$**): las emisiones del dióxido de carbono son un tema de mayor preocupación dentro de todo el tema del calentamiento global puesto que es un gas que produce efecto invernadero, cada vez más común.[19]

---

[16] Edgar Blásquez: La Emisión de Gases Contaminantes, los vehículos automotores y el mantenimiento técnico, Centro de Ingeniería del Transporte CIT, Santiago de Cuba, Año 2005.
[17] Edgar Blásquez: La Emisión de Gases Contaminantes, Año 2005.
[18] Edgar Blásquez: La Emisión de Gases Contaminantes, Año 2005.
[19] Edgar Blásquez: La Emisión de Gases Contaminantes, Año 2005.

## 2.2 COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL SEGMENTO AUTOMOTRIZ EN EL ECUADOR

Los combustibles líquidos derivados del petróleo a ser utilizados en el parque automotor ecuatoriano, son analizados en ésta sección del trabajo.

### 2.2.1 COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE HIDROCARBUROS

En el Ecuador, la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador (EP PETROECUADOR), produce dos tipos de gasolinas: Extra y Súper de 80 y 89 octanos respectivamente; y dos tipos de diesel: Diesel Premium con un máximo de 500 partículas por millón (ppm) de contenido de azufre y el Diesel 1 de uso restringido para las industrias que lo requieren, con un máximo de 3000 ppm de azufre. Los dos tipos de diesel cumplen estrictamente las normas de calidad establecidas por el INEN.

Para distribuir este tipo de combustibles, EP Petroecuador debe importar grandes cantidades de naftas de alto octano y diesel con bajo contenido de azufre. La Gerencia de Refinación de EP PETROECUADOR, con la Refinería de Esmeraldas y la unidad de CCR (Reformación Catalítica) produce un combustible de elevado octanaje, pero con un alto contenido de aromáticos.

La norma INEN 935 para gasolinas establece un máximo de contenido de aromáticos, que requiere ser modificada de acuerdo a los parámetros de sus similares internacionales, así se conseguiría un mejor provecho de la capacidad de la Unidad CCR de la Refinería de Esmeraldas.

Otro de los combustibles usados en el país, es el biocombustible producto de la mezcla de gasolina extra con etanol en una concentración del 5%, este combustible es preparado en la planta del Terminal Pascuales de EP PETROECUADOR, siendo un combustible de uso exclusivo de la ciudad de Guayaquil.

### 2.2.2 COMPOSICIÓN DE LAS GASOLINAS Y DIESEL

De acuerdo al análisis de laboratorio de EP PETROECUADOR, las gasolinas y diesel en el Ecuador, usadas en el parque automotriz, tienen la siguiente composición:

#### 2.2.2.1 Gasolina Extra

La Tabla 2-1 hace referencia a los parámetros constitutivos de la Gasolina Extra, procedente de la Refinería Estatal de Esmeraldas (R.E.E), análisis realizado por el laboratorio del Terminal Beaterio.[20]

**Tabla 2-1:** Composición de la Gasolina Extra**.**

EP PETROECUADOR

**TERMINAL BEATERIO**

**PRODUCTO: GASOLINA EXTRA**

| CERTIFICADO No. | FECHA DE TOMA DE MUESTRA | PROCEDENCIA |
|---|---|---|
| 00049 | SEPTIEMBRE DE 2011 | TQ. 1003 |

| PARAMETROS | METODO | | ESPECIFICACIÓN | RESULTADOS |
|---|---|---|---|---|
| | ASTM | INEN | | |
| NUMERO OCTANO RESEARCH (RON) | D-2699 | NTE INEN 2102 | Min. 80 | 80,0 |
| CONTENIDO DE PLOMO ORGANICO (g/l) | D-3341 | NTE INEN 931 | Max. 0,013 | 0,00* |
| PRESION DE VAPOR REID (psi) | D-323 | NTE INEN 928 | Max. 8,1 | 7,0 |
| ENSAYO DE DESTILACIÓN | | | | |
| 10% (°C) | | NTE INEN 926 | Max. 70 | 57 |
| 50% (°C) | | NTE INEN 926 | 77 - 121 | 108 |
| 90% (°C) | | NTE INEN 926 | Max. 190 | 166 |
| P.F.E. (°C) | | NTE INEN 926 | Max. 215 | 209 |
| RESIDUO (% VOL) | | NTE INEN 926 | Max. 2 | 0,5 |
| CONT. AZUFRE (% PESO) | D-4294 | NTE INEN 1490 | Max. 0,2 | 0,074 |
| CORROSION LAM COBRE | D-130 | NTE INEN 927 | Max. No.1 | 1a |
| CONT. GOMAS (mg/100cm3) | D-381 | NTE INEN 933 | Max. 4 | 1,0 |
| CONT. AROMATICOS (% VOL) | | NTE INEN 2220 | Max. 20 | **18,2*** |
| CONT. BENCENO (% VOL) | ASTM 3606 | | Max. 1,0 | **0,86*** |
| CONT. DE OLEFINAS (% VOL) | | NTE INEN 2220 | Max. 20,0 | **10,1*** |
| ESTABILIDAD A LA OXIDAC. (min) | D-976 | NTE INEN 934 | Min. 240 | > 240* |
| RELACION VAPOR/LIQUID A 60°C | D-2533 | NTE INEN 932 | Max. 20 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA, 60/60°F | D-1298 | | REPORTE | 0,7451 |
| GRAVEDAD API, 60/60 °F | D-1298 | | REPORTE | 58,4 |

**OBSERVACIONES:** * Datos obtenidos de Certificado de Calidad de R.E.E.

[20] Fuente: EP PETROECUADOR, Terminal Beaterio. Año 2011.

### 2.2.2.2 Gasolina Súper

La Tabla 2-2 hace referencia a los parámetros constitutivos de la Gasolina Súper, procedente de la Refinería Estatal de Esmeraldas (R.E.E), análisis realizado por el laboratorio del Terminal Beaterio.[21]

**Tabla 2-2:** Composición de la Gasolina Súper.

EP PETROECUADOR

**TERMINAL BEATERIO**

**PRODUCTO: GASOLINA SUPER**

| CERTIFICADO No. | FECHA DE TOMA DE MUESTRA | PROCEDENCIA |
|---|---|---|
| 00050 | SEPTIEMBRE DE 2011 | TQ. 1001 |

| PARAMETROS | METODO | | ESPECIFICACIÓN | RESULTADOS |
|---|---|---|---|---|
| | ASTM | INEN | | |
| NUMERO OCTANO RESEARCH (RON) | D-2699 | NTE INEN 2102 | Min. 89 | 89,0 |
| CONTENIDO DE PLOMO ORGANICO (g/l) | D-3341 | NTE INEN 931 | Max. 0,013 | 0,00 |
| PRESION DE VAPOR REID (psi) | D-323 | NTE INEN 928 | Max. 8,1 | 7,1 |
| ENSAYO DE DESTILACIÓN | | | | |
| 10% (°C) | | NTE INEN 926 | Max 70 | 50 |
| 50% (°C) | | NTE INEN 926 | 77 - 121 | 97 |
| 90% (°C) | | NTE INEN 926 | Max. 190 | 176 |
| P.F.E. (°C) | | NTE INEN 926 | Max. 220 | 211 |
| RESIDUO (% VOL) | | NTE INEN 926 | Max. 2 | 0,5 |
| CONT. AZUFRE (% PESO) | D-4294 | NTE INEN 1490 | Max. 0.2 | 0,14 |
| CORROSION LAM COBRE | D-130 | NTE INEN 927 | Max. No.1 | 1a |
| CONT. GOMAS (mg/100cm3) | D-381 | NTE INEN 933 | Max. 5 | 0,2 |
| CONT. AROMATICOS (% VOL) | | NTE INEN 2220 | Max. 30 | 25,10* |
| CONT. BENCENO (% VOL) | ASTM 3606 | | Max. 2,0 | 0,88* |
| CONT. DE OLEFINAS (% VOL) | | NTE INEN 2220 | Max. 25 | 18,10* |
| ESTABILIDAD A LA OXIDAC. (min) | D-976 | NTE INEN 934 | Mín. 240 | > 240* |
| RELACION VAPOR/LIQUID A 60°C | D-2533 | NTE INEN 932 | Max. 20 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA, 60/60°F | D-1298 | | REPORTE | 0,7459 |
| GRAVEDAD API, 60/60 °F | D-1298 | | REPORTE | 58,2 |

**OBSERVACIONES:** * Datos obtenidos de Certificado de Calidad de R.E.E.

[21] Fuente: EP PETROECUADOR, Terminal Beaterio. Año 2011.

### 2.2.2.3 Diesel Premium

La Tabla 2-3 hace referencia a los parámetros constitutivos del Diesel Premium, procedente de la Refinería Estatal de Esmeraldas (R.E.E), análisis realizado por el laboratorio del Terminal Beaterio.[22]

**Tabla 2-3:** Composición del Diesel Premium

EP PETROECUADOR

**TERMINAL BEATERIO**

**PRODUCTO: DIESEL PREMIUM**

| CERTIFICADO No. | FECHA DE TOMA DE MUESTRA | | PROCEDENCIA |
|---|---|---|---|
| 00005 | SEPTIEMBRE DE 2011 | | TQ. 1016 |

| PARAMETROS | METODO | | ESPECIFICACIÓN | RESULTADOS |
|---|---|---|---|---|
| | ASTM | INEN | | |
| PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C) | D-93 | NTE INEN 1047 | Min. 51 | 88 |
| DESTILACIÓN °C | D-86 | NTE INEN 926 | | |
| PIE | | | REPORTE | |
| 10% | | | REPORTE | 240 |
| 50% | | | REPORTE | 287 |
| 90% | | NTE INEN 926 | Max. 360 | 350 |
| AZUFRE (% PESO) | D-4294 | NTE INEN 1490 | Max. 0.05 | 0,05 |
| CENIZAS (%PESO) | D-482 | NTE INEN 1492 | Max. 0.01 | 0,00* |
| RESIDUO CARBONOSO SOBRE EL 10% | D-524 | NTE INEN 1491 | Max. 0.15 | 0,00* |
| AGUA Y SEDIMENTO (%VOL) | D-1796 | NTE INEN 1494 | Max. 0.05 | 0 |
| CORROSIÓN LAM COBRE | D-130 | NTE INEN 927 | Max. No 3 | 1a |
| VISCOSIDAD CINEMATICA A 37.8°C (Cst) | D-445 | NTE INEN 810 | 2.5 a 6.0 | 4,2 |
| INDICE DE CETANO CALCULADO | D-976 | NTE INEN 1495 | Min. 45 | 50 |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA, 60/60 °F | D-287 | | REPORTE | 0,8443 |
| GRAVEDAD API, 60/60°F | D-287 | | REPORTE | 35,5 |

**OBSERVACIONES:** * Datos obtenidos de Certificado de Calidad de R.E.E.

[22] Fuente: EP PETROECUADOR, Terminal Beaterio. Año 2011.

### 2.2.3 MEJORAMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES E IMPACTO AMBIENTAL

Está demostrado que en la ciudad de Quito, los parámetros en base a los cuales se controlan las emisiones de gases han bajado a niveles permitidos, pero una buena parte de esas emisiones corresponden a las industrias más no al parque automotor.

Fuente: EP PETROECUADOR

**Figura 2-6:** Equipos de Análisis de Combustibles de laboratorio.

El mejoramiento de la calidad de combustibles está sujeto a la decisión política de las autoridades hidrocarburíferas y la responsabilidad en el cumplimiento de proyectos como la construcción de la nueva Refinería del Pacífico o el cambio de procesos de producción en las otras refinerías, los mismos que requieren necesariamente de recursos adicionales para su ejecución.

No obstante, esta inversión causaría un positivo impacto ambiental, beneficios para la salud y además la posibilidad de introducir tecnologías modernas con mejor desempeño ambiental y alta eficiencia energética.

Como otra medida para precautelar la calidad de los combustibles comercializados en nuestro país y pese a que el control no está a cargo de EP PETROECUADOR, se busca la forma de vigilar que los combustibles importados no contengan organometálicos como el Tricarbonil Metil Ciclopentadienil Manganeso (MMT) y que

se sometan a pruebas de laboratorio para determinar si están o no aditivados con manganeso, elemento que estabiliza y regula el octanaje de las gasolinas y que se lo asocia con el aumento de las enfermedades bronquiales y asmáticas especialmente en los niños.

Es necesario indicar que la Gerencia de Comercialización de EP PETROECUADOR, no aditiva sus combustibles desde 1998 cuando dejó de usar Plomo. Además, se autoriza que salgan a la venta únicamente los combustibles que cumplen con todos los parámetros y especificaciones que la norma INEN correspondiente exige, luego de salido el producto del Terminal la responsabilidad sobre la calidad de los combustibles se transfiere a las instituciones que realizan los controles del caso[23].

Actualmente el Gobierno ha previsto mejorar la calidad de las gasolinas y diesel, proyecto que se ejecutará durante el año 2012, donde las gasolinas tendrán 87 y 92 octanos [24] y un único diesel de 500 ppm de contenido de azufre.

## 2.3 EL HIDRÓGENO

A continuación se presentan las propiedades del hidrógeno, forma de obtención, almacenamiento, transporte, distribución y normas de seguridad industrial para la correcta manipulación y uso como combustible alternativo o de aporte.

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido altamente inflamable y no es tóxico, éste se quema en el aire formando una llama azul pálido casi invisible.

Es el más ligero de los gases conocidos en función a su bajo peso específico con relación al aire. Por esta razón, su manipulación requiere de cuidados especiales para evitar accidentes. Es particularmente propenso a fugas debido a su baja viscosidad y a su bajo peso molecular.

---

[23] EP PETROECUADOR www.eppetroecuador.ec

[24] http://www.elcomercio.com/negocios/Gasolina-mejorada-espera-abril_0_631137061.html , , Año 2011.

El hidrógeno es el elemento químico más simple (formado solamente por un protón y un electrón) y más abundante del universo formando parte de las estrellas y de los planetas gaseosos en su mayor proporción. En las estrellas se encuentra principalmente en estado plasma (estado de agregación de la materia con características propias). Su molécula se representa con el símbolo **$H_2$**.

El hidrógeno también aparece unido a otros elementos formando gran variedad de compuestos moleculares, como el agua ($H_2O$) y la mayoría de las sustancias orgánicas. La molécula de hidrógeno es, en condiciones normales de presión y temperatura, incoloro, inodoro, no tóxico e inflamable, con un punto de ebullición de -252,77℃ y un punto de fusión de -259,13℃. Puede reaccionar con oxígeno ($O_2$) desprendiendo energía y formando agua[25]. Esta reacción se conoce como combustión y en ella el hidrógeno es el combustible:

$$H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O \qquad \Delta H = -285\ kJ\ mol^{-1} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Entalpía de formación: Es el calor necesario para formar un mol de una sustancia, a presión constante y a partir de los elementos que la constituyen.

$$H_2\ (g) + ½\ O_2\ (g) \rightarrow H_2O + 68{,}3\ Kcal \qquad \textbf{(2.2)}$$

Cuando se forma una mol de agua (18 g) a partir de hidrógeno y oxígeno se producen 68.3 Kcal, lo que se denomina entalpía de formación del agua. Hay otros materiales combustibles, como el carbón, gas natural, gasolina y gas licuado de petróleo (GLP), que se conocen como combustibles fósiles porque provienen de compuestos formados de seres vivos (fauna y flora), hace millones de años. Todos ellos pueden reaccionar también con oxígeno y producir energía. Por ejemplo, para el gas natural (formado mayoritariamente por metano) sería:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad \Delta H = -889\ kJ\ mol^{-1} \qquad \textbf{(2.3)}$$

*Gas natural → formado por metano*

[25] Xing L. Yan, Ryutaro Hino: Nuclear Hydrogen Production, Handbook, Año 2011.

El sistema energético actual se basa en la utilización de estos combustibles. Se vive por ello en lo que se ha denominado la "sociedad de los combustibles fósiles". Gran parte de las actividades que lleva a cabo el ser humano son posibles gracias a la energía de estos combustibles; por ejemplo para el transporte (automóviles, aviones, barcos), la calefacción de edificios, el trabajo de las máquinas, en la industria, etc.

Existen dos razones principales por las que es deseable sustituir los combustibles fósiles por el hidrógeno:

a) La combustión del hidrógeno no contamina, sólo produce como subproducto agua (Ecuación 2.2), mientras que los combustibles fósiles liberan $CO_2$ (Ecuación 2.3) que queda en la atmósfera y es uno de los mayores responsables de lo que se denomina "efecto invernadero".

b) Las reservas de combustibles fósiles se agotarán tarde o temprano, mientras que el hidrógeno permanecerá inagotable.

Sin embargo, esta sustitución es complicada en el momento actual. En primer lugar, porque, a diferencia de los combustibles fósiles, el hidrógeno no se encuentra en estado puro en nuestro planeta, sino formando compuestos como el agua o la mayoría de los compuestos orgánicos; por lo tanto, es preciso desarrollar sistemas que permitan producirlo de manera eficiente. Por otro lado, sería necesario habilitar nuevas infraestructuras para el suministro de hidrógeno; en otras palabras, habría que construir una completa red de estaciones de servicio de hidrógeno o "hidrogeneras", lo cual implica una fuerte inversión.

El hidrógeno, por tanto, no puede ser considerado como una fuente primaria de energía -como los combustibles fósiles-, sino un medio para transportar energía, por lo que se le denomina vector energético[26]. Se denomina vector energético a

[26] José Ignacio Linares, Beatriz Yolanda Moratilla: El hidrógeno como vector energético, Articulo. Año 2007.

aquellas sustancias o dispositivos que almacenan energía, de tal manera que ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada[27]. De esta forma, el hidrógeno se transformará en energía y calor de una forma eficiente y limpia, mediante un proceso químico conseguido en un equipo denominado "pila de combustible".

**Tabla 2-4:** Propiedades químico-físicas del hidrógeno[28]

| PROPIEDADES | VALORES |
|---|---|
| Densidad | 0,0899 kg/m$^3$ (gas) |
| | 0,0708 g/ cm$^3$ (liquido) |
| Poder calorífico | 141,86 MJ/kg (superior) |
| | 120 MJ/kg (inferior) |
| Capacidad calorífica específica | Cp=14,199 J/(kg·K) |
| | Cv=10,074 J(kg·K) |
| Peso Molecular | 2,016 gr/mol |
| Temperatura Ebullición (1 atm) | -252,8 ℃ |
| Temperatura Crítica | -239,9 ℃ |
| Presión Crítica | 12.98 atm |

Fuente: Shriver, D.F.; Atkins, P.W.; Langford, C.H. Química Inorgánica.

## 2.4 OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO

Para obtener hidrógeno en estado puro, es necesario extraerlo de los compuestos en los que se encuentra combinado, principalmente el agua, los combustibles fósiles y la materia orgánica (biomasa).

### 2.4.1 A PARTIR DEL AGUA: ELECTRÓLISIS

Mediante la electrolisis, el agua se descompone para formar hidrógeno y oxígeno. Realmente se trata de llevar a cabo el proceso inverso a la reacción (2.4) de combustión de hidrógeno:

[27] Monbiot, George. *Calor. Cómo parar el calentamiento global*. Barcelona: RBA libros. pp. 185. Año 2008.
[28] Shriver, D.F.; Atkins, P.W.; Langford, C.H. Química Inorgánica. Vol. 1. Segunda edición. Reverté. Año 1997.

$$H_2O \rightarrow H_2 + \tfrac{1}{2}\, O_2 \qquad \Delta H = 285 \text{ kJ mol}^{-1} \qquad \textbf{(2.4)}$$

Como puede observarse, en esta reacción se necesita un aporte energético (ΔH positiva), que será suministrado mediante energía eléctrica. El mecanismo de electrólisis es el siguiente: en una célula electroquímica hay dos electrodos (cátodo y ánodo) unidos por un medio conductor formado por iones H+ (protones) disueltos en agua, como se muestra en la Figura 2-7.

El paso de corriente eléctrica entre cátodo y ánodo hace que el agua se disocie como lo indica la Figura 2-7, formándose hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo. Más adelante se estudiará otro tipo de células electroquímicas ("pilas de combustible") que actúan justamente a la inversa, consumiendo hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y agua, conocida como electrólisis inversa.

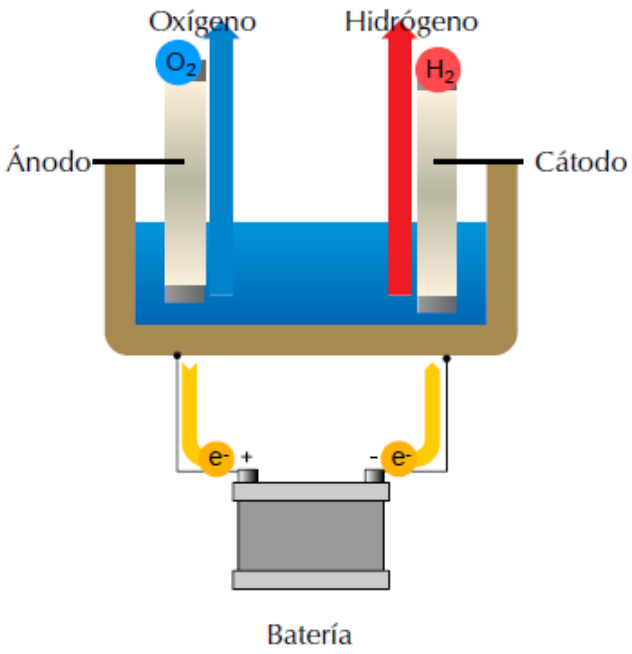



**Figura 2-7:** Esquema del proceso de electrólisis[29]

Si la electricidad necesaria para el proceso se obtuviese a partir de energías renovables (fotovoltaica, eólica, hidráulica,...), éste sería el método más

[29] Boletín Informativo de Air Liquid, No. 19, Abril 2006.

conveniente para la producción de hidrógeno, porque sería limpio. En la Figura 2-8 se muestran los elementos que intervienen en la electrólisis del agua para la obtención del hidrógeno.

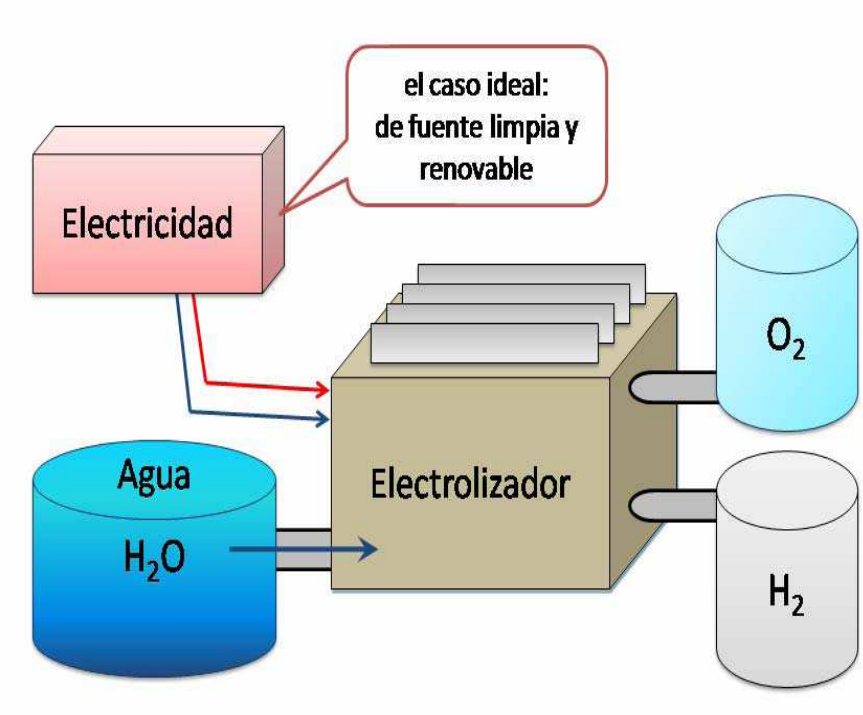



**Figura 2-8:** Elementos que intervienen en la electrólisis[30]

### 2.4.2 A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Como se ha dicho anteriormente, los combustibles fósiles son "portadores de hidrógeno", porque lo contienen en su molécula. Para obtenerlo como gas hidrógeno, bastaría con hacerlos reaccionar con agua utilizando un catalizador para facilitar la reacción. Este proceso químico se denomina "reformado con vapor de agua" y requiere aporte de energía porque es un proceso endotérmico, en el que se obtienen como productos principales hidrógeno ($H_2$) y monóxido de carbono (CO).

Ese aporte de energía puede reducirse introduciendo oxígeno (o aire) al reactor al mismo tiempo que se alimenta el agua. De esta forma, el proceso se convierte en un proceso ligeramente exotérmico -desprende calor- que se denomina "reformado

[30] ENARSA Proyectos de Investigación y Desarrollo, Energía Argentina S.A, Noviembre 2007.

autotérmico". Además de hidrógeno y monóxido de carbono, también se puede formar dióxido de carbono ($CO_2$) por combustión con el oxígeno. El resultado final es una menor producción de hidrógeno, pero resulta de interés en algunos casos por el menor consumo energético.

Tanto en un caso como en otro, para obtener una corriente de hidrógeno puro es preciso llevar a cabo una serie de reacciones posteriores, como la reacción de desplazamiento del gas de agua, en la que el monóxido de carbono reacciona con agua para formar dióxido de carbono e hidrógeno. Para la última etapa de purificación se pueden utilizar tanto procesos químicos (oxidación selectiva), como físicos (separación por adsorción, métodos criogénicos), en función de la aplicación final en la que vaya a utilizarse el hidrógeno y el nivel de pureza que se necesite. Actualmente, la mayor producción de hidrógeno a escala industrial se lleva a cabo por reformado a partir de gas natural.

### 2.4.3 A PARTIR DE BIOMASA

La biomasa es materia que proviene de los seres vivos, tanto vegetales (residuos forestales, agrícolas, cultivos energéticos), como animales (purines, vísceras) en la que abundan los compuestos hidrogenados. Cuando el tratamiento de la biomasa da lugar a la formación de gas hidrógeno, a este producto se le denomina biogás. Mediante procesos químicos de reformado de ese gas, como los mencionados anteriormente, se puede obtener hidrógeno.

Otros tratamientos de la biomasa dan lugar a la obtención de biocarburantes líquidos que pueden utilizarse también posteriormente como combustibles para la producción de $H_2$ más fácilmente transportables: es el caso del bioetanol o el biodiesel.

En todos los casos, junto con el hidrógeno se obtiene también dióxido de carbono pero, a diferencia de lo que ocurre con los combustibles fósiles, este $CO_2$ no supone un aumento de emisiones a la atmósfera, ya que forma parte del

ecosistema, debido a que ha sido previamente fijado por la planta en el proceso de fotosíntesis.

## 2.5 ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno son esenciales para garantizar el suministro a los posibles usuarios finales.

### 2.5.1 ALMACENAMIENTO

Existen diversos sistemas de almacenamiento de hidrógeno. La elección del sistema más adecuado dependerá de la aplicación final en la que vaya a utilizarse. De manera resumida puede citarse los siguientes:

#### 2.5.1.1 Almacenamiento a presión

Normalmente se almacena a una presión entre 200-350 [bar] en tanques o cilindros de acero. La cantidad de hidrógeno almacenado determina la presión “cuanto mayor es la presión, más gas hidrógeno se almacena”, hoy en día se está trabajando en el desarrollo de materiales, como la fibra de carbono o aluminio, que tengan la capacidad de soportar una presión de hasta 700 [bar]. Este aspecto es especialmente importante para la aplicación en transporte. En la Figura 2-9 se puede apreciar los cilindros de acero en donde es almacenado el hidrógeno.

**Figura 2-9:** Almacenamiento de hidrógeno en tanques a presión[31]

[31] http://www.faq-mac.com/noticias/mejor-almacenamiento-hidrogeno/45586

### 2.5.1.2 Almacenamiento líquido

El hidrógeno pasa al estado líquido a una temperatura inferior a -253℃. Se utilizan tanques especiales criogénicos, para mantener las bajas temperaturas. Este sistema sólo es utilizado cuando se necesita maximizar la capacidad de almacenamiento en un espacio reducido. Un esquema de un tanque criogénico se indica en la Figura 2-10.

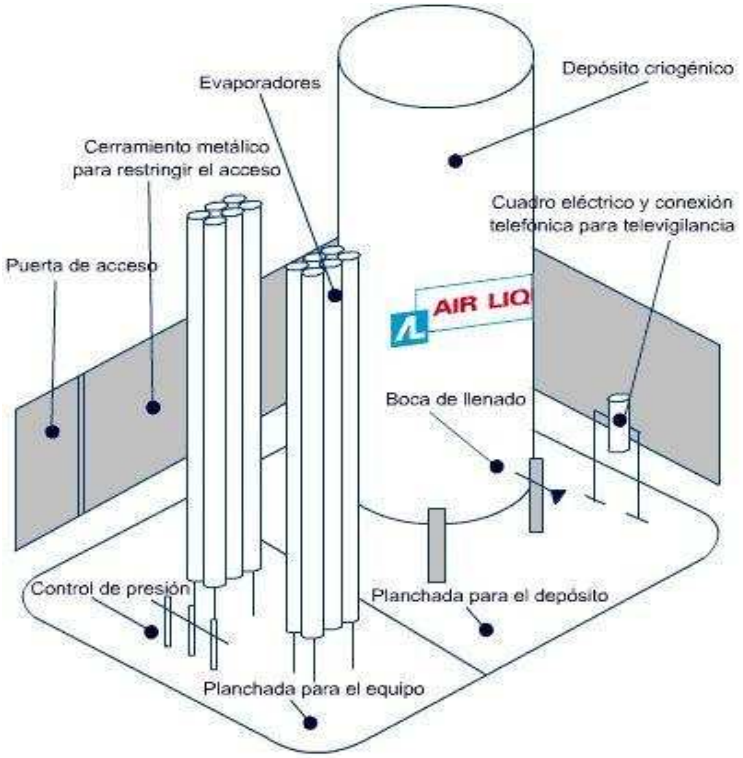



**Figura 2-10:** Almacenamiento de hidrógeno líquido[32]

### 2.5.1.3 Hidruros metálicos

Diversos metales forman compuestos con el hidrógeno, conocidos como hidruros. La formación de estos compuestos es reversible, de forma que es posible volver fácilmente a tener el hidrógeno y el metal inicial. Este sistema ofrece una alta capacidad de almacenamiento y presenta diversas ventajas de seguridad y manipulación (almacenamiento sólido a presión y temperatura ambiente) frente a otros sistemas. Sus principales desventajas son el elevado peso de los equipos y su alto precio. Figura 2-11.

[32] http://www.es.airliquide.com/es/productos-y-servicios-1/suministro-liquido.html

**Figura 2-11:** Cilindro de almacenamiento de hidruros metálicos[33].

### 2.5.2 TRANSPORTE

En principio, el hidrógeno puede ser transportado en estado gaseoso (a presión) o líquido (criogénico), pudiendo distribuirse a través de tuberías (Figura 2-12) o mediante camiones, barcos (Figura 2-13, Figura 2-14), que incorporan alguno de los métodos de almacenamiento vistos con anterioridad.

**Figura 2-12:** Transporte de hidrógeno por tuberías[34].

[33] http://hidrogenio.com.mx/productos/celdas-de-combustible/celdas-de-alto-poder/cilindro-de-almacenamiento-de-hidrogeno-hm-10/

[34] http://www.gruponeva.es/blog/noticia/5941/planta-nuclear-de-kursk-en-rusia-semejante-a-la-de-chernobyl-que-funciona-con-total-normalidad.html

**Figura 2-13:** Transporte de hidrógeno por vía terrestre[35]

**Figura 2-14:** Transporte de hidrógeno por vía marítima[36]

### 2.5.3 DISTRIBUCIÓN

La distribución es el proceso de puesta a disposición del usuario final del hidrógeno. Actualmente, se realiza desde tanques a presión en el punto de suministro. En el

[35] http://www.fotosadr.com/otros/pages/2015-01-peroxido-de-hidrogeno-en-solucion-acuosa-estabilizada-scania-168-gosta-johanssons-akeri-kemira164.htm
[36] http://pleamarconsultoriamaritima.wordpress.com/2011/08/21/537/

futuro, cuando se generalice el uso del hidrógeno en la llamada "sociedad del hidrógeno", se diseñarán sistemas de interconexión por tubería que lo hagan llegar a los hogares (similar a las actuales conexiones de gas natural), y también estaciones de servicio de hidrógeno ó "hidrogeneras", que permitirán una rápida recarga de cualquier vehículo propulsado por hidrógeno. En la actualidad, son muchos los proyectos que han avanzado estas soluciones.[37]. En la Figura 2-15 se aprecia una estación de servicio en Berlín que distribuye hidrógeno.

**Figura 2-15:** Hidrogenera en Berlín[38]

En la Figura 2-16 se aprecia un autobús realizando un repostaje en una estación de servicio de hidrógeno o hidrogenera.

**Figura 2-16:** Repostaje de un autobús en una hidrogenera[39]

[37] 3ª Guía Inventario Sectorial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en España, Santiago de Compostela; Asociación Española del hidrógeno, Año 2007.
[38] http://www.gozazaragoza.com/contenido.php?id=2003 , Año 2008.

## 2.6 USOS DEL HIDRÓGENO

El hidrógeno es un insumo importante para la industria química. Toma la parte en las reacciones de adición (hidrogenación) o por medio de su potencial como agente reductor. Si bien cambios en la producción y el sector de utilización ha sido relativamente pequeño desde algún tiempo, la tendencia actual es utilizar este recurso como una potencial fuente de energía. En la actualidad, no se usa el hidrógeno directamente para producir la energía (aparte de la tecnología espacial), se han usado mezclas con el hidrógeno para propósitos de combustión con buenos resultados en algunos vehículos logrando buena autonomía.

### 2.6.1 PROCESOS QUE UTILIZAN HIDROGENO

Para la fabricación de artículos en la industria siderúrgica o para uso en laboratorios, el hidrógeno juega un papel importante dentro del proceso de obtención de los productos, a continuación se indican algunos procesos en los que se utiliza hidrógeno.[40]

- Hidrogenación de aceites
- Procesos especiales de soldadura y corte
- Laboratorios
- Hornos de sinterización
- Formación de atmósferas reductoras (industria del vidrio)
- Hornos para reducción de ciertos metales (eliminación de Oxígeno)
- Fabricación de semiconductores.
- Como combustible alternativo en motores para reducir impactos ambientales.

---

[39] 3ª Guía Inventario Sectorial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en España, Santiago de Compostela; Asociación Española del hidrógeno, Año 2007.

[40] Xing L. Yan, Ryutaro Hino: Nuclear Hydrogen Production, Handbook, 2011.

## 2.7 PILA DE COMBUSTIBLE

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que en presencia de un catalizador transforman la energía química de un combustible (generalmente $H_2$) en electricidad y agua, con un elevado rendimiento (>50%), sin recurrir a componentes móviles y, prácticamente, sin emisión de contaminantes. El desarrollo de las pilas de combustible está estrechamente ligado al desarrollo de la 'economía del hidrógeno' y se ve como uno de los principales medios de futuro para combatir la presión medioambiental a la que nos somete la dependencia de los combustibles fósiles (gases de efecto invernadero) y también como una de las soluciones a su agotamiento. Las pilas de combustible se proponen para la generación de energía tanto en aplicaciones portátiles como estacionarias y, fundamentalmente, para reemplazar a los motores de combustión interna. Sus ventajas teóricas son enormes: mayor eficiencia de conversión que los procesos de combustión, 'cero' o muy baja emisión de gases contaminantes (según el combustible de partida), flexibilidad en el combustible y ausencia de ruido.[41]

### 2.7.1 CELDA DE COMBUSTIBLE

En principio, una celda de combustible funciona como una batería, genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provee de combustible. El único subproducto que se genera es agua 100% pura. Una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrólito. Oxígeno pasa sobre un electrodo e hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrólito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil (Figura 2-17). Para generar cantidades utilizables de corriente las celdas de combustibles son "amontonadas" en un emparedado de varias capas.

[41] Andrew Bocarsly Á D. Michael P. Mingos; Fuel Cells and Hydrogen Storage, Springer, Año 2011.

Las celdas de combustible son una familia de tecnologías que usan diferentes electrólitos y que operan a diferentes temperaturas. Cada miembro de esa familia tiende a ser más apropiado para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, las celdas de combustible de membrana eléctrica polimérica han demostrado ser apropiadas para su aplicación en autos, mientras que las celdas de combustible de carbonatos fundidos parecen ser más apropiadas para uso con turbinas a gas.

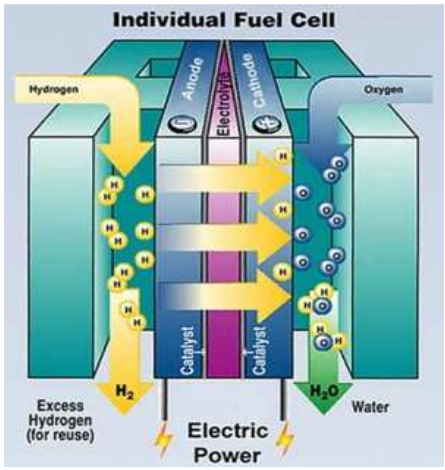



**Figura 2-17:** Esquema de una celda de combustible[42]

### 2.7.2 TIPOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

Existen varios tipos de celdas de combustibles las cuales pueden ser utilizadas para generar energía en diferentes ámbitos de la industria, para generar energía eléctrica a instituciones dedicadas al servicio de la educación y a la medicina, y son detalladas a continuación.

#### 2.7.2.1 Ácido fosfórico (PAFCs)

Éste es el tipo de celda de combustible más desarrollado a nivel comercial y ya se encuentra en uso en aplicaciones tan diversas como clínicas y hospitales, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y terminales aeroportuarias. Las temperaturas de operación se encuentran en el rango de los 400℉ (204.4℃). Este tipo de celdas pueden ser usadas en vehículos grandes tales como autobuses y

[42] Cristian Frers, Factibilidad del hidrógeno como energía. Energías renovables. Fuentes de energía. Energías alternativas. Mayo 2009.

locomotoras. En la Figura 2-18 se indica la disposición de una pila de combustible PAFC.

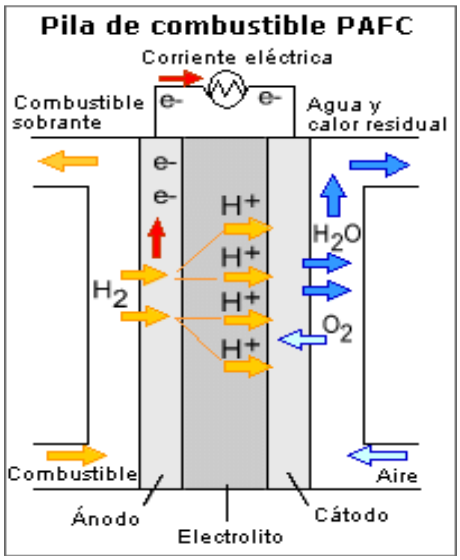



**Figura 2-18:** Esquema del funcionamiento de una celda de combustible PAFC[43]

### 2.7.2.2 Polímero Sólido ó Membrana de Intercambio Protónico (PEM)

Estas celdas operan a relativamente bajas temperaturas unos 200℉ (93.3℃), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, tal como en el caso de automóviles. Figura 2-19.

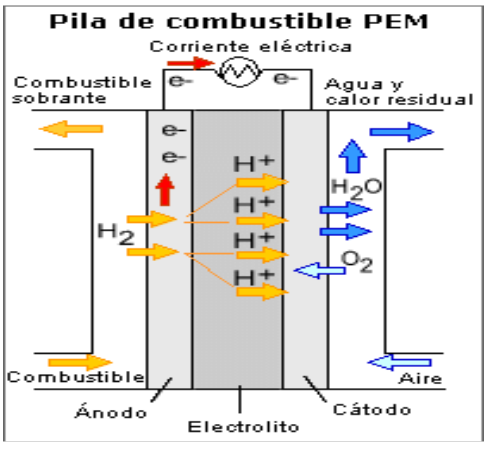



**Figura 2-19:** Esquema del funcionamiento de una celda de combustible PEM[44]

[43] U.S. Department Energy; Fuel cells. Energy Efficiency and Renewable Energy. Año 2011.

### 2.7.2.3 Carbonato Fundido (MCFCs)

Las celdas de combustible de carbonato fundido prometen altas eficiencias combustible-electricidad y la habilidad para consumir combustibles base carbón. Esta celda opera a temperaturas del orden de los 1200℉ (649℃). La primera pila de carbonato fundido a gran escala ha sido ya probada y algunas unidades para demostración están siendo terminadas para su prueba. Figura 2-20.

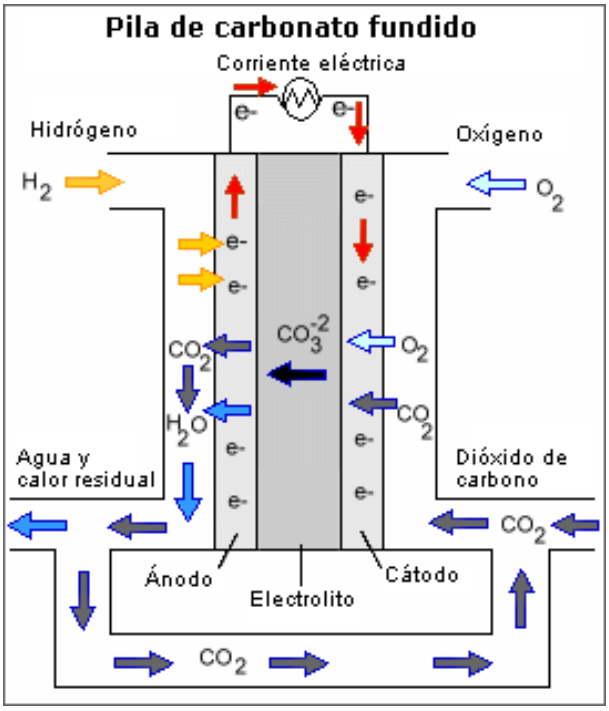



**Figura 2-20:** Esquema del funcionamiento de una celda de combustible MCFC[45]

### 2.7.2.4 Celdas de combustible de óxido sólido (SOFCs)[46]

Otra celda de combustible en desarrollo, es la celda de combustible de óxido sólido proveniente del zirconio con adiciones de Itrio, podría ser usada en aplicaciones grandes de alta potencia incluyendo estaciones de generación de energía eléctrica a gran escala e industrial.

---

[44] U.S. Department Energy; Fuel cells. Energy Efficiency and Renewable Energy. Año 2011.
[45] U.S. Department Energy; Fuel cells. Energy Efficiency and Renewable Energy. Año 2011.
[46] Pilas de combustibles de Oxidos sólidos www.rseq.org.

Algunas organizaciones que desarrollan este tipo de celdas de combustible también prevén el uso de éstas en vehículos motores. Un sistema de óxido sólido normalmente utiliza un material duro cerámico en lugar de un electrólito líquido permitiendo que la temperatura de operación alcance los 1800 ℉ (982 ℃). Las eficiencias de generación de potencia pueden alcanzar un 60%.

Un tipo de celda de combustible de óxido sólido utiliza un arreglo de tubos de un metro de longitud mientras que otras variaciones incluyen un disco comprimido semejando la parte superior de un plato de sopa. Figura 2-21

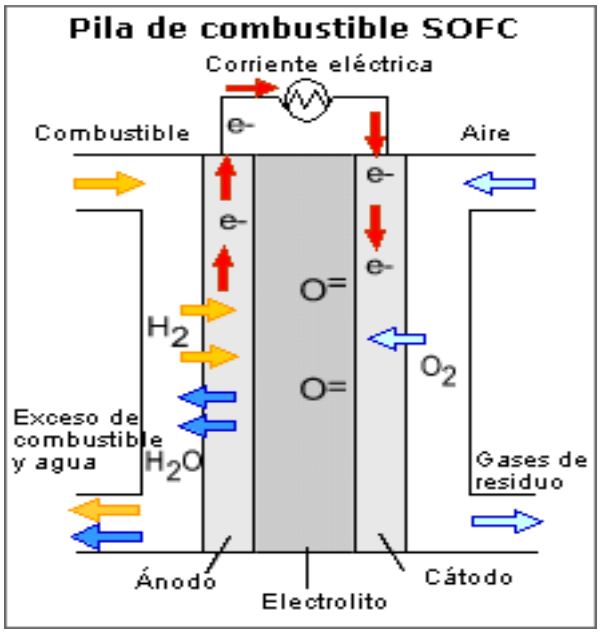



**Figura 2-21:** Esquema del funcionamiento de una celda de combustible SOFC[47]

### 2.7.2.5 Celdas de Combustible Alcalinas

Utilizadas desde hace mucho tiempo por la NASA en misiones espaciales, éste tipo de celdas pueden alcanzar eficiencias de generación eléctrica de hasta 70%. Estas celdas utilizan hidróxido de potasio como electrólito. Hasta hace poco tiempo eran demasiado costosas para aplicaciones comerciales pero varias compañías están

[47] U.S. Department Energy; Fuel cells. Energy Efficiency and Renewable Energy.

examinando formas de reducir estos costos y mejorar la flexibilidad en su operación. Figura 2-22.

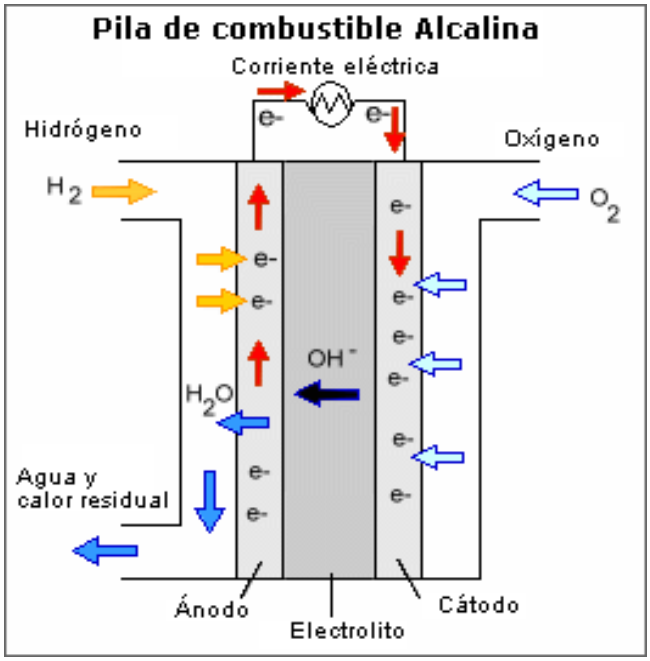



**Figura 2-22:** Esquema del funcionamiento de una celda de combustible Alcalina[48]

### 2.7.2.6 Otras Celdas de Combustible

Nuevos miembros de la familia de celdas de combustible, tales como las de metanol directo, pueden surgir como resultado en laboratorios privados y gubernamentales.

## 2.8 CELDAS DE COMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE

Las Celdas de Combustible podrían reemplazar a los motores de combustión interna en automóviles, autobuses, camiones y aún embarcaciones y locomotoras. Autobuses y autos trabajando con celdas de combustibles se encuentran ya funcionando (Figura 2-23). Las celdas de combustible podrían dar la potencia del súper auto del mañana, limpios, silenciosos y más eficientes que los autos a

[48] U.S. Department Energy; Fuel cells. Energy Efficiency and Renewable Energy. Año 2011.

gasolina y menores tiempos de recarga de combustible que los autos eléctricos movidos por baterías. Los beneficios serían extraordinarios en términos de seguridad de energía, aire limpio y la creación de cientos de miles de empleos. Cientos de compañías en todo el mundo están trabajando en celdas de combustible. Las bases son fuertes, el país que desarrolle tecnología para celdas de combustible tendrá la llave para la siguiente generación de producción de energía[49].

**Figura 2-23:** Auto con motor de hidrógeno y depósito con células de combustible[50]

## 2.9 ELECTRÓLISIS

La electrólisis es un método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad: se produce en primer lugar la descomposición en iones, seguido de diversos efectos o reacciones secundarias según los casos concretos. Etimológicamente electrólisis procede de dos palabras, “electro” que hace referencia a electricidad y “lisis” que significa rotura. El proceso electrolítico

[49] Alexander Wokaun, Erick Wilhem: Transition to Hydrogen, Año 2011.
[50] E-RENOVABLE http://erenovable.com/ http://espaciococoches.com/2006/05/cmo-funciona-el-motor-de-hidrgeno.html , Mayo 2006.

consiste en lo siguiente aplicar una corriente eléctrica a un par de electrodos conductores colocados en una solución, como se observa en la Figura 2-24. El electrodo cargado negativamente se conoce como cátodo, y el cargado positivamente como ánodo. Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, o cationes, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos, o aniones, se desplazan hacia el ánodo. La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos, proviene de una fuente de potencia eléctrica que mantiene la diferencia de potencial en los electrodos.

En los electrodos, los electrones son absorbidos o emitidos por los iones, formando concentraciones de los elementos o compuestos deseados. Por ejemplo, en la electrólisis del agua, se forma hidrógeno en el cátodo, y oxígeno en el ánodo. Esto fue descubierto en 1820 por el físico y químico inglés Michael Faraday[51]. En la Figura 2-25 se aprecia la disposición de los átomos en una molécula de agua.

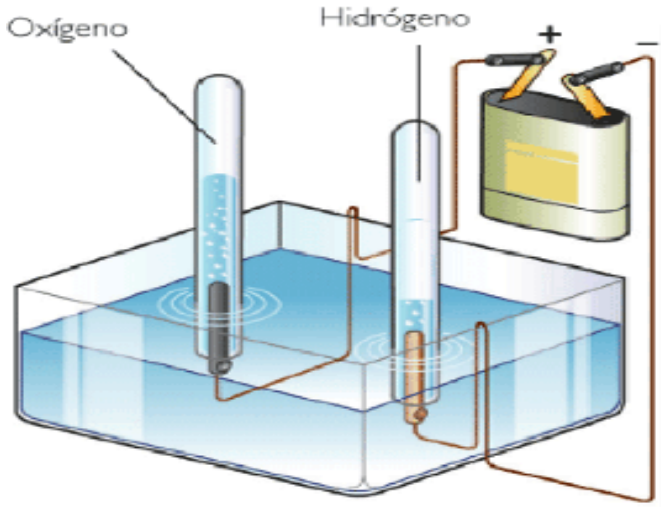



**Figura 2-24:** Elementos constitutivos en el proceso electrolítico[52]

[51] Christopher M. A. Brett: "Electrochemistry: Principles, Methods, and Applications (Oxford Science Publications)" Oxford University Press, USA (July 22, 1993)
[52] Enciclopedia Kalipedia, Editorial Santillana. http://www.kalipedia.com/

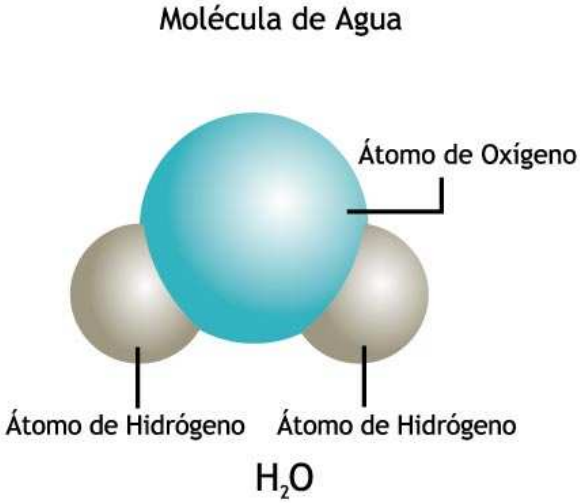



**Figura 2-25:** Representación de una molécula de Agua[53]

La electrólisis del agua es la descomposición de agua ($H_2O$) en gas de oxígeno ($O_2$) e hidrógeno ($H_2$) por medio de una corriente eléctrica a través del agua. Este proceso electrolítico es raramente usado en aplicaciones industriales debido a que el hidrógeno puede ser producido a menor costo por medio de combustibles fósiles.

Una fuente de poder eléctrica es conectada a dos electrodos, o dos platos (típicamente hechos de algún metal inerte como el platino o acero inoxidable), los cuales son puestos en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el cátodo (el electrodo negativamente cargado, donde los electrones son bombeados al agua), y oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado). La cantidad de hidrógeno generado es el doble que la de oxígeno, y ambas son proporcionales al total de carga eléctrica que fue enviada por el agua. Sin embargo, en varias celdas las reacciones del lado competidor dominan, resultando en diferentes productos.

La electrolisis de agua pura requiere una gran cantidad de energía extra para romper varias barreras de activación. Sin esa energía extra la electrólisis de agua pura ocurre muy lentamente si es que logra suceder. Esto es en parte debido a la limitada autoionización del agua. El agua pura tiene una conductividad eléctrica alrededor de una millonésima parte de la del agua de mar. Varias celdas

[53] Enciclopedia Kalipedia: http://ec.kalipedia.com/graficos/molecula-agua.html?x=20070417klpcnatun_83.Ees

electrolíticas pueden no tener los electro catalizadores requeridos. La eficacia de la electrólisis aumenta con la adición de un electrolito (Figura 2-26) (como la sal, un ácido o una base) y el uso de electro catalizadores.

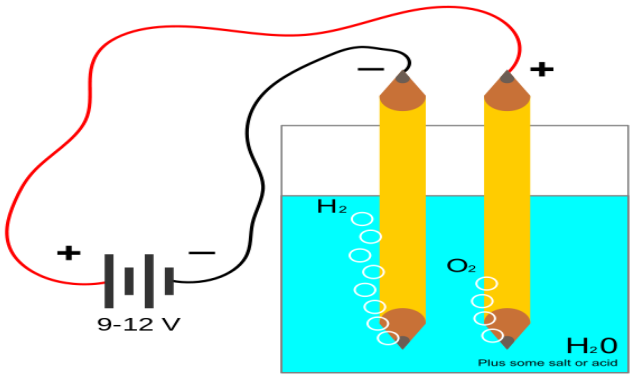



**Figura 2-26:** Electrólisis del Agua con el uso de un electrolito[54]

## 2.10 PROPIEDADES DEL GAS Y NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

En los proyectos relacionados con el hidrógeno existe la necesidad de implementar medidas de seguridad que permitan identificar los peligros que presenta el hidrógeno de manera que puedan evaluarse y compararse con aquellos que presentan otros combustibles. Por los motivos anteriormente mencionados se debe tener en cuenta parámetros de seguridad y limpieza al momento de usar hidrógeno como combustible.

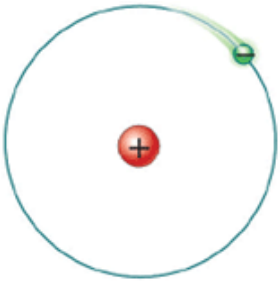
### 2.10.1 PROPIEDADES FÍSICAS[55]

Primer elemento de la tabla periódica. En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto de moléculas diatómicas, $H_2$. El átomo de hidrógeno, símbolo **H**, consta de un núcleo de unidad de carga positiva y un solo electrón. El hidrógeno es un gas extremadamente inflamable. En contacto con cantidades de aire superiores al 4%, una mínima aportación de energía es suficiente para generar

[54] Alexander Wokaun, Erick Wilhem: Transition to Hydrogen, Año 2011.
[55] Xing L. Yan, Ryutaro Hino, Nuclear Hydrogen Production Handbook, Año 2011

su combustión. Es muy volátil, se difunde fácilmente. Su llama es prácticamente invisible. Es un asfixiante simple. Existen 3 isótopos del hidrógeno.

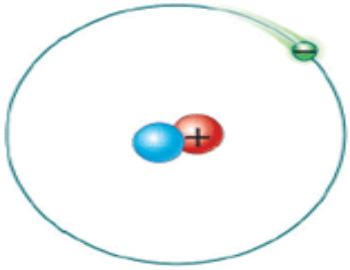
a) El **protio**, de masa 1, que se encuentra en más del 99.98% del elemento natural y cuyo núcleo está compuesto únicamente por un protón, como lo indica la Figura 2-27.



Hidrógeno $^{1}_{1}H$
1 protón
1 electrón

**Figura 2-27:** Protio

b) El **deuterio**, de masa 2, que se encuentra en la naturaleza aproximadamente en un 0.02%, su núcleo contiene un protón y un neutrón, como lo indica la Figura 2-28, y



Deuterio $^{2}_{1}H$
1 protón
1 electrón
1 neutrón

**Figura 2-28:** Deuterio

c) El **tritio**, de masa 3, que aparece en pequeñas cantidades en la naturaleza, pero que puede producirse artificialmente por medio de varias reacciones nucleares, su núcleo consta de un protón y dos neutrones, como lo muestra la Figura 2-29.

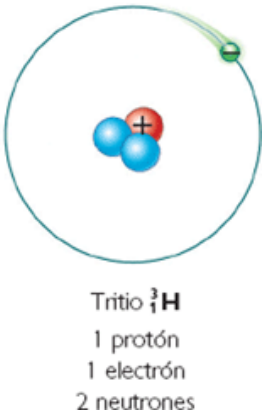



**Figura 2-29:** Tritio

#### 2.10.1.1 Estado

El hidrógeno es el segundo elemento de la tabla periódica que dispone de los puntos de ebullición y de fusión más bajos, después del helio. Se encontrará en estado líquido por debajo de su punto de ebullición, a – 252,77 ºC, y se encontrará en estado sólido por debajo de su punto de fusión, a – 259,2 ºC y presión atmosférica[56].

#### 2.10.1.2 Olor, color y gusto

El hidrógeno puro es inodoro, no tiene color y es insípido. Si se produjese un escape de hidrógeno, éste resultaría casi invisible en la luz del día. El hidrógeno obtenido a partir de otros combustibles fósiles viene acompañado generalmente por nitrógeno ($N_2$), dióxido de carbono ($CO_2$), monóxido de carbono (CO) y otros gases. Todos ellos son también en la mayoría de casos inodoros, descoloridos e insípidos.[57]

#### 2.10.1.3 Toxicidad

El hidrógeno en si no resulta tóxico, pero puede actuar como asfixiante ya que desplaza el oxígeno que se encuentra en el aire. Los niveles de oxígeno por debajo

[56] John S. Rigden: Hydrogen The Essential Element, Año 2003.
[57] John S. Rigden: Hydrogen The Essential Element, Año 2003.

del 19,5% resultan insuficientes para los seres humanos. Los efectos de la deficiencia de oxígeno pueden incluir la hiperventilación, una disminución de las capacidades mentales, coordinación muscular deteriorada, falta de juicio, depresión, inestabilidad emocional y fatiga. Con concentraciones inferiores al 12% de oxígeno, se produce inconsciencia inmediata, sin síntomas de alerta anteriores. Es por eso que se debe tener precaución en caso de manipular hidrógeno en recintos pequeños y cerrados, ya que una fuga podría llegar a causar la muerte por asfixia[58].

#### 2.10.1.4 Densidad

La densidad es medida como la cantidad de masa contenida por volumen de unidad. El valor de la densidad tendrá significado únicamente en una temperatura y presión especificadas, ya que ambos parámetros afectan a la compacticidad del enlace molecular, especialmente en los gases. La densidad de un gas se denomina densidad de vapor, mientras que la densidad de un líquido se denomina densidad líquida. El hidrógeno dispone de una densidad en estado gaseoso (a 20ºC y 1 atm) de 0,08376 kg/m3; y una densidad líquida de 0,0708 kg/l.[59]

#### 2.10.1.5 Volumen específico

El volumen específico es el inverso de la densidad y expresa la cantidad de volumen por unidad de masa. Así, el volumen específico de gas de hidrógeno (con unas condiciones de 20ºC y 1 atm) es de 11,9 $m^3$/kg, mientras que el volumen específico del hidrógeno líquido (a – 253ºC y 1 atm) es de 0,014$m^3$/kg.[60]

#### 2.10.1.6 Relación de expansión

Cuando el hidrógeno se almacena como un líquido, se evapora durante su expansión a condiciones atmosféricas, con un aumento correspondiente en su

[58] John S. Rigden: Hydrogen The Essential Element, Año 2003.
[59] John S. Rigden: Hydrogen The Essential Element, Año 2003.
[60] John S. Rigden: Hydrogen The Essential Element, Año 2003.

volumen. La relación de expansión del hidrógeno es de 1:848, y significa que el hidrógeno, en su estado gaseoso en condiciones atmosféricas, ocupa 848 veces más que cuando se encuentra en estado líquido. Cuando el hidrógeno se almacena como un gas a alta presión (250 barg) a temperatura atmosférica, su relación de expansión a presión atmosférica es de 1:240.[61]

### 2.10.2 NORMAS DE UTILIZACIÓN

Para la correcta utilización del hidrógeno como combustible se deben tomar en cuenta normas seguridad industrial, las cuales tienen que cumplir para evitar intoxicaciones o accidentes, producto de la inhalación excesiva o por causa de explosión del gas.

#### 2.10.2.1 Conservación[62]

- El lugar limpio, eliminando papeles, aceites, vegetación.
- Los accesos deben estar siempre libres.

#### 2.10.2.2 Prohibición en áreas de utilización de hidrógeno[63]

- Llamas desnudas, fumar, superficies calientes, elementos creadores de electricidad estática o chispas.
- La utilización de la instalación para otro uso que no sea el del gas indicado.
- Almacenar materiales ajenos al funcionamiento de la instalación.

#### 2.10.2.3 Verificación[64]

- Sólo el personal autorizado tiene acceso a la instalación.
- El buen estado de los equipos de prevención contra incendios.
- La existencia de las consignas escritas y de la Hoja de Seguridad del hidrógeno $H_2$ líquido o gaseoso, **Anexo A.5.1** y **Anexo A.5.2**.

---

[61] John S. Rigden: Hydrogen The Essential Element, Año 2003.
[62] Boletín Informativo de Air Liquide España, Especial hidrógeno, Artículo No. 19, Abril 2006.
[63] Boletín Informativo de Air Liquide España, Especial hidrógeno, Artículo No. 19, Abril 2006.
[64] Boletín Informativo de Air Liquide España, Especial hidrógeno, Artículo No. 19, Abril 2006.

- Cualquier modificación alrededor de la instalación es compatible con la legislación en vigor.
- Dentro de la instalación se usan herramientas y equipos ATEX (anti-chispas).
- En caso de ser preciso está conectada la línea de tierra.
- El uso de protección individual especial si se va a trabajar en el interior de la instalación.
- Los venteos se hagan hacia zonas seguras.
- Los sistemas de alarma y detección son operativos, se mantienen y se revisan periódicamente.
- Si se tienen que abrir o cerrar válvulas, se haga lentamente.
- La disponibilidad y operatividad del suministro de agua contra incendios.
- El personal que manipula ésta instalación esté debidamente formado e informado sobre los riesgos, las medidas preventivas y la propia instalación.

#### 2.10.2.4 Normas de actuación en caso de emergencia – Fuga[65]

- No fumar, no provocar chispas o llamas.
- Si es posible, cerrar válvula de alimentación; verificando antes la dirección de la fuga y acercándose por el lado opuesto.
- Si existe sistema de purgado con $N_2$, se debe activarlo.
- Si la fuga está inflamada, activar emergencias, cortar la fuente si es posible.
- Si existe calentamiento de equipos, enfriar con agua a una distancia de seguridad.
- Utilice los equipos de protección individual necesarios.
- Las fugas inflamadas son casi invisibles.
- Alertar a los responsables del mantenimiento de esta instalación y en caso necesario a los equipos de emergencia.
- Salir de la zona de peligro, estableciendo un perímetro de seguridad.

[65] Boletín Informativo de Air Liquide España, Especial hidrógeno, Artículo No. 19, Abril 2006.

En la Figura 2-30 se indican los símbolos de seguridad industrial que deben estar presentes en los laboratorios donde se trabaja con hidrógeno o en el lugar donde se produce el gas a gran escala.

**Figura 2-30:** Símbolos de Seguridad Industrial para el uso y manejo de hidrógeno[66]

[66] Boletín Informativo de Air Liquide España, Especial hidrógeno, Artículo No. 19, Abril 2006.

# CAPÍTULO III

# PRUEBAS EN BANCO DE MOTOR CICLO OTTO

El presente capítulo, expone el procedimiento para las pruebas realizadas en banco de motor perteneciente al CCICEV, el cual es un Laboratorio de Investigación Tecnológica adjunto a la Escuela Politécnica Nacional, encargado de realizar investigación en lo referente a emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles y efectuar el análisis de nuevas tecnologías para mejorar el consumo de combustibles, todas éstas actividades son desarrolladas con el objetivo de precautelar el cuidado del Medio Ambiente y la salud de la comunidad.

## 3.1 TIPOS DE PRUEBAS

### 3.1.1 OBJETIVO

El objetivo de las pruebas es lograr al análisis de emisiones contaminantes, consumo de combustible, medición de potencia y torque de un motor Otto, con combustible convencional y con hidrógeno como combustible de aporte, realizar gráficas de comparación entre los resultados obtenidos para cada combustible en línea base y con adición de hidrógeno como combustible.

Para la realización de las pruebas, en ésta Tesis de Grado se evalúan dos motores en el banco, cuyas características se describen en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Bancos de Motor Otto pertenecientes al CCICEV

| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | MOTOR 1 | MOTOR 2 |
|---|---|---|
| **Banco de Motor** | Otto | Otto |
| **Marca** | Mitsubishi | Lada |
| **Cilindraje** | 2200 $cm^3$ | 2000 $cm^3$ |
| **Combustible** | Gasolina Extra | Gasolina Súper |
| **Sistema de alimentación de combustible** | Carburador | Inyección |
| **Año de fabricación** | 1996 | 2003 |
| **Caja de Cambios** | Manual | Manual |

Las pruebas realizadas a los motores se describen a continuación.

1. Prueba Estática (TIS)
2. Prueba con carga en dinamómetro de motor
3. Prueba de consumo de combustible

La investigación se realiza en dos etapas, iniciando con una línea base (combustible puro) y la segunda con el aporte de hidrógeno al combustible, lo que permite obtener una comparación de la influencia que produce el hidrógeno al usarse como combustible adicional en motores de combustión interna ciclo Otto.

### 3.1.2 LÍNEA BASE SIN LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO

Una prueba de línea base, consiste en realizar la evaluación de torque, potencia, análisis de emisiones contaminantes y consumo de combustible en bancos de motor ciclo Otto (carburador e inyección electrónica), con combustible convencional, gasolina Extra y gasolina Súper.

### 3.1.3 PRUEBA CON LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO

La siguiente prueba con hidrógeno como combustible de aporte, consiste en hacer funcionar los bancos de motor ciclo Otto con combustible convencional gasolina Extra y gasolina Súper más el aporte del gas hidrógeno.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS

A continuación se describen las pruebas que se realizan durante la investigación a los motores a carburador e inyección.

### 3.2.1 PRUEBA TWO IDLE SPEED (TIS)

La prueba TIS realiza la evaluación de la medición de gases contaminantes emitidos por los motores ciclo Otto en Ralentí y a 2500 RPM sin carga. Los gases analizados son los siguientes: CO, $CO_2$, HC, $O_2$, NOx.

#### 3.2.1.1 Descripción de la prueba TIS

- **Procedimiento:**

  Las mediciones se realizan en condiciones de Ralentí y a 2500 RPM de acuerdo a la norma NTE INEN 2204 “Gestión ambiental. Aire. Límites permitidos de Emisiones producidas por Fuentes Móviles Terrestres a Gasolina.” En consideración a la norma NTE INEN 2204, para la realización de la prueba se tiene el siguiente procedimiento:

  **a)** Verificar el equipo de medición y la sonda de prueba mediante una prueba de fugas.
  **b)** Limpiar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se haya acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra de gas.
  **c)** Verificar el tubo de escape y el silenciador que no tengan fugas o estén rotos, caso contrario no se puede realizar la prueba TIS.
  **d)** Revisar que la transmisión del banco esté en neutro.
  **e)** Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación.
  **f)** Verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de operación alrededor de 70 [℃].
  **g)** Conectar el medidor de revoluciones por minuto (RPM) para motores ciclo Otto.
  **h)** Introducir la sonda de prueba en la salida del sistema de escape del motor.
  **i)** Asegurarse que la sonda permanezca fija dentro del tubo de escape mientras dure la prueba.

**j)** Esperar el tiempo de respuesta del equipo, aproximadamente 20 segundos para que se estabilicen las lecturas de medición.

**k)** Anotar los valores de los gases siguientes: CO, $CO_2$, HC, $O_2$, NOx.

**l)** Este procedimiento se aplica a ralentí y a 2500 RPM de giro del motor ciclo Otto.

**m)** Cuando se termine la medición, se debe sacar la sonda del tubo de escape, enrollar la manguera y guardarla.

**n)** De acuerdo a lo establecido por la norma NTE INEN 2204, el motor fue sometido a 5 pruebas, cada prueba cuenta de 2 mediciones (en ralentí y a 2500 RPM), éste procedimiento se realizará para cada tipo de combustible (gasolina y gasolina más hidrógeno)

- **Equipo Utilizado**

Para la realización de la prueba TIS (Two Idle Speed), se utilizó un analizador de cinco gases marca NEXTECH que mide CO, HC, $CO_2$, $O_2$ y NOx, además entrega la medición del factor lambda **λ**. La Figura 3-1 muestra un analizador de gases NEXTECH utilizado para la medición de los gases contaminantes.

Fuente: Propia

**Figura 3-1:** Analizador de gases NEXTECH[67]

[67] Equipo perteneciente al CCICEV

- **Especificaciones técnicas del analizador de gases NEXTECH**

En la Tabla 3-2 se presentan las especificaciones técnicas del analizador utilizado en las pruebas de emisiones contaminantes.

**Tabla 3-2:** Especificaciones técnicas analizador de gases

| | **NGA 6000** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Medición** | CO, HC, $CO_2$, $O_2$, Lambda (air surplus rate), AFR, NOx (opcional) | | | |
| **Método de medición** | CO, HC, $CO_2$: Método NDIR<br>$O_2$, NOx: Celda Electroquímica | | | |
| **Rango de medición** | **CO** | 0.00~9.99% | **HC** | 0~9999 ppm |
| **Resolución** | | 0.01% | | 1 ppm |
| **Pantalla** | | 4 dígitos, 7 segmentos LED | | 4 o 5 dígitos, 7 segmentos LED |
| **Rango de medición** | **$CO_2$** | 0.00~20.00% | **$O_2$** | 0.00~25.00% |
| **Resolución** | | 0.1% | | 0.01% |
| **Pantalla** | | 4 dígitos, 7 segmentos LED | | 4 dígitos, 7 segmentos LED |
| **Rango de medición** | **Lambda** | 0~2.000 | **AFR** | 0.0~99.0 |
| **Resolución** | | 0.001 | | 0.1 |
| **Pantalla** | | 4 dígitos, 7 segmentos LED | | 4 dígitos, 7 segmentos LED |
| **Rango de medición** | **NOx (opcional)** | 0~5000 ppm | | |
| **Resolución** | | 1 ppm | | |
| **Pantalla** | | 4 dígitos, 7 segmentos LED | | |
| **Repitibilidad** | Menos de ± 2 % FS | | | |
| **Tiempo de respuesta** | 10 s (en más del 90% de los casos) | | | |
| **Tiempo de calentamiento** | Entre 2 a 8 minutos | | | |
| **Cantidad de muestra recolectada** | 4~6 L/min | | | |
| **Dimensiones** | 420(W) x 298(D) x 180(H) mm | | | |
| **Peso** | 6.9 kg | | | |

Fuente: NEXTECH[68]

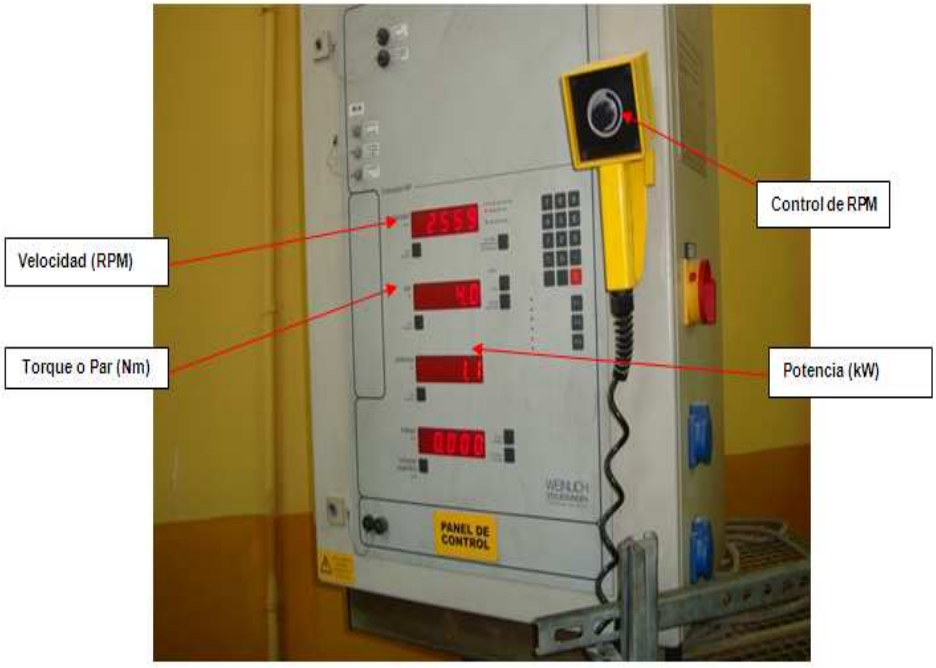
[68] Nextech: http://nextech.en.ec21.com/GAS_Analyzer--5_2044158.html

### 3.2.2 PRUEBA CON CARGA EN DINAMÓMETRO DE MOTOR

Sistema está conformado por un motor y un freno dinamométrico de corrientes parásitas en el cual se puede determinar el torque y la potencia a diferentes revoluciones con la aplicación de una carga proporcionada por el freno.

El banco de pruebas disponible en el CCICEV-EPN es un motor de carburador y uno de inyección electrónica. Se pueden realizar pruebas hasta 6000 RPM por un tiempo de 1 minuto, mientras las revoluciones por minuto (RPM), sean más bajas se puede aumentar el tiempo de funcionamiento del motor hasta 30 minutos de trabajo continuo.

En cuanto a la potencia se tiene un límite máximo de 30 Kw, también en funcionamiento de 1 minuto. En la Figura 3-2, Figura 3-3 y Figura 3-4 se muestran el panel de control del dinamómetro de motor, motor Otto a carburador y motor Otto a inyección respectivamente.




Fuente: Propia

**Figura 3-2:** Dinamómetro de Motor. Panel de control[69]

[69] Equipo perteneciente al CCICEV

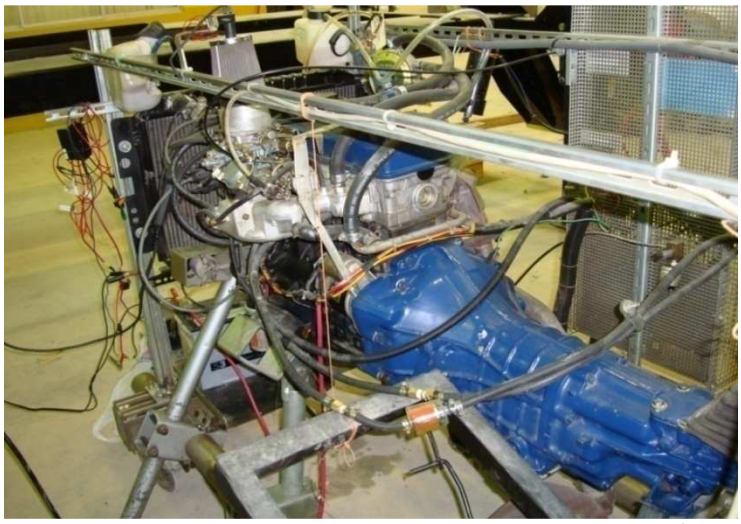
- **Especificaciones técnicas del dinamómetro de motor**

La Tabla 3-3 muestra las especificaciones técnicas del dinamómetro de motor utilizado para la realización de las pruebas dinámicas.

**Tabla 3-3:** Especificaciones técnicas del dinamómetro de motor

| Especificaciones | Dinamómetro |
|---|---|
| **Marca** | Weinlich Steuerungen |
| **Tipo** | MP 80 con ordenador |
| **Freno dinamométrico** | Freno de corrientes Foucault electromagnético |
| **Refrigeración** | Refrigerado por aire |
| **Gama de potencia** | 10 – 150 [kW] |
| **Cardan** | Transmisión para 800 [Nm] máximo |
| **Calibración** | Barra calibradora de 250 [Nm] |
| **Alimentación eléctrica** | 220 [V] de corriente trifásica |
| **Inercia de freno** | 0.6 [kg.m$^2$] |

Fuente: Weinlich GmbH & Co. KG[70]



Fuente: Propia

**Figura 3-3:** Banco de Motor Otto a carburador[71]

[70] Weinlich: http://www.weinlich.de/

La Figura 3-3 muestra al banco de motor Otto marca Mitsubishi modelo 1996, utilizado en la prueba dinámica de gases y consumo de combustible.

Fuente: Propia

**Figura 3-4:** Banco de motor Otto a inyección[72]

La Figura 3-4 muestra al banco de motor Otto marca Lada modelo 2003, utilizado en la prueba dinámica de gases y consumo de combustible.

### 3.2.2.1 Descripción de la prueba de medición de torque y potencia en dinamómetro de motor

Un dinamómetro permite una carga de frenado al motor, con lo que se consigue obtener la simulación de condiciones de trabajo que tendrá el mismo instalado y funcionando en un vehículo.

#### *3.2.2.1.1 Tipos de prueba*

El dinamómetro permite obtener curvas características de motor en las cuales se puede mantener constante la velocidad para valores que no sobrepasen las 6000

[71] Equipo perteneciente al CCICEV
[72] Equipo perteneciente al CCICEV

RPM y variar la carga con lo que se obtiene la gráfica del comportamiento de potencia y par. Es posible variar la velocidad y la carga. Con los resultados que se obtiene del equipo pueden ser graficadas curvas características para las diferentes marchas o relaciones de velocidad que tiene el motor, logrando mostrar varias condiciones de funcionamiento de este último.

**a) Potencia**

Al ser la potencia uno de los parámetros fundamentales en la consideración de un motor, el equipo determina curvas de esta respecto a la velocidad en RPM. Para la potencia el banco de pruebas acepta una carga hasta 30 kW. (40,23 hp), por un tiempo de funcionamiento continúo de 1 minuto, además dependiendo de la velocidad. Esto por motivos de sobrecarga y capacidad del equipo. Los valores de potencia pueden ser visualizados directamente en el display del equipo.

**b) Torque o par**

Al igual que la potencia, el torque o par puede ser graficado en función de la velocidad en RPM utilizando los valores visualizados en el display del equipo.

**c) Emisiones contaminantes**

La evaluación de la medición de gases contaminantes emitidos por los motores ciclo Otto (a carburador y a inyección) bajo carga mediante un freno dinamométrico se la realizó comenzando en un valor de 2500 RPM disminuyendo en 250 RPM hasta llegar a un valor de 1000 RPM. Los gases analizados son los siguientes: CO, $CO_2$, HC, $O_2$, NOx.

- **Procedimiento**

  Con el propósito de determinar el comportamiento de las curvas de torque y potencia del motor ciclo Otto, utilizando gasolina y gasolina con hidrógeno como combustible de aporte, se sigue el siguiente procedimiento:

**a)** Encender el dinamómetro de motor, y realizar la calibración del mismo con el peso de calibración.
**b)** Arrancar el motor del banco de pruebas de motores.
**c)** Realizar un calentamiento del motor previo a la ejecución de la prueba.
**d)** Poner la caja de cambios en cuarta marcha, con lo que obtenemos la relación 1 a 1.
**e)** Acelerar el motor hasta la velocidad de 2500 RPM.
**f)** Tomar los valores de torque y potencia que son visualizados en el display del dinamómetro.
**g)** Tomar los valores de emisiones contaminantes como son CO, $CO_2$, $O_2$, HC, NOx. que son visualizados en el display del analizador de gases.
**h)** Repetir los pasos 4, 5, 6 cada 250 RPM hasta disminuir a 1000 RPM.
**i)** Desacelerar el motor.
**j)** Repetir el procedimiento, para las pruebas con gasolina (Extra y Súper) más hidrógeno de aporte en el motor a carburador e inyección respectivamente.

### 3.2.3 PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El método aplicado para determinar el consumo de combustible se indica a continuación:

#### 3.2.3.1 Definición de la prueba consumo de combustible

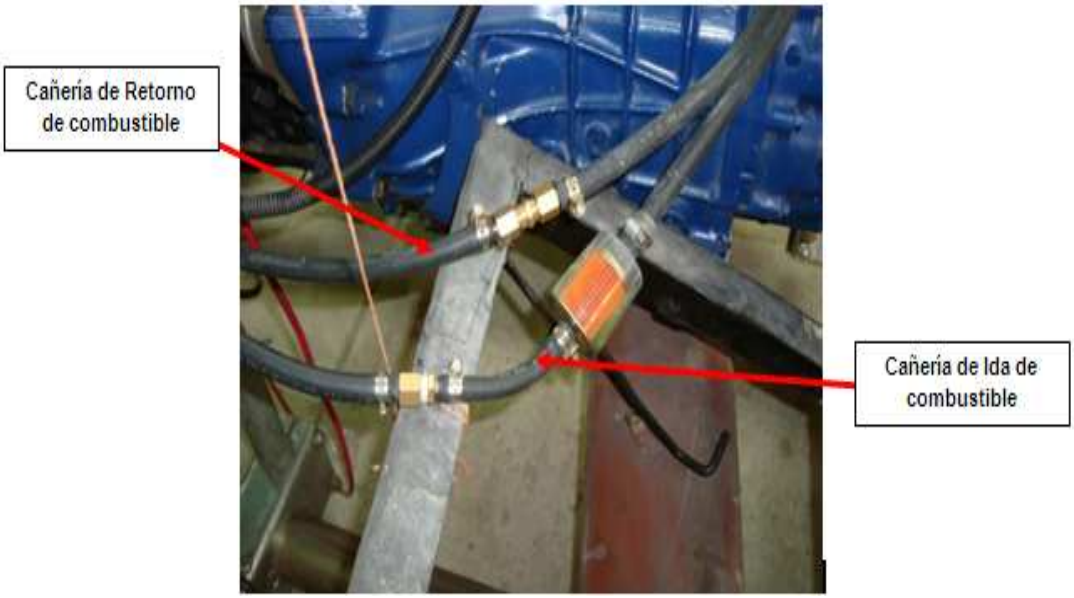
La prueba consiste en la medición del consumo de combustible que un motor utiliza al momento de su funcionamiento, éste consumo varía considerablemente al tomar motores con tecnología de carburación y con motores con tecnología de inyección electrónica.

### 3.2.3.2 Instalación de equipos medidores de caudal

Los equipos de medición de combustible deben ser colocados por personal especializado, el cual tenga pleno conocimiento en la identificación y ubicación de las cañerías de ida y retorno de combustible.

- **Procedimiento**

**a)** Identificar las cañerías de ida y retorno de combustible, como lo indica la Figura 3-5.




Fuente: Propia

**Figura 3-5:** Identificación de las cañerías de ida y retorno de combustible[73]

**b)** Verificar que las cañerías de ida y retorno de combustible se encuentren en buen estado.

**c)** Realizar la medición de las constantes de los flujómetros, es decir cuántos pulsos equivalen a un litro de combustible.

**d)** Asignar un flujómetro a la cañería de ida y un flujómetro a la cañería de retorno de combustible, el mismo que tiene que ser exclusivo para cada cañería y no se lo debe cambiar.

[73] Equipo perteneciente al CCICEV

**e)** Verificar que no existan fugas de combustible en los acoples de las mangueras con el flujómetros, si se da el caso se debe hermetizar las conexiones con teflón.

**f)** Conectar los display contadores o totalizadores a los flujómetros, los mismos que van a ser los encargados de mostrar los valores en pulsos de consumo de combustible.

**g)** Tomar los valores de consumo de combustible tanto en la cañería de entrada al motor como en el retorno al tanque de combustible mediante el uso de los Totalizadores.

**Equipo utilizado**

- **Flujómetros**

Los Figura 3-6 muestra los flujómetros utilizados en el desarrollo del presente estudio fueron utilizados para medir el consumo de combustible.

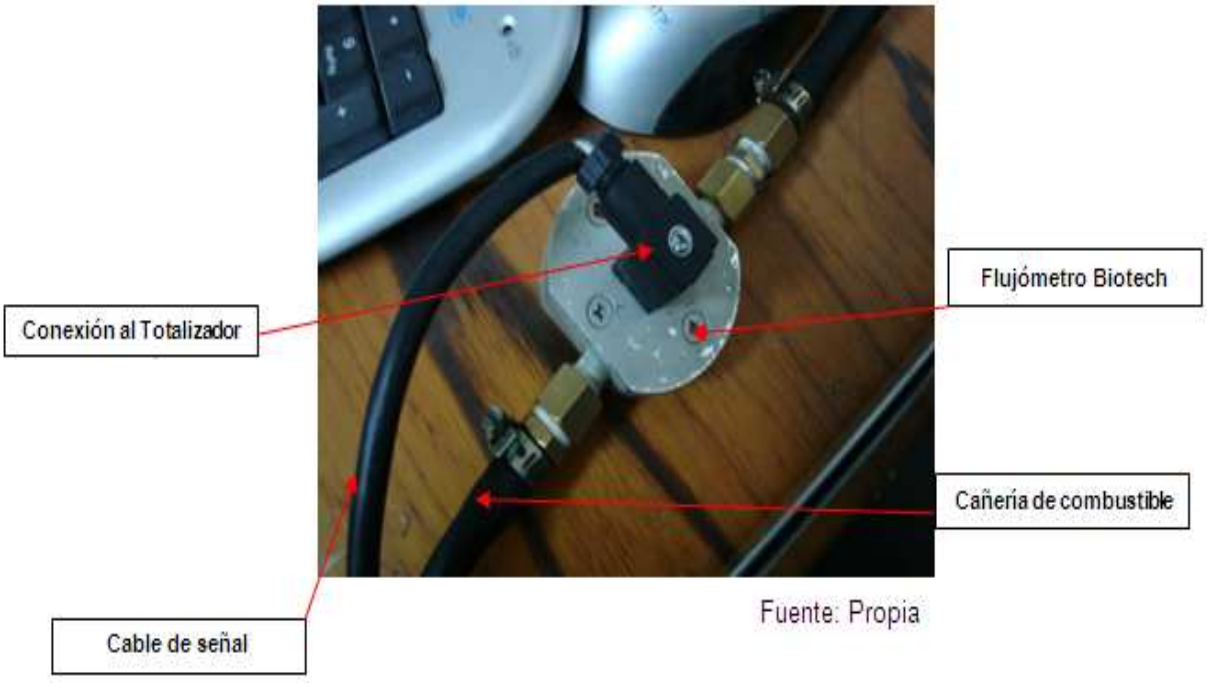



**Figura 3-6:** Flujómetro Biotech[74]

[74] Equipo perteneciente al CCICEV

- **Descripción del equipo de medición de caudal**

En la Tabla 3-4 se presenta las especificaciones técnicas de los medidores de combustible o flujómetros utilizados en la prueba de medición de consumo en los bancos de motor a carburador y a inyección.

**Tabla 3-4:** Especificaciones técnicas de Flujómetros

| **Especificaciones técnicas** | **Flujómetro** | |
|---|---|---|
| Marca | Biotech | |
| Tipo | FCH-m-ALU | |
| Número de pulsos | 1800 pulsos / litro | |
| Líquidos apropiados | Gasolina, diesel, aceite vegetal, aceites, alcohol. | |
| Rango de flujo (min./max.) U.S. / gal | 0.01 GMP | 2.11 GMP |
| Presión (min./max.) | 0 psi (0 bar) | 435 psi (30 bar) |
| Temperatura de operación (min./max.) | 14 ℉ (-10 ℃ ) | 194 ℉ (90 ℃) |
| Material / Rotor / O-Ring | Aluminium / PVDF / FKM | |
| Conector | 2 x G 1/8" rosca hembra BSP | |
| Conector eléctrico | Conector IP 65 | |
| Señal de salida / onda cuadrada | Colector abierto hundido NPN | |

Fuente: Biotech[75]

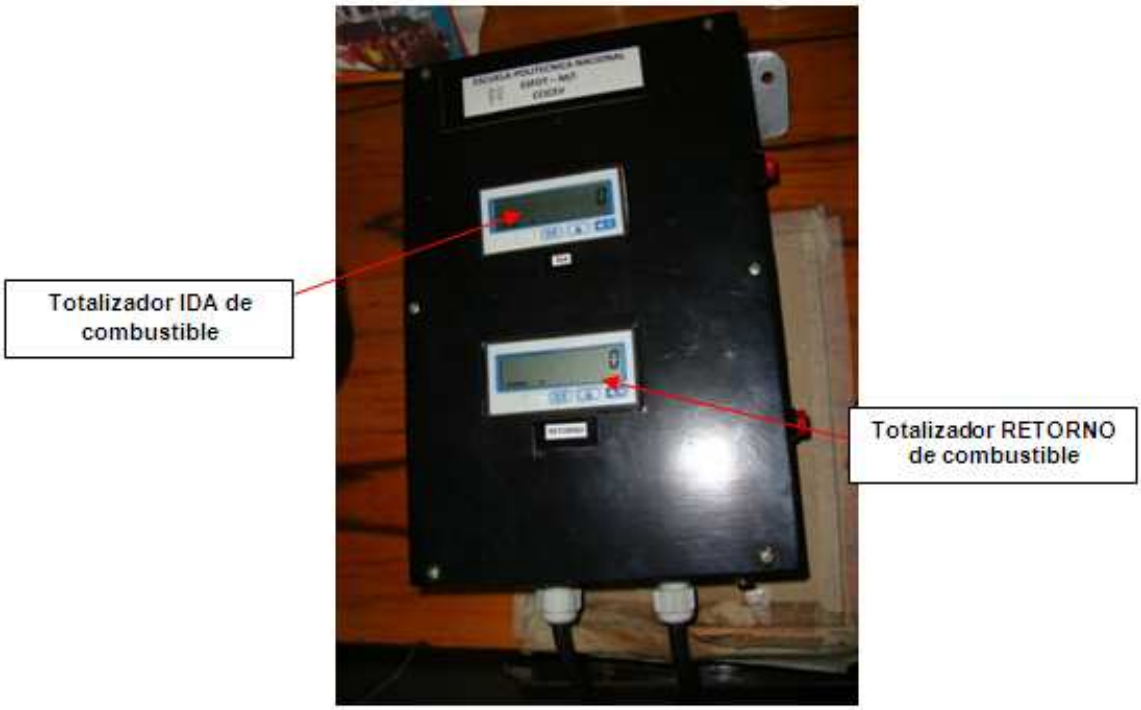
[75] Biotech: http://www.btflowmeter.com/en/home.html

- **Totalizadores o Displays**

  Los displays Biotech son los dispositivos que permiten la visualización de la medición proveniente de los flujómetros colocados en las cañerías de ida y retorno de combustible respectivamente.

  La figura 3-7 indica la caja de displays totalizadores en donde se encuentran el display de ida de combustible desde el tanque reservorio al motor y el display de retorno de combustible no utilizado por el motor en la combustión hacia el tanque reservorio.

  La medición se la puede realizar de dos formas: mediante pulsos por litro de combustible ó mediante caudal es decir litro por minuto.




Fuente: Propia

**Figura 3-7:** Displays Totalizador[76]

[76] Equipo perteneciente al CCICEV

- **Procedimiento de obtención de las constantes de los flujómetros**

a) Asignar un flujómetro para la cañería de ida de combustible y otro flujómetro para la cañería de retorno de combustible, el cual debe ser exclusivo y no debe ser cambiado por ningún motivo, salvo si alguno presentara mal funcionamiento.
b) Conectar el cable de señal del totalizador al flujómetro.
c) Seleccionar la forma de medición de los totalizadores. Pulsos.
d) Llenar la probeta con un litro de combustible.
e) Hacer pasar el litro de combustible por el flujómetro en la dirección de flujo correcta.
f) Así se visualizará en la pantalla del totalizador la cantidad de pulsos equivalentes a un litro de combustible (1L).
g) Repetir la medición cinco veces al mismo flujómetro.

h) Obtener un promedio de los valores anteriormente obtenidos, el cual será el valor de pulsos por litro de combustible equivalente a la constante del flujómetro.
i) Las constantes de los flujómetros no son las mismas para todos, por tal motivo se obtendrá una constante para el flujómetro de ida y otra constante para el flujómetro de retorno.

### 3.2.4 INSPECCIÓN MECÁNICA DE LOS MOTORES SELECCIONADOS

La inspección mecánica de los motores de prueba se realiza inicialmente verificando el estado actual de cada uno de los mismos, inspeccionando los sistemas mecánicos y eléctricos fundamentalmente, así como comprobar la calibración de los equipos de medición con el objeto de obtener resultados confiables. El protocolo de pruebas para la evaluación de un motor es el siguiente.

- **Protocolo de pruebas**

**Estado eléctrico del motor:**

a) Verificar el estado de la batería y que tenga el voltaje de 12 [V].
b) Revisar el estado de las bujías.
c) Inspección visual de los cables de bujías.
d) Medición de la resistencia de los cables de las bujías.

**Estado del sistema de alimentación de combustible:**

a) Realizar el cambio del filtro de combustible.
b) Limpiar el interior del carburador en el caso del motor a carburador.
c) Realizar el cambio del filtro de aire.

**Estado del sistema de escape de gases de combustión:**

a) Revisar el empaque del múltiple de escape.
b) Verificar que el tubo de escape no presente orificios.
c) Verificar el estado del silenciador, que no esté roto.

**Estado del sistema de refrigeración:**

a) Verificar que el radiador no presente fugas de refrigerante.
b) Realizar el cambio del refrigerante.
c) Verificar el estado del termostato.
d) Inspeccionar que la bomba de agua no presente fugas.
e) Revisar el estado de mangueras y abrazaderas de sujeción del sistema de refrigeración.

**Medición de la compresión de los cilindros:**

La prueba de compresión debe ser realizada a la temperatura normal de funcionamiento del motor. Los pasos necesarios para realizar la prueba son los siguientes.

a) Poner en funcionamiento el motor hasta que alcance la temperatura normal de trabajo.
b) Apagar el motor.
c) Desconectar el cable de bujía No.1, marcándolo para no perder el orden de encendido.
d) Desconectar todos los cables de bujía y desmontar la bujía $N_o$ 1.
e) Colocar el compresómetro en el cilindro correspondiente a la bujía $N_o$ 1 cuidando que al conectarlo éste tape por completo el orificio donde se instala la bujía en la cabeza del motor.
f) Colocar el acelerador en la posición totalmente abierta.
g) Intentar de arrancar el motor por unos segundos con el acelerador a fondo, es decir girar la llave para dar marcha al motor.
h) Anotar la presión indicada por el manómetro en el check list correspondiente al motor.
i) Volver a colocar la bujía y repetir los dos pasos anteriores en el resto de los cilindros.

## 3.3 INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO

Un generador electrolítico de hidrógeno es el encargado de separar el agua en sus elementos constitutivos mediante la aplicación de una alta cantidad de energía eléctrica, la Figura 3-8 indica las partes que conforman un generador electrolítico de hidrógeno.

Fuente: Propia

**Figura 3-8:** Partes de un generador electrolítico de hidrógeno[77]

- **Generador electrolítico de hidrógeno**: es el encargado de separar los elementos constitutivos del agua en gas oxígeno y gas hidrógeno.

- **Interruptor/Caja de Control**: mediante el cual se da paso a la corriente eléctrica proveniente de la batería al generador de hidrógeno.

- **Reservorio de agua**: el cual contiene agua que va ser separada en el generador electrolítico. El tipo de agua a ser utilizada es agua destilada debido a que han sido eliminadas todas las impurezas en un proceso llamado destilación. Es conveniente añadir un electrolito puesto que contiene iones libres los cuales se comportan como medio conductor eléctrico.
- **Tipos de electrolitos:** Entre los electrolitos más comunes utilizados en procesos de electrólisis se tiene los que se ionizan totalmente en solución acuosa al pasar corriente eléctrica como las ácidos, como $H_2SO_4$, HCl, $HNO_3$, también se pueden utilizar algunas sales iónicas como el NaCl, LiCl, KCl.

- **Vaporizador**: retiene al vapor condensado.

A continuación se indica los pasos a seguir para la instalación del equipo de generación de hidrógeno, se debe tomar muy en cuenta la forma de conexión del

[77] Equipo perteneciente al CCICEV

equipo, para evitar accidentes como choques eléctricos o quemaduras por el calentamiento de los cables.

- **Procedimiento**

a) Verificar el estado de la batería del vehículo, que se encuentre con carga y con un voltaje de 12 [V].
b) Conectar a los terminales del generador electrolítico de hidrógeno los cables que conducen la energía eléctrica desde la batería al generador de hidrógeno. Figura 3-9.

**Figura 3-9:** Partes de un generador electrolítico de hidrógeno[78]

c) Conectar el interruptor en la línea del positivo del cable proveniente de la batería.
d) Conectar la parte superior del generador electrolítico al reservorio de agua como lo indica la Figura 3-11.
e) Conectar los cables de conducción eléctrica del generador de hidrógeno a los bornes de la batería. Figura 3-10.

[78] Equipo perteneciente al CCICEV

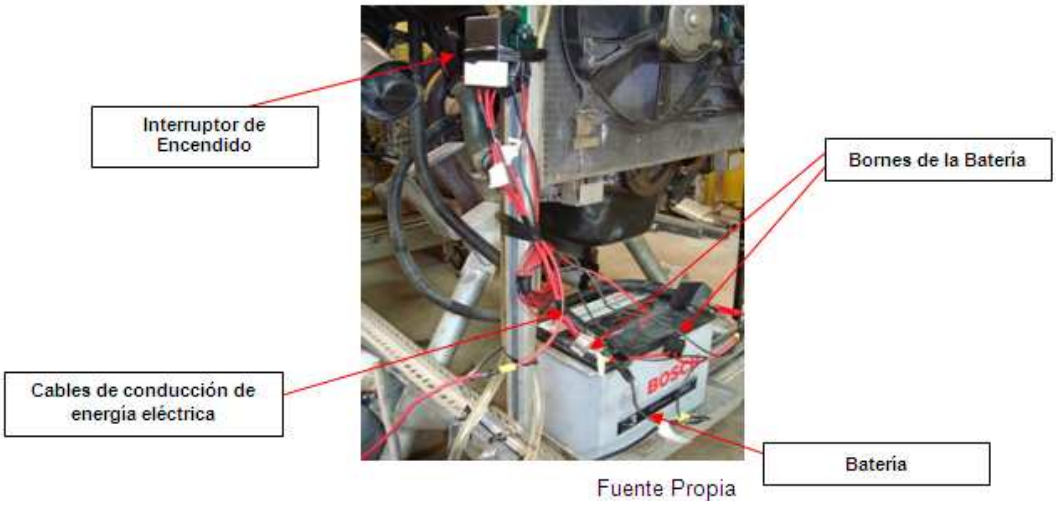



**Figura 3-10:** Elementos del sistema eléctrico de un generador de hidrógeno

f) Identificar la línea de admisión o aspiración de aire del motor, al cual debe ir conectada la manguera proveniente del vaporizador y del reservorio de agua.

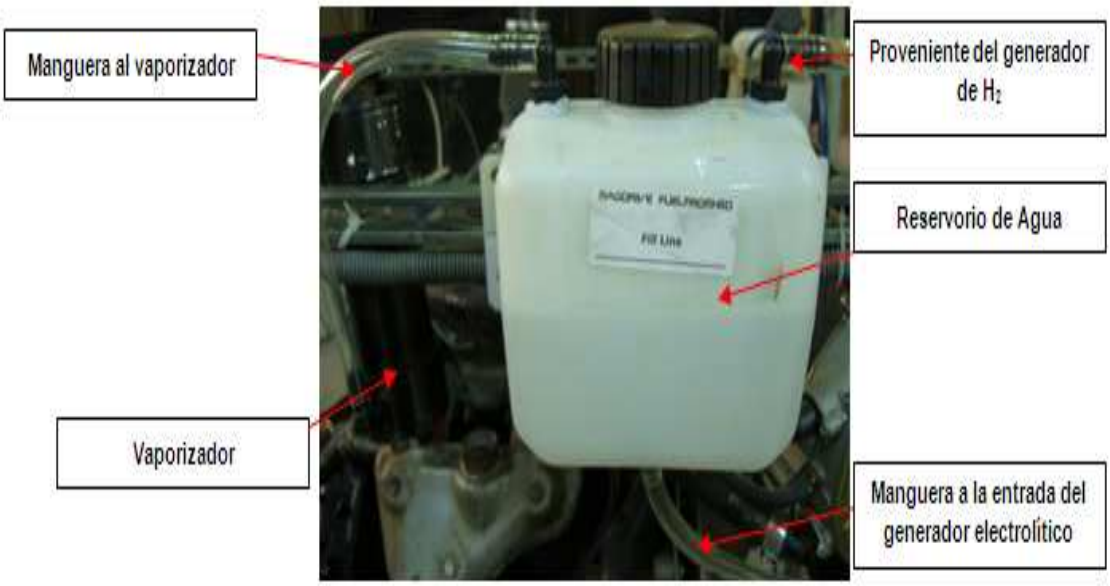



**Figura 3-11:** Generador de hidrógeno[79]

[79] Equipo perteneciente al CCICEV

El presente esquema, describe detalladamente las partes y conexiones de un generador electrolítico H2.

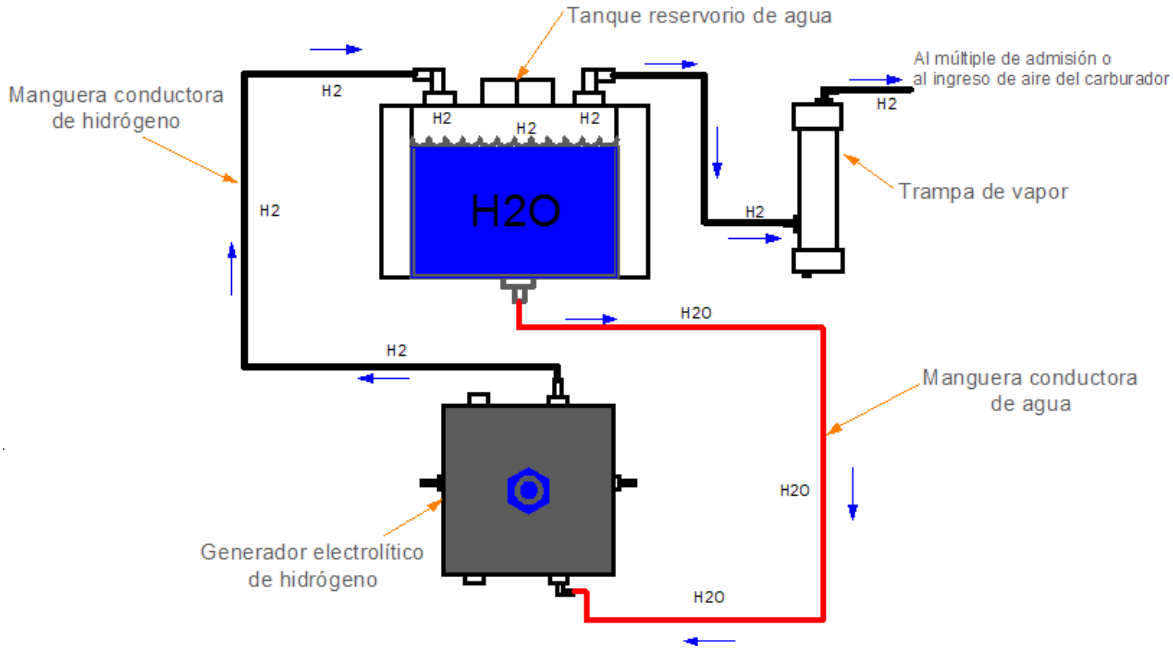



**Figura 3-12:** Diagrama de un generador electrolítico de hidrógeno[80]

[80] Fuente propia

# CAPÍTULO IV

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo muestra el análisis de los resultados y gráficos correspondientes a las pruebas: estática, en banco y de consumo, realizadas al motor a carburador y motor a inyección, los mismos que fueron probados con gasolinas Extra/Súper y gasolinas Extra/Súper más hidrógeno.

En adelante, para el análisis de los resultados del presente capítulo se considera lo siguiente:

- Gasolina Extra: mezcla M1.
- Gasolina Extra más la adición de hidrógeno: mezcla M2.
- Gasolina Súper: mezcla M3.
- Gasolina Súper más la adición de hidrógeno: mezcla M4.

Las mezclas M1 y M2, se utilizan en las pruebas realizadas al motor a carburador y las mezclas M3 y M4 se utilizan en el motor a inyección.

## 4.1 PRUEBAS EN BANCO DE MOTOR

Las pruebas efectuadas durante el desarrollo de la investigación, son las siguientes:

- Prueba Two Idle Speed ó Prueba Estática:
- Banco de Pruebas (Torque, Potencia).
- Prueba de consumo de combustible.

La Tabla 4-1 muestra un resumen de las pruebas efectuadas a los motores ciclo Otto, en los bancos que dispone el Centro de Transferencia Tecnología CCICEV-EPN.

**Tabla 4-1:** Resumen de pruebas efectuadas

| MOTOR | COMBUSTIBLE | TIS | Banco de pruebas Dinamómetro | Consumo de combustible |
|---|---|---|---|---|
| CARBURADOR 1996 | EXTRA | ✓ | ✓ | ✓ |
| | EXTRA/$H_2$ | ✓ | ✓ | ✓ |
| INYECCIÓN 2003 | SUPER | ✓ | ✓ | ✓ |
| | SUPER/$H_2$ | ✓ | ✓ | ✓ |

Elaboración: Propia

### 4.1.1 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A CARBURADOR CON EL USO DE GASOLINA EXTRA Y GASOLINA EXTRA MÁS HIDRÓGENO

De acuerdo al procedimiento establecido en el Capítulo III, referente al motor de carburador, se efectúan cinco pruebas cuyos resultados se muestran en el **Anexo A2.1** y el análisis de los mismos se realiza considerando el valor promedio de cada prueba, en adelante la gasolina extra se denominará M1 y la gasolina extra con aporte de hidrógeno se denominará M2.

#### 4.1.1.1 Prueba Two Idle Speed (TIS)

Las pruebas Two Idle Speed (TIS) ó prueba estática, consiste en las siguientes pruebas:

- Emisiones contaminantes en Ralentí
- Prueba a 2500 RPM

#### *4.1.1.1.1 Emisiones contaminantes en Ralentí*

Los valores presentados en la Tabla 4-2, corresponden a los resultados obtenidos en la prueba en Ralentí, del motor a carburador con el uso de las mezclas M1 y M2.

**Tabla 4-2:** Resultados de la prueba en Ralentí para las mezclas M1 y M2

| PRUEBA RALENTÍ M1 PROMEDIO | |
|---|---|
| **Contaminante** | **Ralentí** |
| **CO (%V)** | 0,29 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,10 |
| **HC (ppm)** | 259,50 |
| **$O_2$ (%V)** | 1,97 |
| **λ** | 1,078 |
| **NOx (ppm)** | 141,17 |
| **RPM** | 800 |

| PRUEBA RALENTÍ M2 PROMEDIO | |
|---|---|
| **Contaminante** | **Ralentí** |
| **CO (%V)** | 0,34 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,10 |
| **HC (ppm)** | 139,67 |
| **$O_2$ (%V)** | 2,18 |
| **λ** | 1,100 |
| **NOx (ppm)** | 151,17 |
| **RPM** | 847 |

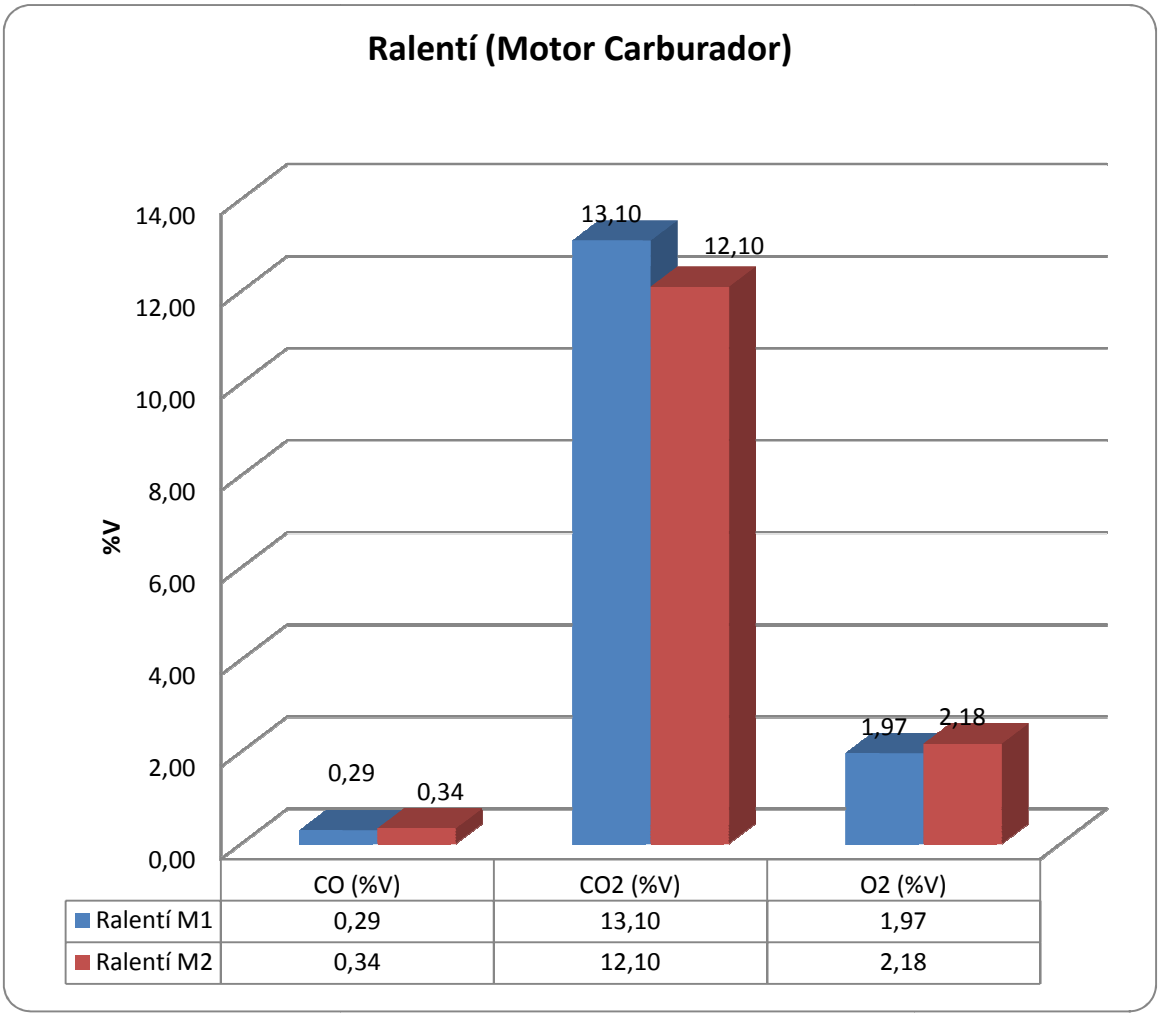
Elaboración: Propia

Con el propósito de visualizar de mejor forma las emisiones contaminantes, se presenta en la Tabla 4-3 las mediciones en porcentaje en volumen (%V) de M1 y M2 de los contaminantes CO, $CO_2$, $O_2$ de la prueba TIS en ralentí, y su detalle en el Gráfico 4-1.

**Tabla 4-3:** Resultado de Contaminantes en prueba en Ralentí de motor a carburador

| **CO, $CO_2$ y $O_2$ EN RALENTÍ DEL MOTOR A CARBURADOR** | | |
|---|---|---|
| **PROMEDIO** | | |
| **Contaminante** | **Ralentí M1** | **Ralentí M2** |
| **CO (%V)** | 0,29 | 0,34 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,10 | 12,10 |
| **$O_2$ (%V)** | 1,97 | 2,18 |
| **RPM** | 800 | 847 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-1:** Comparación de los resultados de M1 y M2 de la prueba en Ralentí del motor a carburador

De la comparación de los resultados presentados en el Gráfico 4-1, se observa lo siguiente:

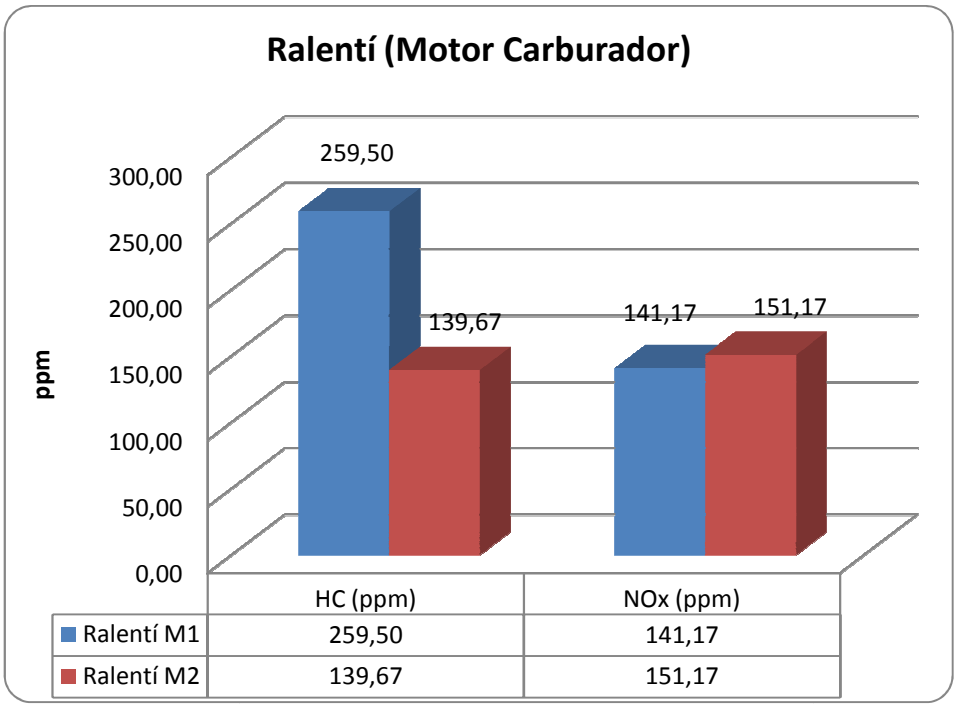
- El CO aumenta con el aporte de hidrógeno en un 17,2%.
- El $CO_2$ disminuye con el aporte de hidrógeno en un 7,6%
- El $O_2$ se aumenta con el aporte de hidrógeno en un 10,6%

La Tabla 4-4, y el Gráfico 4-2 indican los resultados de la prueba en Ralentí referentes a los HC y NOx en partes por millón.

**Tabla 4-4:** Contaminantes HC y NOx de la prueba en Ralentí motor a carburador

| HC y NOx EN RALENTÍ DEL MOTOR A CARBURADOR | | |
|---|---|---|
| **PROMEDIO** | | |
| **Contaminante** | **Ralentí M1** | **Ralentí M2** |
| **HC (ppm)** | 259,50 | 139,67 |
| **NOx (ppm)** | 141,17 | 151,17 |
| **RPM** | 800 | 847 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-2:** Comparación de los contaminantes HC y NOx de la prueba en Ralentí del motor a carburador

Del Gráfico 4-2 se observa lo siguiente:

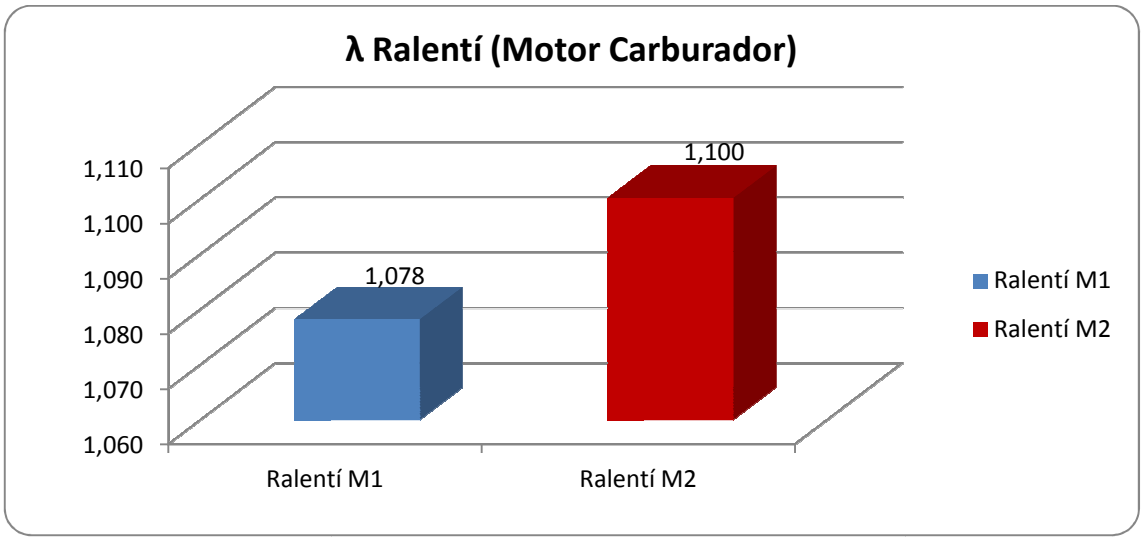
- Los HC disminuye con el aporte de hidrógeno en un 46,2%.
- Los NOx aumentan con el aporte de hidrógeno en un 7.1%, siendo un valor referencial, ya que su valor verdadero se lo obtiene con la aplicación de carga del motor.

La Tabla 4-5, presenta los resultados de Lambda en la prueba en Ralentí del motor a carburador para las muestras M1 y M2, el Gráfico 4-3 detalla gráficamente los resultados obtenidos.

**Tabla 4-5:** Resultados de Lambda en prueba en Ralentí del motor a carburador

| LAMBDA EN RALENTÍ DEL MOTOR A CARBURADOR | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Lambda** | **Ralentí M1** | **Ralentí M2** |
| **λ** | 1,078 | 1,100 |
| **RPM** | 800 | 847 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-3:** Comparación de Lambda en prueba Ralentí motor a Carburador

Del Gráfico 4-3 se observa que Lambda aumenta con el aporte de hidrógeno en un 2%, evidenciándose un incremento de la relación aire – combustible.

#### 4.1.1.1.2 Prueba a 2500 RPM del motor a carburador

Los valores presentados en la Tabla 4-6, corresponden a los resultados obtenidos en la prueba a 2500 RPM, del motor de carburador para las mezclas M1 y M2

**Tabla 4-6:** Resultados de la prueba en 2500 RPM del motor a carburador

| PRUEBA A 2500 RPM DEL MOTOR A CARBURADOR MEZCLA M1 | |
|---|---|
| PROMEDIO | |
| **Contaminante** | **2500 RPM** |
| **CO (%V)** | 1,10 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,50 |
| **HC (ppm)** | 82,50 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,63 |
| **λ** | 0,993 |
| **NOx (ppm)** | 211,00 |
| **RPM** | 2500 |

| PRUEBA A 2500 RPM DEL MOTOR A CARBURADOR MEZCLA M2 | |
|---|---|
| PROMEDIO | |
| **Contaminante** | **2500 RPM** |
| **CO (%V)** | 0,28 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,10 |
| **HC (ppm)** | 153,67 |
| **$O_2$ (%V)** | 2,09 |
| **λ** | 1,097 |
| **NOx (ppm)** | 146,33 |
| **RPM** | 2508 |

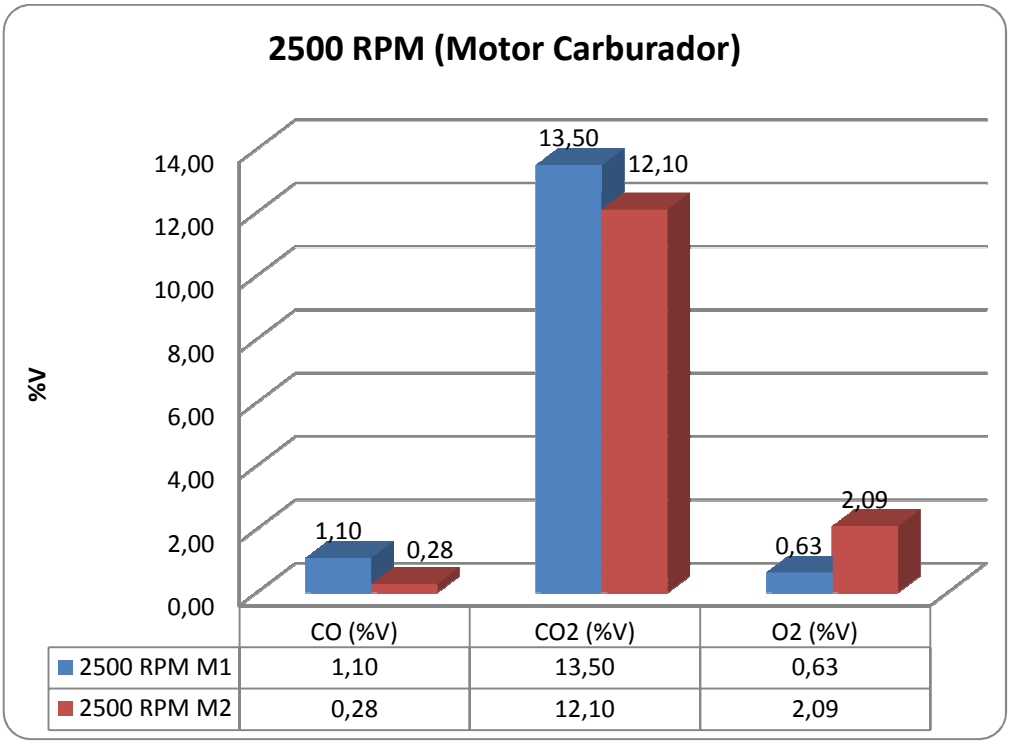
Elaboración: Propia

Para una mejor comprensión y análisis de los resultados mostrados en la Tabla 4-6, los mismos se dividen en tres grupos: los resultados en porcentaje en volumen, en partes por millón y el valor de lambda, iniciando con la Tabla 4-7, donde se muestran los valores en porcentaje en volumen de CO, $CO_2$, y $O_2$, y detallándose en el Gráfico 4-4 la comparación de estos resultados.

**Tabla 4-7:** Resultado de contaminantes de la prueba 2500 RPM en porcentaje en volumen

| PORCENTAJE EN VOLUMEN DE LOS CONTAMINANTES EN PRUEBA A 2500RPM | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Contaminante** | **2500 RPM M1** | **2500 RPM M2** |
| **CO (%V)** | 1,10 | 0,28 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,50 | 12,10 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,63 | 2,09 |
| **RPM** | 2500 | 2508 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-4:** Comparación de contaminantes en porcentaje en volumen de la prueba a 2500 RPM

En el Gráfico 4-4, se muestra el comportamiento de los CO, $CO_2$, $O_2$ a 2500 RPM de acuerdo a lo siguiente:

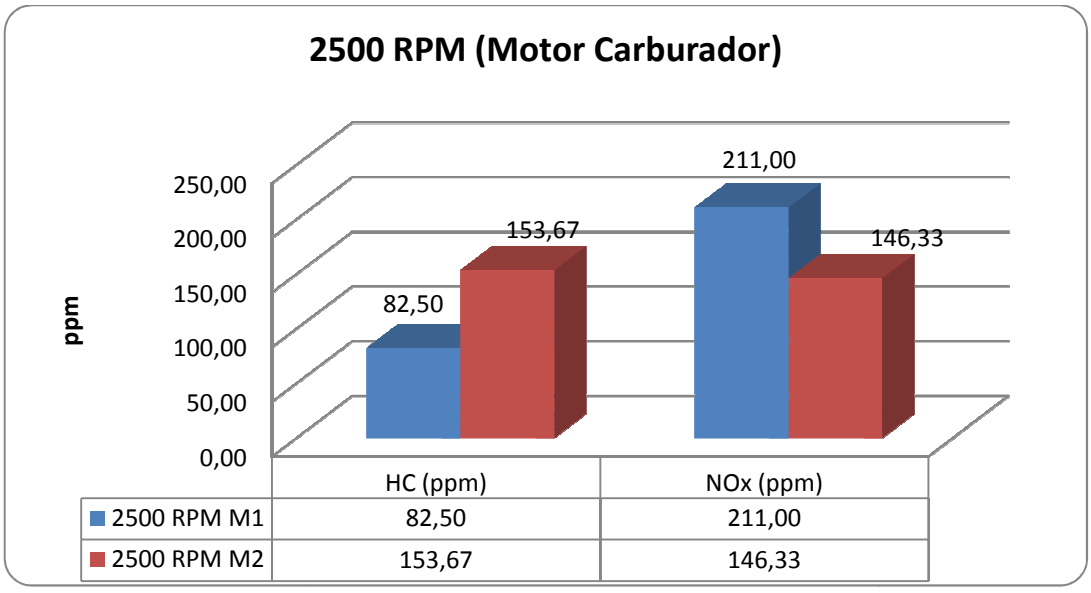
- El CO disminuye con el aporte de hidrógeno en un 74,8%.
- El $CO_2$ disminuye con el aporte de hidrógeno en un 10,4%
- El $O_2$ aumenta con el aporte de hidrógeno en un 232%

La Tabla 4-8 indica los resultados de los contaminantes HC y NOx, a 2500 RPM, los cuales se encuentran en partes por millón, el Gráfico 4-5 compara los resultados de mejor manera.

**Tabla 4-8:** Resultados de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en prueba 2500 RPM del motor a carburador

| CONTAMINANTES EN PPM DE LA PRUEBA A 2500 RPM PROMEDIO | | |
|---|---|---|
| **Contaminante** | **2500 RPM M1** | **2500 RPM M2** |
| **HC (ppm)** | 82,50 | 153,67 |
| **NOx (ppm)** | 211,00 | 146,33 |
| **RPM** | 2500 | 2508 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-5:** Comparación de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en prueba 2500 RPM para las mezclas M1 y M2

De acuerdo al Gráfico 4-5 se analiza lo siguiente:

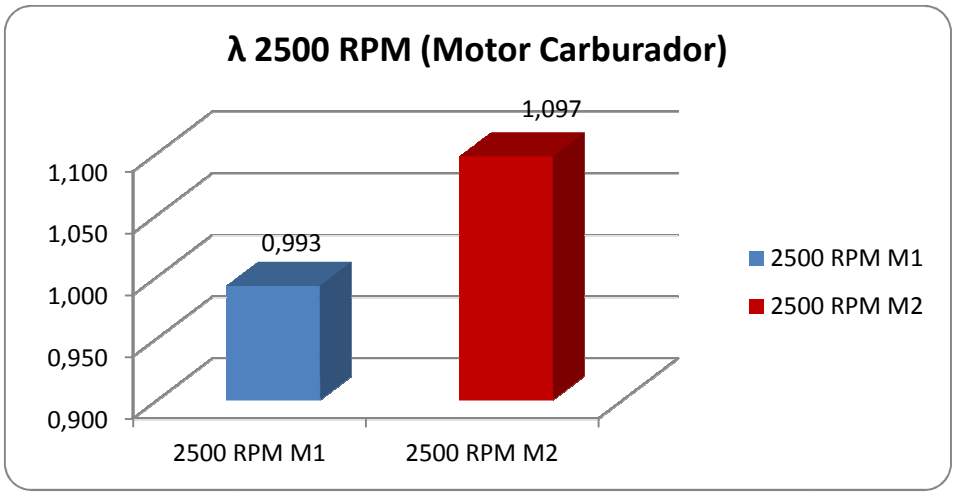
- Los HC aumentan con el aporte de hidrógeno en un 86,3%
- Los NOx disminuyen con el aporte de hidrógeno en un 30,6%

La Tabla 4-9 indica los resultados de Lambda a 2500 RPM para el motor a carburador, además en el Gráfico 4-6 se muestran la comparación de los mismos para el análisis.de las mezclas M1 y M2.

**Tabla 4-9:** Resultados de Lambda en prueba 2500 RPM del motor a carburador

| VALOR DE LAMBDA EN PRUEBA A 2500 RPM DEL MOTOR A CARBURADOR | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Lambda** | **2500 RPM M1** | **2500 RPM M2** |
| **λ** | 0,993 | 1,097 |
| **RPM** | 2500 | 2508 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-6:** Comparación de Lambda en prueba a 2500 RPM motor a carburador

Del Gráfico 4-6 se concluye que con la adición de hidrógeno, Lambda aumenta en 10,5%, obteniéndose una mezcla pobre, respecto a la mezcla M1.

#### 4.1.1.2 Prueba dinámica motor Otto a carburador

La prueba dinámica constituye la medición de torque o par y potencia del motor Otto a carburador, para las mezclas M1 y M2, siguiendo el procedimiento en el Capítulo III, los resultados se muestran en el **Anexo A2.1.**

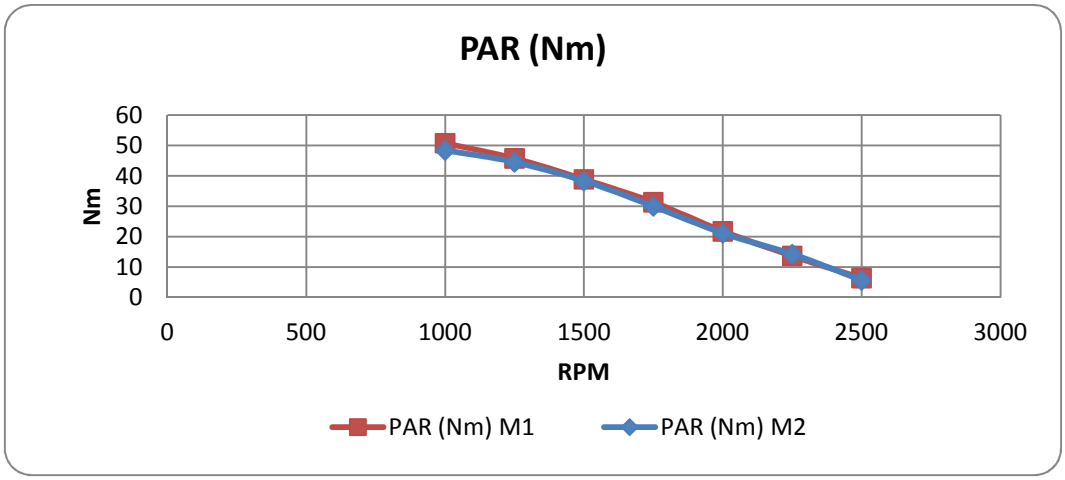
##### *4.1.1.2.1 Torque o Par (Nm)*

La Tabla 4-10 se muestra los promedios de los resultados de la prueba dinámica torque o par del motor a carburador, los resultados se representan en el Gráfico 4-7, para una mejor apreciación.

**Tabla 4-10:** Resultado de los valores del Torque o Par en la prueba dinámica

| RPM | PAR (Nm) M1 | PAR (Nm) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 6,4 | 5,7 |
| **2250** | 13,74 | 14,3 |
| **2000** | 21,8 | 21,1 |
| **1750** | 31,4 | 30 |
| **1500** | 38,9 | 38,3 |
| **1250** | 45,8 | 44,5 |
| **1000** | 50,8 | 48,4 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-7:** Comparación del Torque o Par en función de RPM

En el Gráfico 4-7 muestra las curvas de torque para el motor Otto a carburador, en el cual se aprecia, que la curva M1 es similar a la curva M2, demostrando que no existe una variación significativa en los valores de torque o par.

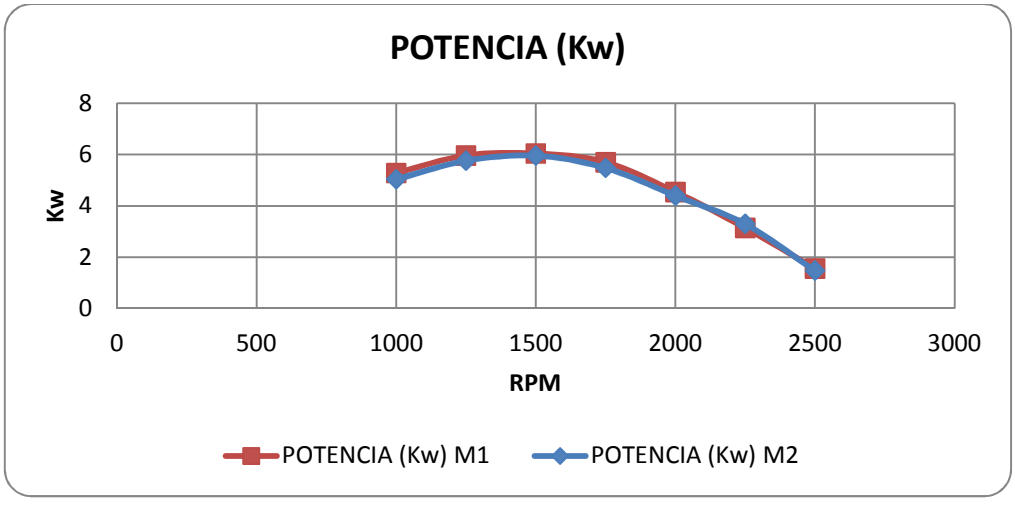
#### *4.1.1.2.2 Potencia (kw)*

La Tabla 4-11 indica los resultados de potencia obtenidos en la prueba dinámica, y en el Gráfico 4-8 compara las curvas de potencia para las mezcla M1 y M2.

**Tabla 4-11:** Resultados de Potencia en la prueba dinámica del motor a carburador

| RPM | POTENCIA (Kw) M1 | POTENCIA (Kw) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 1,56 | 1,48 |
| **2250** | 3,14 | 3,3 |
| **2000** | 4,54 | 4,4 |
| **1750** | 5,7 | 5,48 |
| **1500** | 6,04 | 5,96 |
| **1250** | 5,96 | 5,76 |
| **1000** | 5,28 | 5,04 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-8:** Comparación de Potencia en función de las RPM de la prueba dinámica del motor a carburador

El Gráfico 4-8 indica las curvas de potencia correspondientes a la prueba dinámica del motor a carburador, se observa un comportamiento similar durante toda la prueba, evidenciándose que la potencia del motor no se afecta al usar las mezclas M1 y M2.

#### 4.1.1.3 Emisiones Otto para la prueba dinámica - motor carburador Gasolina Extra

Durante la prueba dinámica se realiza también el análisis de los gases de escape producto de la combustión de la gasolina, los cuales son CO, $CO_2$, $O_2$, HC y NOx. Al igual que el torque y la potencia el valor de los contaminantes obtenidos en el analizador de gases fueron tomados desde 2500 RPM hasta 1000 RPM con intervalos de 250 RPM.

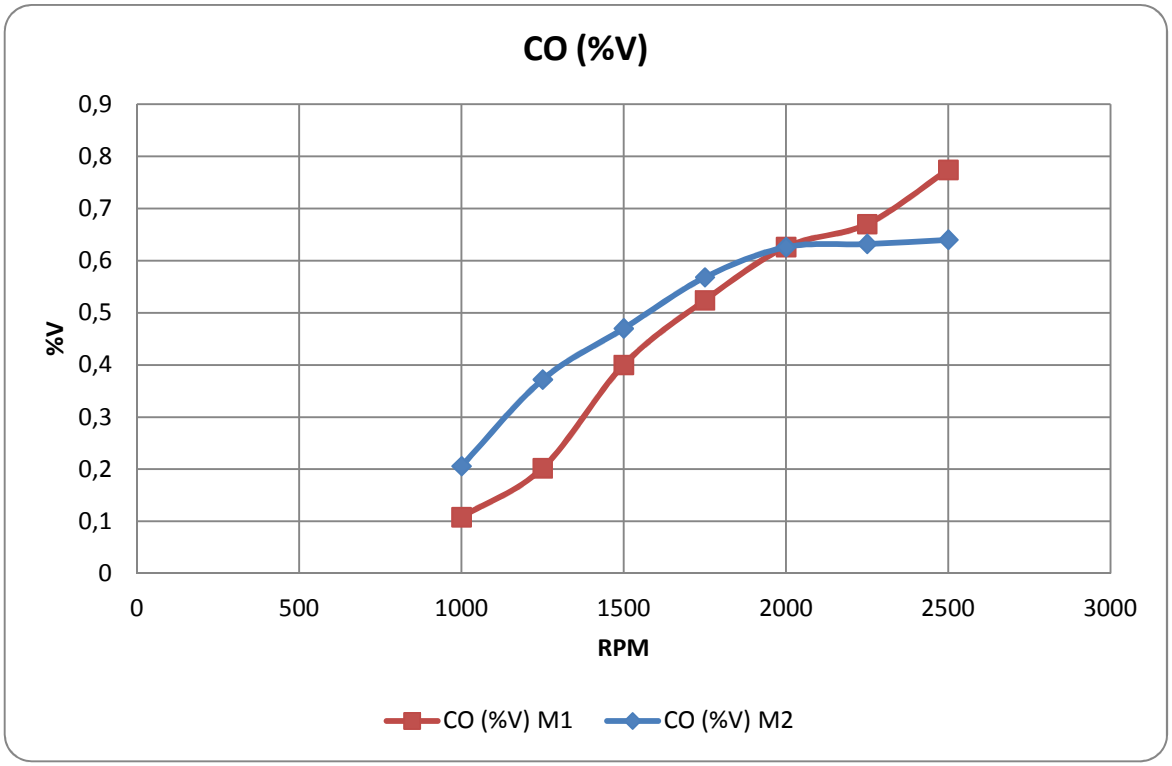
##### *4.1.1.3.1 Monóxido de Carbono (CO)*

La Tabla 4-12 indica los valores del contaminante Monóxido de Carbono (CO) obtenidos durante la prueba dinámica, los resultados en cada una de las revoluciones de prueba presentan valores similares para las mezclas de combustible M1 y M2 respectivamente.

**Tabla 4-12:** Resultados de Monóxido de Carbono (CO) en la prueba dinámica de motor a carburador

| RPM | CO (%V) M1 | CO (%V) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 0,774 | 0,64 |
| **2250** | 0,67 | 0,632 |
| **2000** | 0,626 | 0,626 |
| **1750** | 0,524 | 0,568 |
| **1500** | 0,4 | 0,47 |
| **1250** | 0,202 | 0,372 |
| **1000** | 0,108 | 0,206 |
| **Promedio** | **0,472** | **0,502** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-9:** Comparación de las curvas Monóxido de Carbono (CO) en función de las RPM en la prueba dinámica de motor a carburador

El Gráfico 4-9, muestra la disminución de porcentaje en volumen de CO, desde 2000 RPM a 1000 RPM, observándose un punto común en 2000 RPM en el cual las curva M1 y M2 tienden nuevamente a disminuir constantemente, finalmente valor M2 es mayor que M1.

Para el análisis de variación de los resultados de CO, se realiza el promedio de los valores de la Tabla 4-12, obteniendo un incremento del 6.36% respecto a M1.

#### *4.1.1.3.2 Dióxido de Carbono ($CO_2$)*

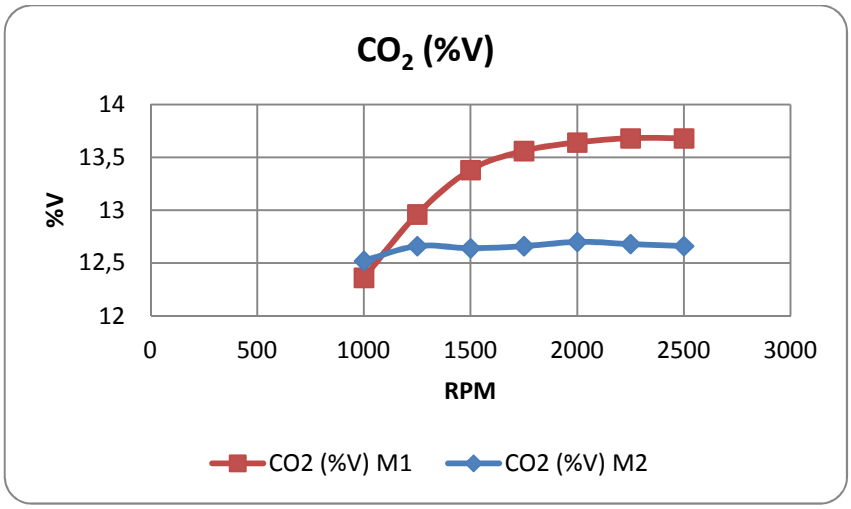
La Tabla 4-13 indica los resultados del contaminante Dióxido de Carbono ($CO_2$) obtenidos durante la prueba dinámica, los valores para la mezcla M1 son prácticamente constantes durante la medición, los cuales están dentro de un valor

promedio de 13,32%$CO_2$ a lo largo de toda la prueba, para la mezcla M2 se tienen resultados similares con un valor promedio de referencia durante toda la prueba de 12,65%$CO_2$, obteniéndose una reducción del contaminante $CO_2$, respecto a M1, la comparación de estos resultados se realiza en el Gráfico 4-10.

**Tabla 4-13:** Resultado de los valores de Dióxido de Carbono ($CO_2$) en la prueba dinámica de motor a carburador

| RPM | $CO_2$ (%V) M1 | $CO_2$ (%V) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 13,68 | 12,66 |
| **2250** | 13,68 | 12,68 |
| **2000** | 13,64 | 12,7 |
| **1750** | 13,56 | 12,66 |
| **1500** | 13,38 | 12,64 |
| **1250** | 12,96 | 12,66 |
| **1000** | 12,36 | 12,52 |
| **Promedio** | **13.32** | **12.65** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-10:** Comparación de las curvas Dióxido de Carbono ($CO_2$) en función de de RPM en la prueba dinámica del motor a carburador.

El Gráfico 4-10 indica que el porcentaje en volumen para $CO_2$ en la mezcla M2 a 1000 RPM es mayor que en la mezcla M1, observándose que a 1100 RPM, M2 tiende a estabilizarse, mientras que M1 sufre un incremento considerable. De los valores promedio de M1 y M2 de la Tabla 4-13 se obtiene una disminución de $CO_2$ del 5,03% respecto a M1.

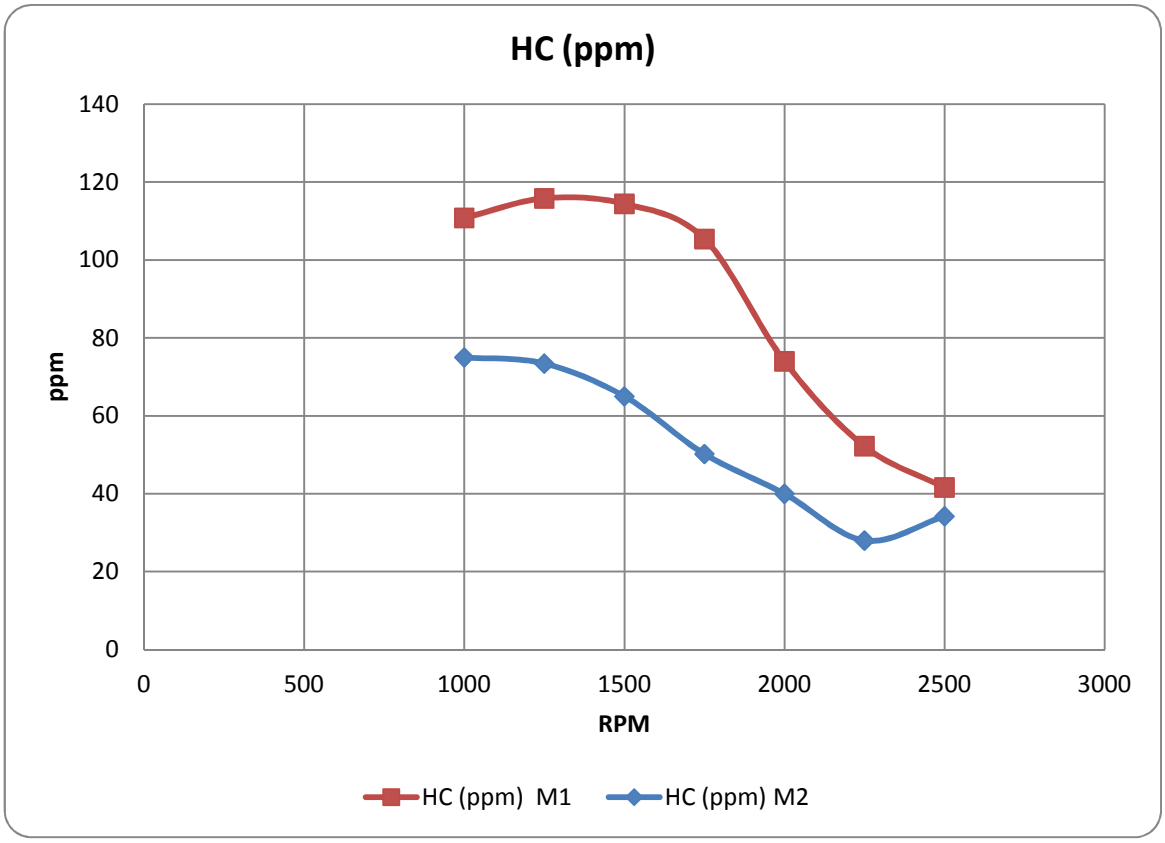
#### 4.1.1.3.3 Hidrocarburos no combustionados (HC)

La Tabla 4-14 indica los valores de los valores Hidrocarburos no Combustionados (HC) obtenidos durante la prueba dinámica al motor Otto a carburador, en la cual se tiene un reducción considerable del contaminante con el uso de la mezcla M2., además indica los valores promedios obtenidos la prueba, se muestra además la comparación de estos resultados en el Gráfico 4-11..

**Tabla 4-14:** Resultado de los valores de Hidrocarburos no Combustionados (HC) en la prueba dinámica del motor a carburador.

| RPM | HC (ppm) M1 | HC (ppm) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 41,6 | 34,2 |
| **2250** | 52,2 | 28 |
| **2000** | 74 | 40 |
| **1750** | 105,4 | 50,2 |
| **1500** | 114,4 | 65 |
| **1250** | 115,8 | 73,4 |
| **1000** | 110,8 | 75 |
| **Promedio** | **87,74** | **52,26** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-11:** Comparación de HC en función de RPM en la prueba dinámica para el motor a carburador.

El Gráfico 4-11 indica la comparación de los hidrocarburos no combustionados (HC) para las mezclas M1 y M2, del motor a carburador, observando una reducción del contaminante HC de la mezcla M2, respecto a la mezcla M1. De los valores promedio de la Tabla 4-14 se obtiene una disminución de 40,51% respecto a M1.

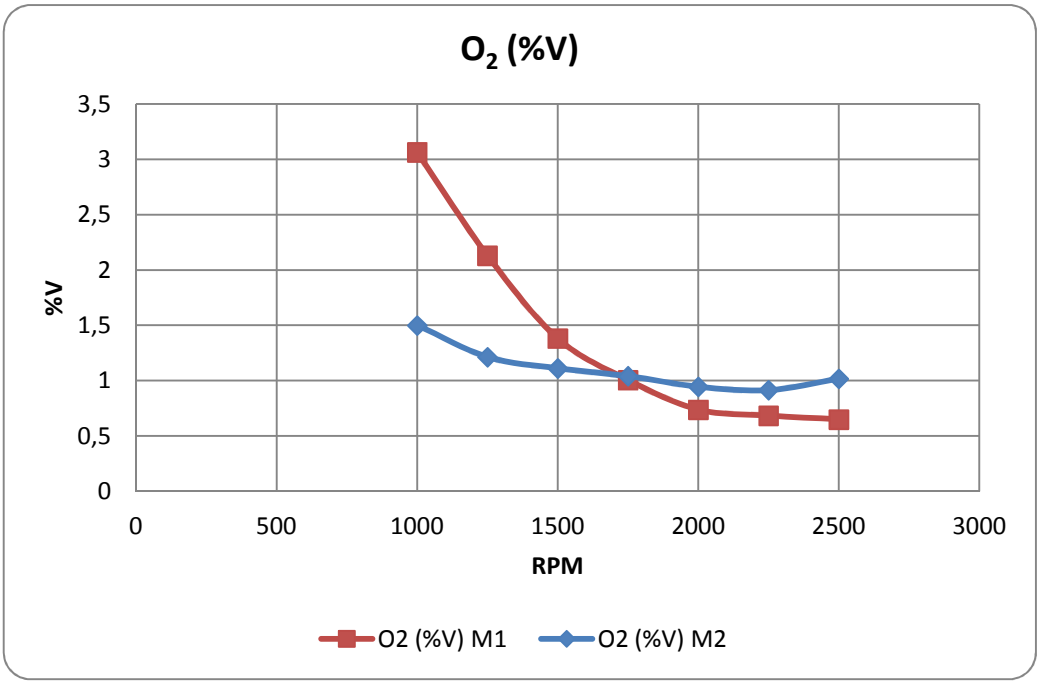
#### *4.1.1.3.4 Oxígeno ($O_2$)*

La Tabla 4-15 muestra los valores obtenidos durante la prueba dinámica del contaminante $O_2$ para las mezclas M1 y M2, además se muestra el promedio de M1 y M2 al final de la prueba, la comparación de estos valores se realiza en el Gráfico 4-12.

**Tabla 4-15:** Resultados de los valores $O_2$ en la prueba dinámica del motor a carburador

| RPM | $O_2$ (%V) M1 | $O_2$ (%V) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 0,65 | 1,018 |
| **2250** | 0,684 | 0,916 |
| **2000** | 0,738 | 0,946 |
| **1750** | 1,006 | 1,042 |
| **1500** | 1,382 | 1,112 |
| **1250** | 2,13 | 1,214 |
| **1000** | 3,064 | 1,5 |
| **Promedio** | **1,38** | **1,107** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-12:** Oxígeno ($O_2$) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para el motor a carburador

En el Gráfico 4-12 representa las curvas del $O_2$(%V) en donde se puede observar un punto común a las 1750 RPM, posteriormente de 1750 RPM a 2500 RPM M1 y M2 tienden a ser constantes sin embargo los valores de M2 son mayores que M1, al realizar el promedio de los valores de M1 y M2, se obtiene una disminución del 19,78% respecto a M1.

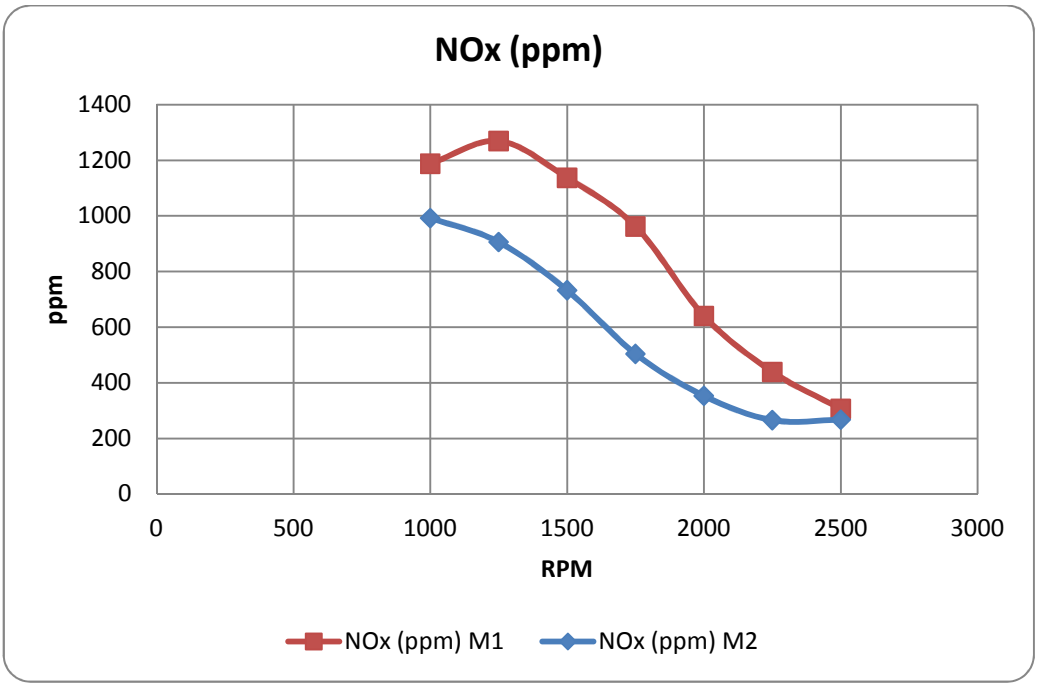
#### *4.1.1.3.5 Óxidos de Nitrógeno (NOx)*

La Tabla 4-16 muestra los valores obtenidos durante la prueba dinámica, además del valor promedio del contaminante NOx para las mezclas M1 y M2, los NOx son considerados como reales en una prueba dinámica debido a que el motor está sometido a carga, el Gráfico 4-13 representa el comportamiento de los NOx durante la prueba dinámica del motor a carburador.

**Tabla 4-16:** Resultados de los NOx en la prueba dinámica para el motor a carburador

| RPM | NOx (ppm) M1 | NOx (ppm) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 306,4 | 267,4 |
| **2250** | 439 | 266 |
| **2000** | 640,4 | 353,2 |
| **1750** | 962,2 | 504 |
| **1500** | 1137 | 732,6 |
| **1250** | 1269,4 | 906,2 |
| **1000** | 1187,6 | 992,4 |
| **Promedio** | **848,86** | **574,54** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-13:** Óxidos de Nitrógeno (NOx) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica del motor a carburador

El Gráfico 4-13 indica las curvas NOx en el que se aprecia una disminución considerable del contaminante para la mezcla M2 en todos los puntos de medición con relación a la curva obtenida con la mezcla M1. Del promedio de los valores M1 y M2 se tiene una disminución en partes por millón de 32,32%, respecto a la mezcla M1.

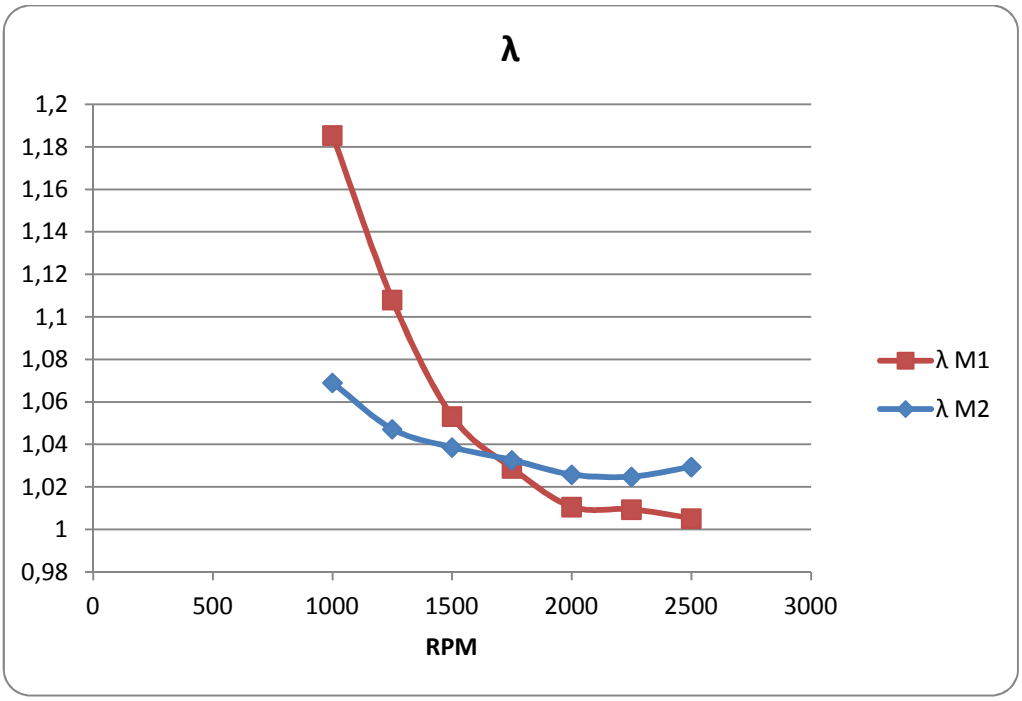
#### *4.1.1.3.6 Lambda (λ)*

En la Tabla 4-17 se presentan los valores obtenidos para el valor de Lambda (λ), en la prueba dinámica del motor a carburador, donde se puede apreciar que los valores para la mezcla M1 están en un promedio de 1,056, mientras que lambda para la mezcla M2 se observa que los valores se encuentran en un promedio de 1,038, la comparación de los resultados se realiza en el Gráfico 4-14.

**Tabla 4-17:** Resultados de los valores de Lambda (λ) en la prueba dinámica para el motor a carburador

| RPM | λ M1 | λ M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 1,005 | 1,029 |
| **2250** | 1,009 | 1,025 |
| **2000** | 1,010 | 1,026 |
| **1750** | 1,028 | 1,033 |
| **1500** | 1,053 | 1,039 |
| **1250** | 1,108 | 1,047 |
| **1000** | 1,185 | 1,069 |
| **Promedio** | **1,056** | **1,038** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-14:** Lambda (λ) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para las mezclas M1 y M2

El Gráfico 4-14 indica que M1 se incrementa durante la prueba, mientras que M2 se mantiene casi constante, al analizar el valor promedio de M1 y M2 se tiene una disminución de 1,8% respecto a M1, enriqueciéndose la mezcla.

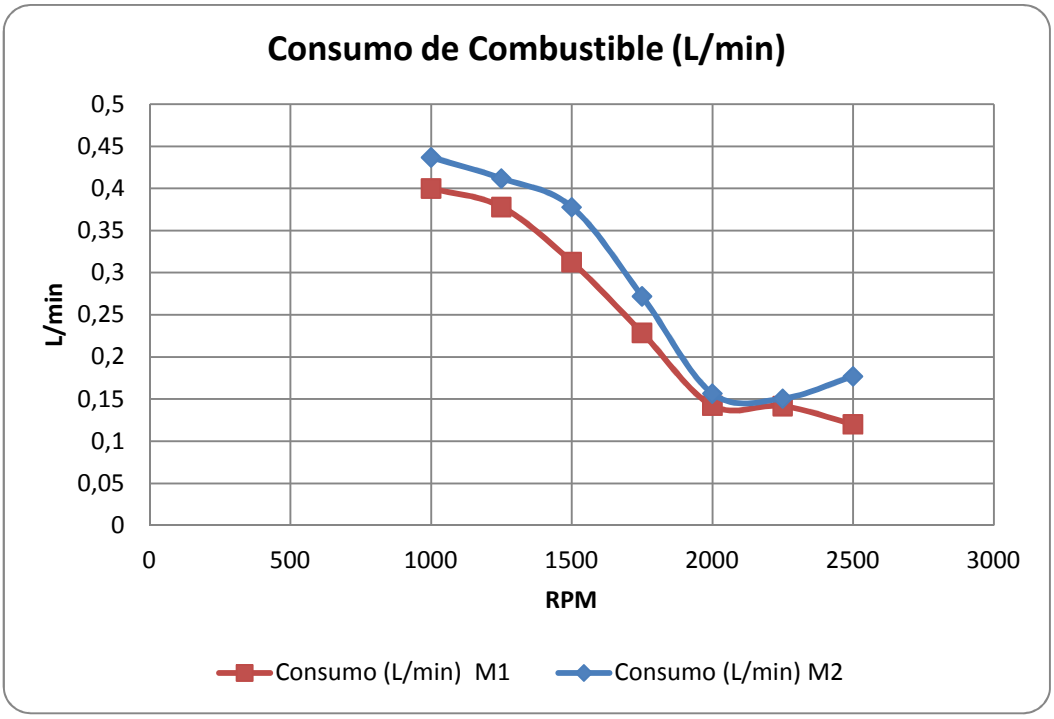
#### *4.1.1.3.7 Consumo de combustible*

La Tabla 4-18 muestra los valores de consumo de combustible para el motor Otto a carburador, en donde se puede observar que los resultados para la mezcla M2 son relativamente mayores a los obtenidos a la mezcla M1, además se muestra los valores promedio de M1 y M2, estos resultados se comparan en el Gráfico 4-15.

**Tabla 4-18:** Resultado de los valores de Consumo de Combustible en la prueba dinámica para el motor a carburador.

| RPM | Consumo (L/min) M1 | Consumo (L/min) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 0,1202 | 0,177 |
| **2250** | 0,1418 | 0,1506 |
| **2000** | 0,1422 | 0,1566 |
| **1750** | 0,2286 | 0,272 |
| **1500** | 0,3126 | 0,3778 |
| **1250** | 0,378 | 0,4118 |
| **1000** | 0,4 | 0,4368 |
| **Promedio** | **0,246** | **0,283** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-15:** Comparación de Consumo de Combustible en función de las RPM del motor a carburador

En el Gráfico 4-15 representa las curvas de consumo de combustible para las mezclas M1 y M2, observándose un mayor consumo de la mezcla M2, del promedio de los valores de M1 y M2 se tiene como resultado un aumento de consumo de 15,04% respecto a M1.

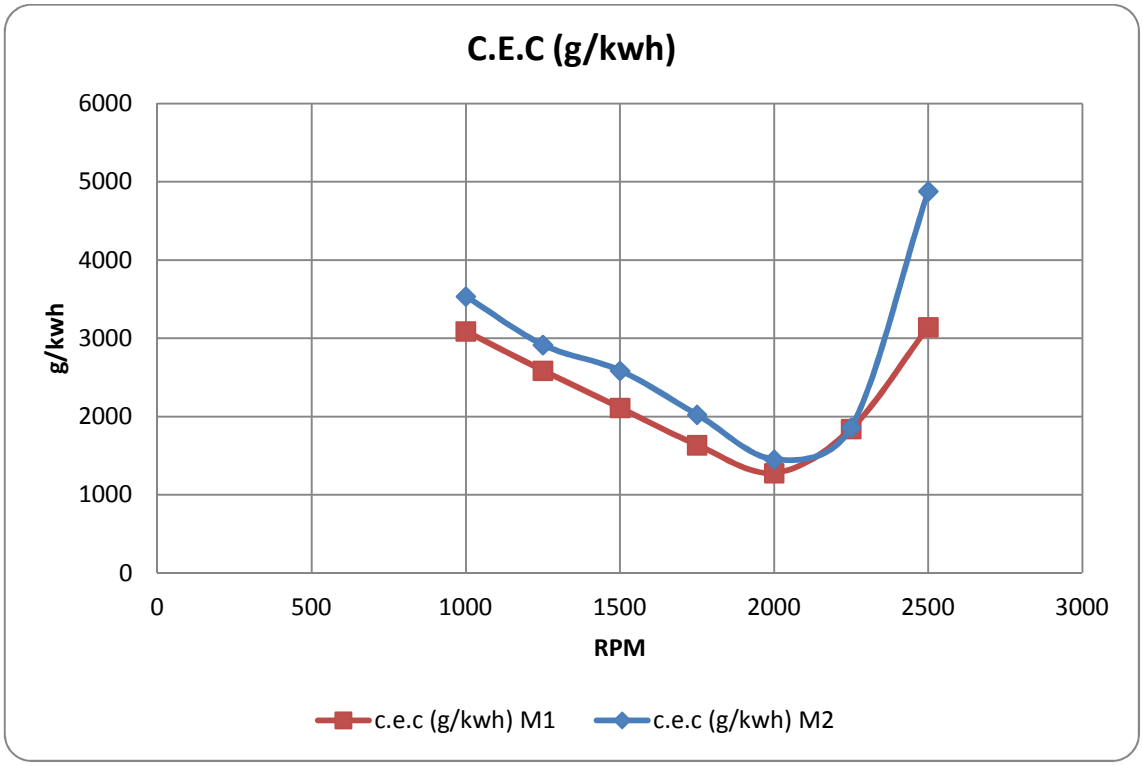
#### *4.1.1.3.8 Consumo Específico de Combustible*

En la Tabla 4-19 se presentan los valores obtenidos para consumo específico de combustible durante la prueba, además se indica los valores promedio de M1 y M2, estos resultados se comparan en el Gráfico 4-16.

**Tabla 4-19:** Resultado del consumo específico de combustible (c.e.c) en la prueba dinámica del motor a carburador

| RPM | c.e.c (g/kwh) M1 | c.e.c (g/kwh) M2 |
|---|---|---|
| **2500** | 3143,69 | 4879,45 |
| **2250** | 1842,49 | 1861,96 |
| **2000** | 1277,92 | 1452,10 |
| **1750** | 1636,29 | 2025,11 |
| **1500** | 2111,60 | 2586,28 |
| **1250** | 2587,65 | 2916,91 |
| **1000** | 3090,90 | 3536 |
| **Promedio** | **2241,51** | **2751,12** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-16:** Comparación del consumo específico de combustible en función de RPM en la prueba dinámica para el motor a carburador.

El Gráfico 4-16 muestra las curvas de consumo específico de combustible mostrándose el aumento de M2 en los valores de consumo específico, evidenciándose una menor eficiencia de transformar el carburante en energía mecánica, respecto a la mezcla M1. Tomados los valores promedios de M1 y M2 se tiene como resultado un incremento del 22,74% respecto a M1.

### 4.1.2 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A INYECCIÓN CON EL USO DE GASOLINA SUPER Y GASOLINA SUPER MÁS HIDRÓGENO

De acuerdo al procedimiento establecido en el Capítulo III, se efectúan cinco pruebas del motor a inyección, los resultados globales se presenta en el **Anexo A2.2**, el análisis de los resultados se realiza considerando el valor promedio de cada prueba, en adelante la gasolina Súper se denominará mezcla M3 y la gasolina Súper con el aporte de hidrógeno se denominará mezcla M4.

#### 4.1.2.1 Prueba Two Idle Speed (TIS)

Las pruebas Two Idle Speed (TIS) ó prueba estática, consiste en las siguientes pruebas:

- Emisiones contaminantes en Ralentí
- Prueba a 2500 RPM

##### 4.1.2.1.1 Emisiones contaminantes en Ralentí

La Tabla 4-20, presenta los resultados obtenidos de los contaminantes referentes a la prueba en Ralentí, para las mezclas M3 y M4.

**Tabla 4-20:** Resultados de la prueba en Ralentí para las mezclas M3 y M4

| PRUEBA RALENTÍ M3 | |
|---|---|
| PROMEDIO | |
| **Contaminante** | **Ralentí** |
| **CO (%V)** | 0,075 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,333 |
| **HC (ppm)** | 12,167 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,348 |
| **λ** | 1,017 |
| **NOx (ppm)** | 2,00 |
| **RPM** | 800 |

| PRUEBA RALENTÍ M4 | |
|---|---|
| PROMEDIO | |
| **Contaminante** | **Ralentí** |
| **CO (%V)** | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,30 |
| **HC (ppm)** | 14 |
| **$O_2$ (%V)** | 1,51 |
| **λ** | 1,079 |
| **NOx (ppm)** | 36,83 |
| **RPM** | 808 |

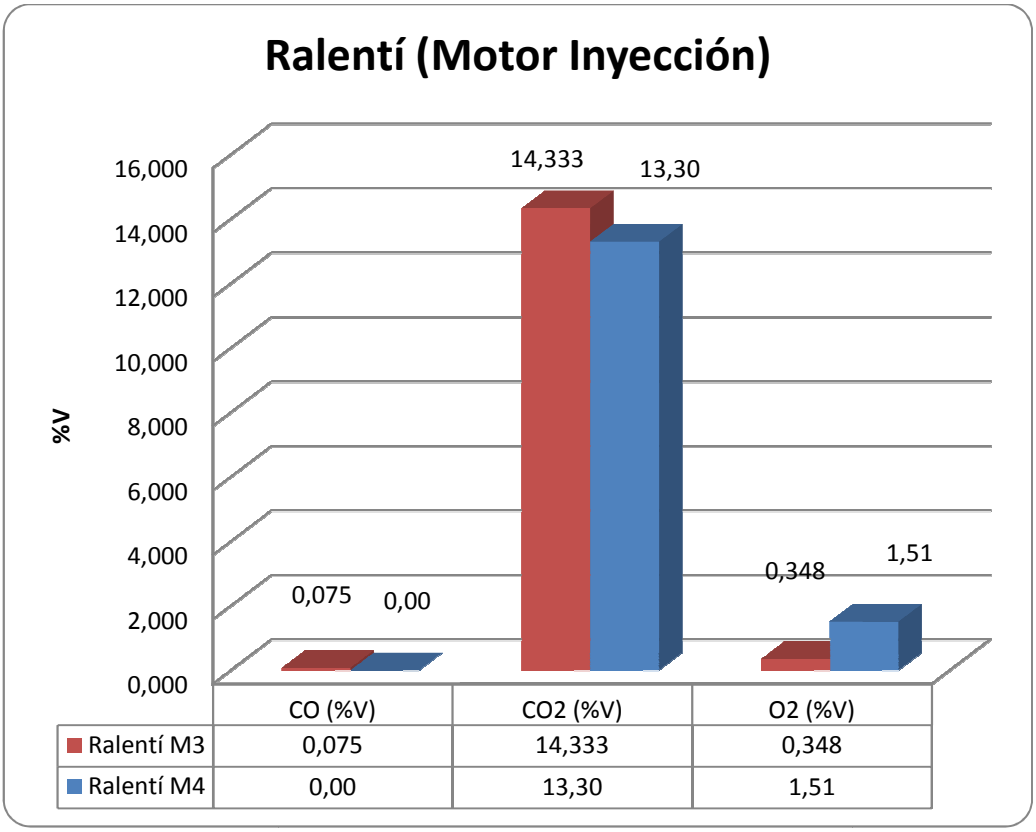
Elaboración: Propia

Para explicar de mejor manera el comportamiento de las emisiones contaminantes, la Tabla 4-21 presenta las mediciones en porcentaje en volumen, referente a la prueba en Ralentí de las Mezclas M3 y M4 del motor a inyección y el Gráfico 4-17 detalla el incremento y/o decremento de estos contaminantes.

**Tabla 4-21:** Resultado de contaminantes en prueba en ralentí del motor a inyección

| CONTAMINANTES CO, $CO_2$ y $O_2$ DE PRUEBA EN RALENTÍ DEL MOTOR A CARBURADOR | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Contaminante** | **Ralentí M3** | **Ralentí M4** |
| **CO (%V)** | 0,075 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,333 | 13,30 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,348 | 1,51 |
| **RPM** | 800 | 808 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-17:** Contaminantes CO, $CO_2$, $O_2$ en (%V) en prueba en Ralentí para las mezclas M3 y M4

El Gráfico 4-17, representa los resultados obtenidos de la prueba en Ralentí para las mezclas M3 y M4 de acuerdo a lo siguiente:

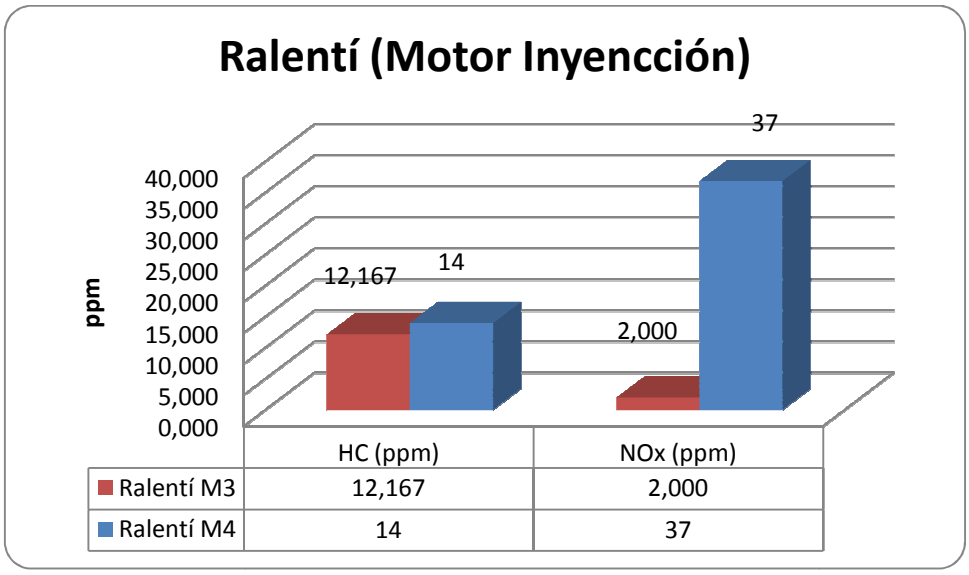
- El CO disminuye con el aporte de hidrógeno en un 100%.
- El $CO_2$ se incrementa con el aporte de hidrógeno en un 22.8%.
- El $O_2$ disminuye con el aporte de hidrógeno en un 71.7%.

La Tabla 4-22, presenta los resultados de los contaminantes HC y NOx en partes por millón, los cuales se representan en el Gráfico 4-18.

**Tabla 4-22:** Contaminantes HC y NOx de prueba en Ralentí motor a inyección

| CONTAMINANTES EN PPM DE PRUEBA EN RALENTÍ DEL MOTOR A CARBURADOR | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Contaminante** | **Ralentí M3** | **Ralentí M4** |
| **HC (ppm)** | 12,167 | 14 |
| **NOx (ppm)** | 2,00 | 36,83 |
| **RPM** | 800 | 808 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-18:** Comparación de los contaminantes HC y NOx de la prueba en Ralentí del motor a inyección

El Gráfico 4-18 muestra el comportamiento de los HC y NOx para las mezclas M3 y M4 en Ralentí, de acuerdo al siguiente detalle:

- Los HC disminuyen con el aporte de hidrógeno en un 82.6%.
- Los NOx aumentan con el aporte de hidrógeno en un 194.6%.

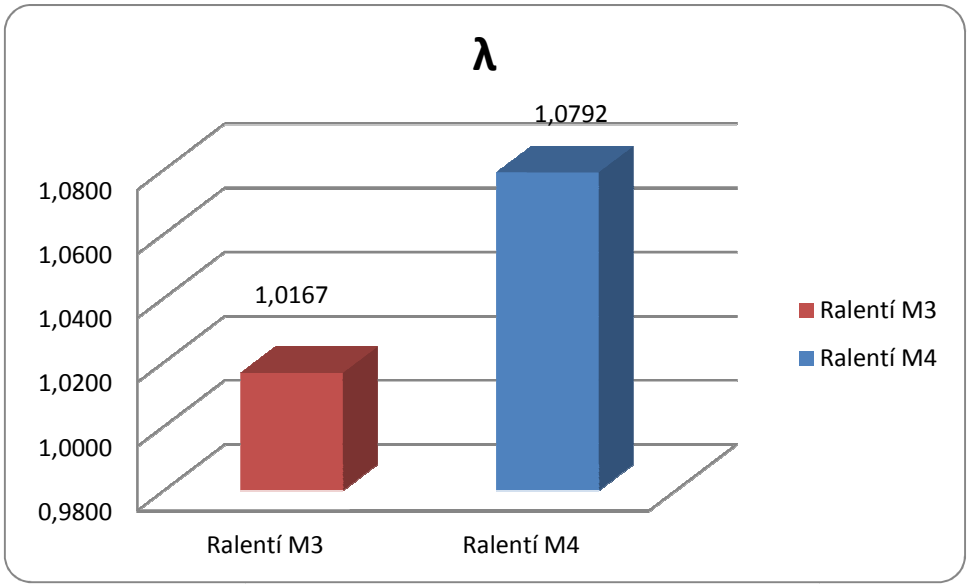
El valor de NOx, no representa el que emite el motor, ya que este se mide con carga.

La Tabla 4-23 indica los valores de Lambda en revoluciones de Ralentí para el motor a inyección, la comparación de estos resultados se muestran en el Gráfico 4-19 para su análisis.

**Tabla 4-23:** Comparación del valor de Lambda en prueba TIS Ralentí para las mezclas M3 y M4

| LAMBDA EN PRUEBA EN RALENTI DE MOTOR A INYECCIÓN | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **LAMBDA** | **Ralentí M3** | **Ralentí M4** |
| **λ** | 1,0167 | 1,0792 |
| **RPM** | 800 | 808 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-19:** Comparación de Lambda en prueba Ralentí de motor a inyección

El Gráfico 4-19 indica que el valor de Lambda disminuye en un 18.7%, acercándose al valor óptimo de la relación aire combustible.

#### *4.1.2.1.2 Prueba a 2500 RPM del motor a inyección*

La Tabla 4-24 presenta los resultados obtenidos en la prueba a 2500 RPM, del motor a inyección de las mezclas M3 y M4.

**Tabla 4-24:** Resultados de la prueba a 2500 RPM del motor a inyección

| **PRUEBA A 2500 RPM DEL MOTOR A INYECCIÓN MEZCLA M3** | |
|---|---|
| **PROMEDIO** | |
| **Contaminante** | **2500 RPM** |
| **CO (%V)** | 0,00 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,450 |
| **HC (ppm)** | 11,556 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,362 |
| **λ** | 1,015 |
| **NOx (ppm)** | 40,167 |
| **RPM** | 2500 |

| **PRUEBA A 2500 RPM DEL MOTOR A INYECCIÓN MEZCLA M4** | |
|---|---|
| **PROMEDIO** | |
| **Contaminante** | **2500 RPM** |
| **CO (%V)** | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,88 |
| **HC (ppm)** | 2,83 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,67 |
| **λ** | 1,027 |
| **NOx (ppm)** | 155 |
| **RPM** | 2513 |

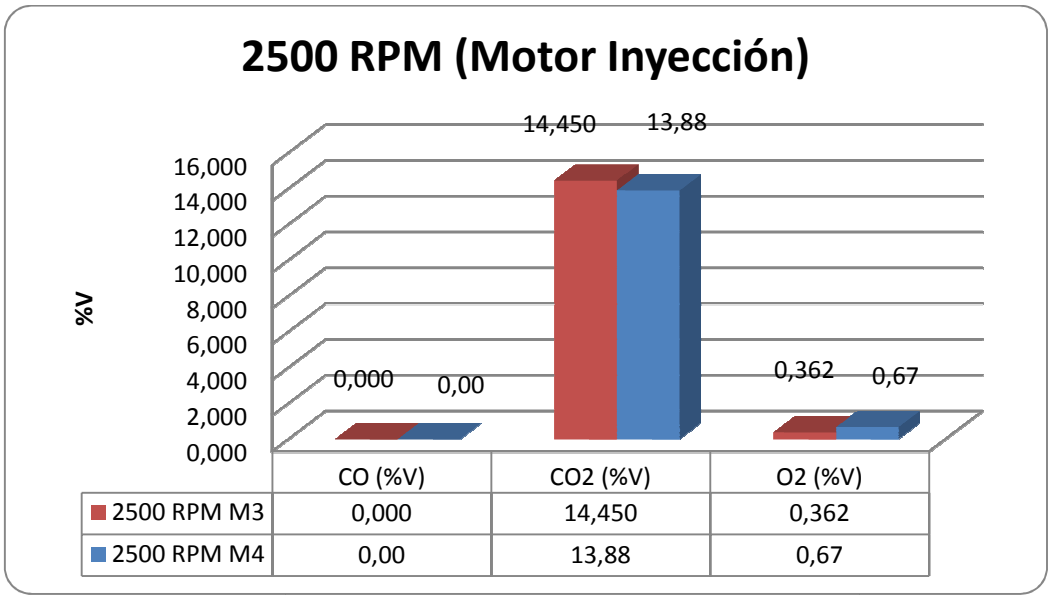
Elaboración: Propia

Para una mejor comprensión y análisis de los resultados mostrados en la Tabla 4-24, los mismos se dividen en tres grupos: los resultados en porcentaje en volumen, en partes por millón y el valor lambda, iniciando con la Tabla 4-25 presentando los valores en porcentaje en volumen de los gases contaminantes CO, $CO_2$, y $O_2$ en la prueba a 2500 RPM para las mezclas M3 y M4, estos valores se representan en el Gráfico 4-20 para su análisis.

**Tabla 4-25:** Resultados de los contaminantes de la prueba a 2500 RPM en porcentaje en volumen del motor a inyección

| CO, $CO_2$ y $O_2$ EN RALENTÍ DEL MOTOR A INYECCIÓN | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Contaminante** | **2500 RPM M3** | **2500 RPM M4** |
| **CO (%V)** | 0,00 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,450 | 13,88 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,362 | 0,67 |
| **RPM** | 2500 | 2513 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-20:** Comparación de contaminantes en porcentaje en volumen de la prueba a 2500 RPM

El Gráfico 4-20 muestra la comparación de los resultados obtenidos de CO, $CO_2$, $O_2$ para las mezclas M3 y M4 a 2500 RPM, en el motor a inyección de acuerdo a lo siguiente:

- El CO no sufre alteración con el aporte de hidrógeno.

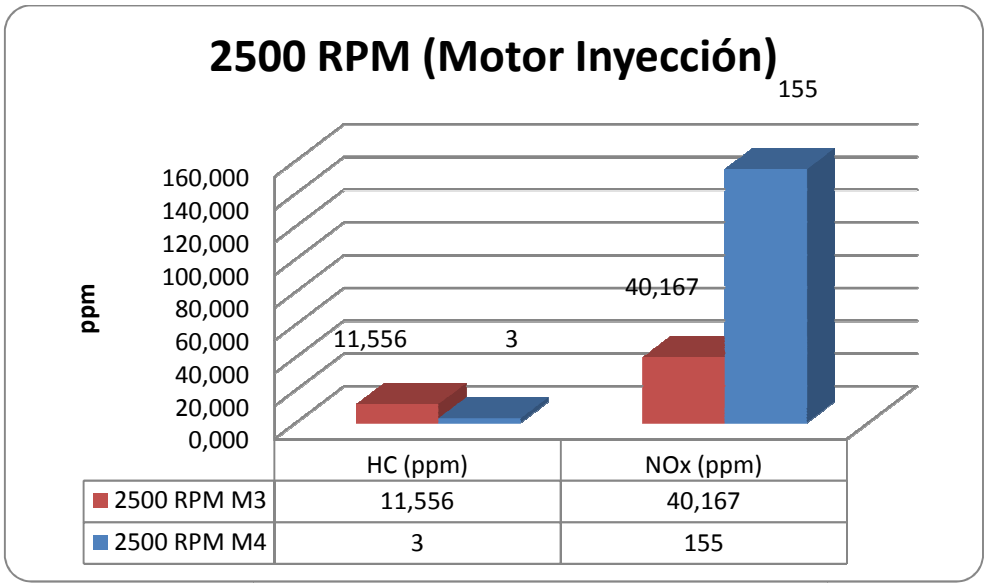
- El $CO_2$ disminuye con el aporte de hidrógeno en un 7.53%.
- El $O_2$ aumenta con el aporte de hidrógeno en un 76.3%.

La Tabla 4-26 muestra los resultados de HC y NOx en partes por millón obtenidos en la prueba TIS a 2500 RPM del motor a inyección, para las mezclas M3 y M4, cuyos resultados son representados en el Gráfico 4-21.

**Tabla 4-26:** Resultados de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en la prueba a 2500 RPM

| HC y NOX EN RALENTÍ DEL MOTOR A INYECCIÓN | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **Contaminante** | **2500 RPM M3** | **2500 RPM M4** |
| **HC (ppm)** | 11,556 | 2,83 |
| **NOx (ppm)** | 40,167 | 155 |
| **RPM** | 2500 | 2513 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-21:** Comparación de los contaminantes HC y NOx en (ppm) en prueba a 2500 RPM para las mezclas M3 y M4

Del Gráfico 4-21 se puede observar lo siguiente:

- Los HC disminuyen con el aporte de hidrógeno en un 32.1%.
- Los NOx aumentan con el aporte de hidrógeno en un 199%.

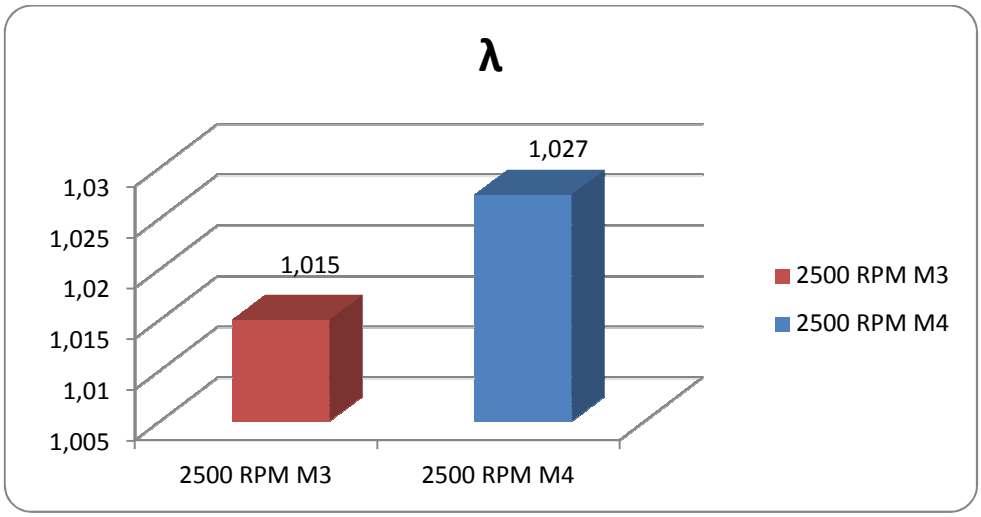
#### *4.1.2.1.3 Lambda a 2500 RPM*

La Tabla 4-27 presenta los resultados obtenidos de Lambda para las mezclas M1 y M2 en la prueba TIS a 2500 RPM, para el motor a inyección, la comparación de resultados se muestran en el Gráfico 4-22.

**Tabla 4-27:** Resultados de Lambda en prueba a 2500 RPM en motor a inyección

| LAMBDA EN RALENTÍ DEL MOTOR A INYECCIÓN | | |
|---|---|---|
| PROMEDIO | | |
| **LAMBDA** | **2500 RPM M3** | **2500 RPM M4** |
| **λ** | 1,015 | 1,027 |
| **RPM** | 2500 | 2513 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-22:** Comparación de Lambda en prueba a 2500 RPM motor a inyección

El Gráfico 4-22 presenta la comparación de los valores de Lambda (λ), el cual aumenta con el aporte de hidrógeno en un 0.98%.

### 4.1.2.2 Prueba dinámica Motor Otto a inyección

La prueba dinámica constituye la medición de torque o par y potencia del motor a inyección, para las mezclas M3 y M4, de acuerdo al procedimiento señalado en el Capítulo III, el detalle de los resultados se muestran en el **Anexo A2.2.**

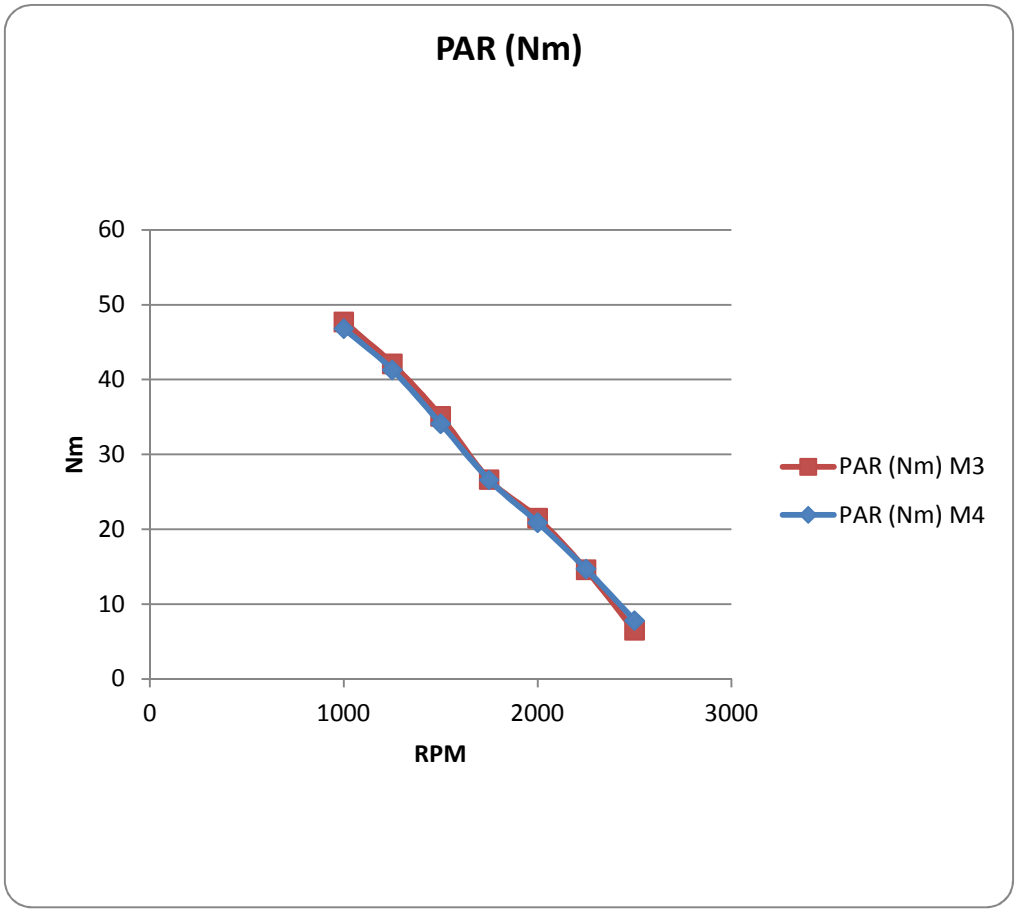
#### *4.1.2.2.1 Torque o par (Nm)*

La Tabla 4-28 presenta los valores de torque o par en la prueba dinámica para las mezclas M3 y M4 de 2500 a 1000 RPM.

**Tabla 4-28:** Resultado de los valores del Torque o Par en la prueba dinámica del motor a carburador

| RPM | PAR (Nm) M3 | PAR (Nm) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 6,5 | 7,8 |
| **2250** | 14,6 | 14,7 |
| **2000** | 21,5 | 20,9 |
| **1750** | 26,64 | 26,6 |
| **1500** | 35,1 | 34,1 |
| **1250** | 42,1 | 41,3 |
| **1000** | 47,7 | 46,8 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-23:** Comparación del torque o par en función de RPM en la prueba dinámica del motor a inyección

En el Gráfico 4-23 muestra las curvas de torque para el motor Otto a inyección, en el cual se aprecia que las curvas de M3 y M4 son similares en todos los puntos, evidenciándose que no existe una variación significativa de torque o par.

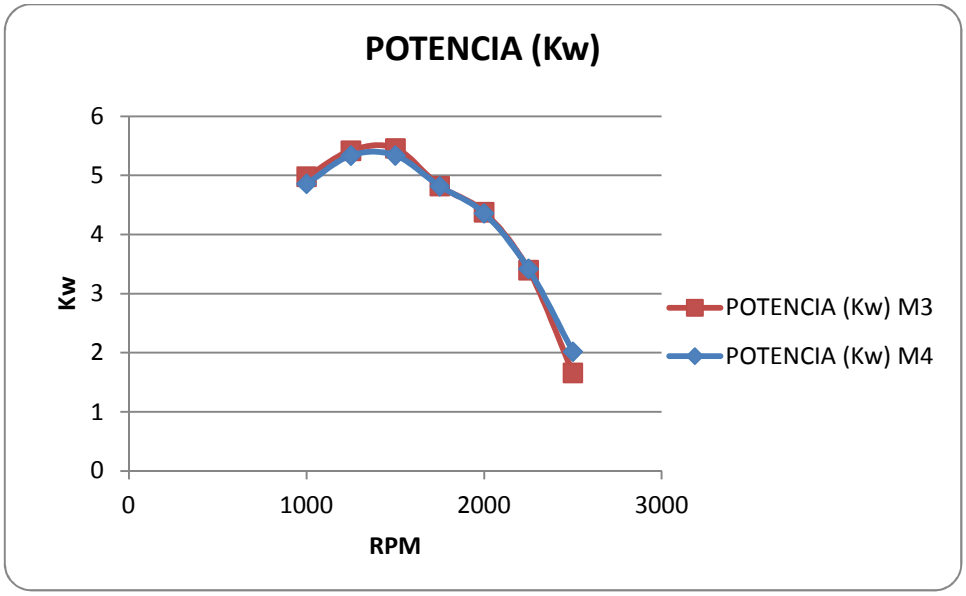
#### *4.1.2.2.2 Potencia (kw)*

La Tabla 4-29 presenta los resultados de potencia en la prueba dinámica para las mezclas M3 y M4 del motor a inyección desde los 2500 a 1000 RPM, el Gráfico 4-24 compara los valores obtenidos.

**Tabla 4-29:** Comparación de los valores de Potencia en la prueba dinámica para las mezclas M1 y M2

| RPM | POTENCIA (Kw) M3 | POTENCIA (Kw) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 1,66 | 2,02 |
| **2250** | 3,4 | 3,42 |
| **2000** | 4,38 | 4,36 |
| **1750** | 4,82 | 4,82 |
| **1500** | 5,46 | 5,34 |
| **1250** | 5,42 | 5,34 |
| **1000** | 4,98 | 4,86 |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-24:** Potencia en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para las mezclas M1 y M2

El Gráfico 4-24 muestra la comparación de las curvas de potencia perteneciente al motor a inyección, de las mezclas M3 y M4, observándose que no se afecta la potencia del motor con la adición de hidrógeno.

#### 4.1.2.3 Emisiones Otto para la prueba dinámica – motor inyección Gasolina Súper

En la prueba dinámica también se incluye el análisis de los gases de escape producto de la combustión de la gasolina, los cuales son CO, $CO_2$, $O_2$, HC y NOx, además de las pruebas del torque y potencia se analizan los valores de los contaminantes tomados desde 2500 RPM hasta 1000 RPM.

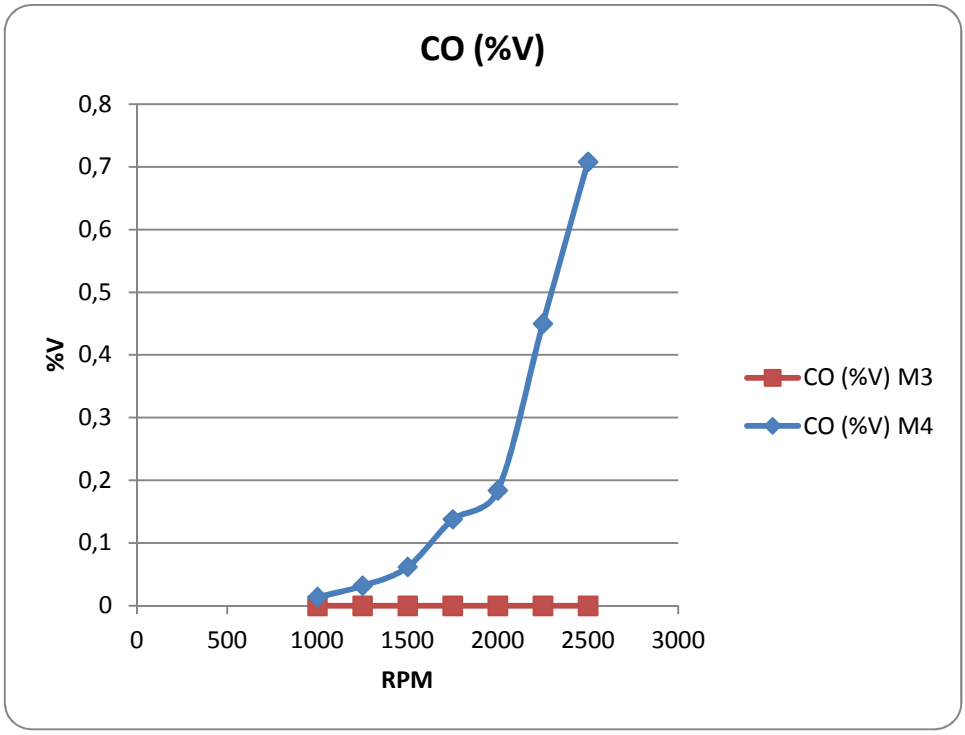
##### *4.1.2.3.1 Monóxido de Carbono (CO)*

La Tabla 4-30 indica los valores del contaminante Monóxido de Carbono (CO) obtenidos en cada una de las revoluciones de prueba dinámica para las mezclas M3 y M4.

**Tabla 4-30:** Resultados de Monóxido de Carbono (CO) en la prueba dinámica del motor a inyección

| RPM | CO (%V) M3 | CO (%V) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 0 | 0,708 |
| **2250** | 0 | 0,45 |
| **2000** | 0 | 0,184 |
| **1750** | 0 | 0,138 |
| **1500** | 0 | 0,062 |
| **1250** | 0 | 0,032 |
| **1000** | 0 | 0,014 |
| **Promedio** | **0** | **0,227** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-25:** Comparación de las curvas de (CO) en función de RPM en prueba dinámica del motor a inyección.

El Gráfico 4-25 muestra que el monóxido de carbono de la mezcla M4, se incrementa durante toda la prueba, se realiza el promedio de los resultados de la Tabla -30, obteniéndose un incremento del 100% respecto a M3.

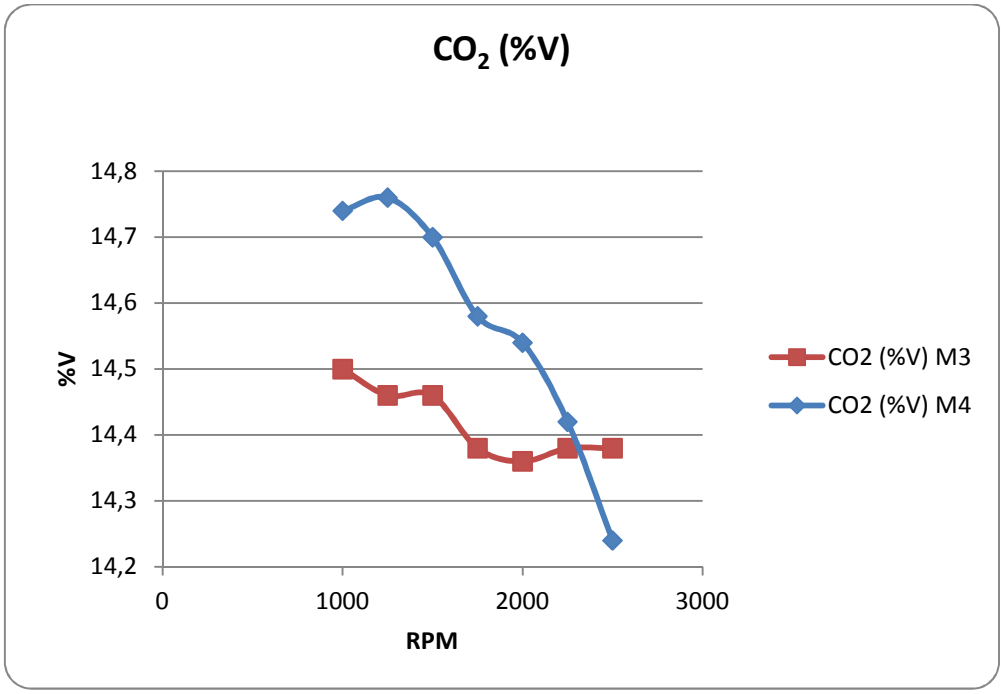
#### *4.1.2.3.2 Dióxido de Carbono ($CO_2$)*

La Tabla 4-31 indica los valores del contaminante dióxido de carbono ($CO_2$) obtenidos durante la prueba dinámica, los resultados de la mezcla M3 son prácticamente constantes durante la medición, los cuales están dentro de un valor promedio de 14,42%$CO_2$ durante la prueba, para la mezcla M4 se tienen igualmente valores similares entre ellos con un valor promedio de referencia para toda la prueba de 14,57%$CO_2$, la comparación de estos resultados se realiza en el Gráfico 4-26.

**Tabla 4-31:** Resultados de $CO_2$ en la prueba dinámica del motor a inyección

| RPM | $CO_2$ (%V) M3 | $CO_2$ (%V) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 14,38 | 14,24 |
| **2250** | 14,38 | 14,42 |
| **2000** | 14,36 | 14,54 |
| **1750** | 14,38 | 14,58 |
| **1500** | 14,46 | 14,7 |
| **1250** | 14,46 | 14,76 |
| **1000** | 14,5 | 14,74 |
| **Promedio** | **14.42** | **14.57** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-26:** Comparación del $CO_2$ en función de RPM en la prueba dinámica del motor a inyección

El Gráfico 4-26 indica el incremento de $CO_2$ de la mezcla M4 a partir de 2250 RPM, de los resultados promedios de la Tabla 4-31, se aprecia un incremento del 1.04% respecto a M3.

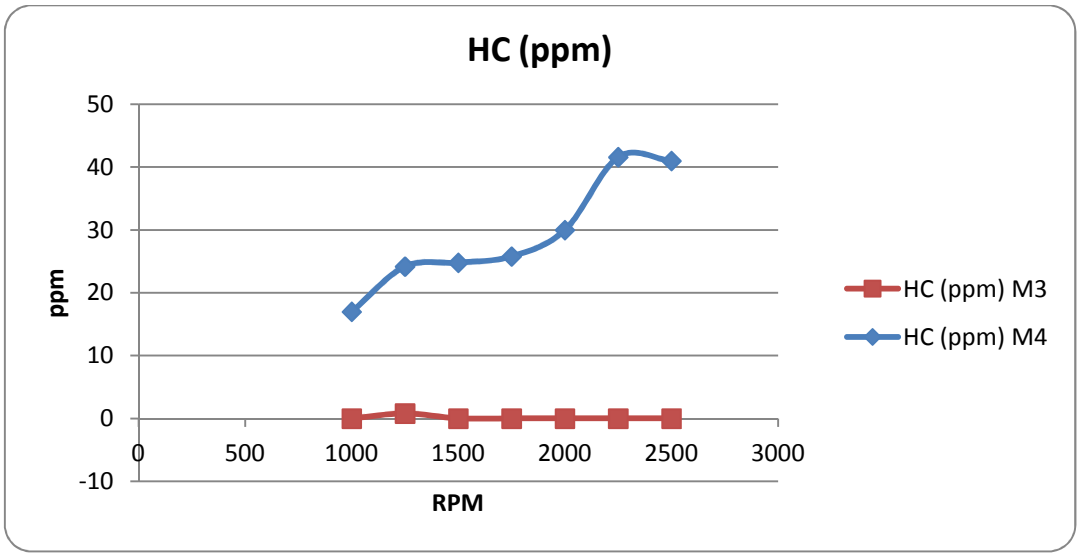
#### *4.1.2.3.3 Hidrocarburos no combustionados (HC)*

La Tabla 4-32 indica los resultados de los hidrocarburos no combustionados (HC) obtenidos durante la prueba dinámica del motor a inyección, el Gráfico 4-27 realiza la comparación de los mismos.

**Tabla 4-32:** Resultados de HC en la prueba dinámica del motor a inyección

| RPM | HC (ppm) M3 | HC (ppm) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 0 | 41 |
| **2250** | 0 | 41,6 |
| **2000** | 0 | 30 |
| **1750** | 0 | 25,8 |
| **1500** | 0 | 24,8 |
| **1250** | 0,8 | 24,2 |
| **1000** | 0 | 17 |
| **Promedio** | **0.114** | **29.2** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-27:** Comparación de HC en función de RPM de la prueba dinámica del motor a inyección

El Gráfico 4-27 indica las curvas de los hidrocarburos no combustionados donde se aprecia un incremento importante del contaminante HC en la mezcla M4, respecto a M3.

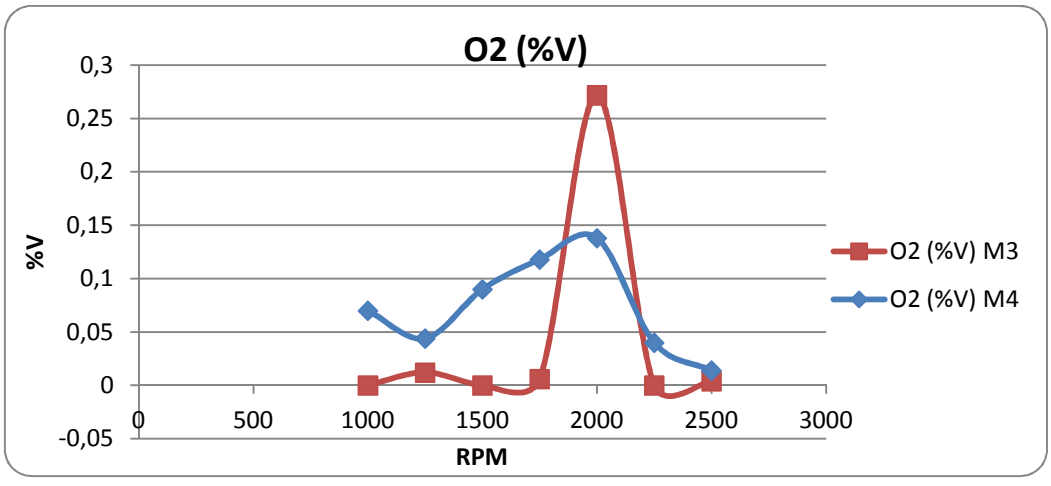
#### 4.1.2.3.4 Oxigeno ($O_2$)

La Tabla 4-33 muestra los valores obtenidos durante la prueba dinámica del contaminante $O_2$ para las mezclas M3 y M4, también se incluye el valor promedio del porcentaje en volumen de las dos mezclas.

**Tabla 4-33:** Resultados de $O_2$ en la prueba dinámica del motor a inyección

| RPM | $O_2$ (%V) M3 | $O_2$ (%V) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 0,004 | 0,014 |
| **2250** | 0 | 0,04 |
| **2000** | 0,272 | 0,138 |
| **1750** | 0,006 | 0,118 |
| **1500** | 0 | 0,09 |
| **1250** | 0,012 | 0,044 |
| **1000** | 0 | 0,07 |
| **Promedio** | **0,04** | **0,073** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-28:** Comparación de $O_2$ en función de RPM de la prueba dinámica del motor a inyección

En el Gráfico 4-28 compara las curvas de $O_2$ del motor a inyección observándose que la curva de la mezcla M4 disminuye en un 82.5 % respecto a M3.

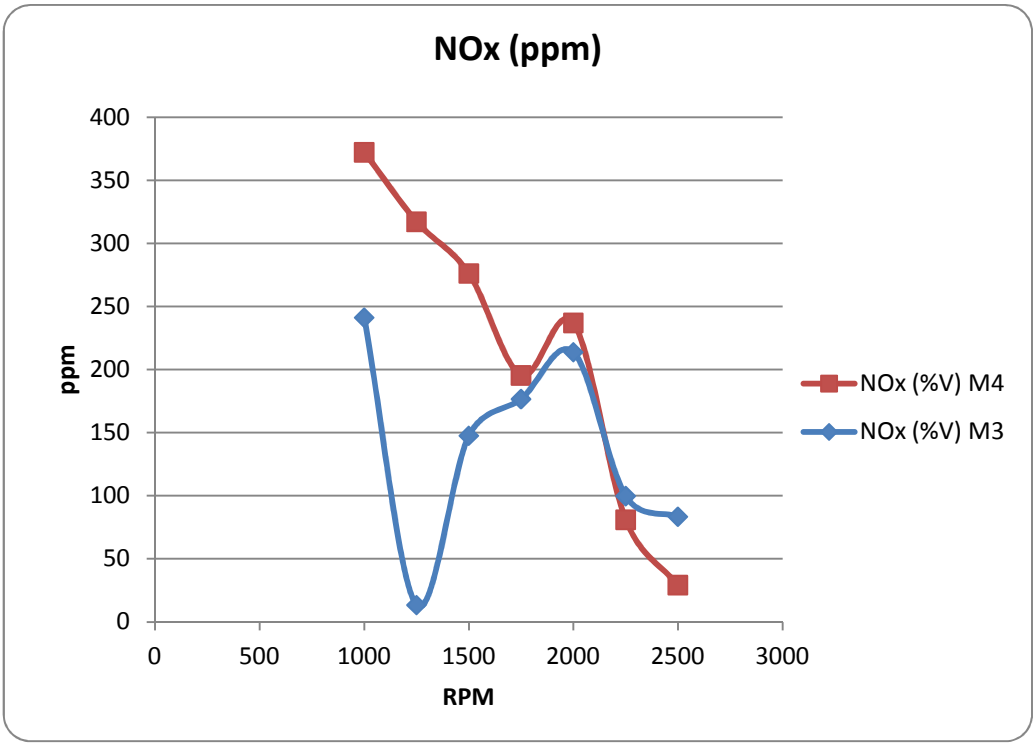
#### *4.1.2.3.5 Óxidos de Nitrógeno (NOx)*

La Tabla 4-34 muestra los resultados obtenidos durante la prueba dinámica del contaminante NOx para las mezclas M3 y M4, los NOx son considerados como reales en una prueba dinámica debido a que el motor está sometido a carga durante toda la prueba.

**Tabla 4-34:** Comparación de los resultados de NOx en la prueba dinámica para el motor a inyección

| RPM | NOx (ppm) M3 | NOx (ppm) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 83,4 | 29,2 |
| **2250** | 99,8 | 81 |
| **2000** | 213,8 | 237 |
| **1750** | 176,6 | 195,4 |
| **1500** | 147,6 | 276,2 |
| **1250** | 139,4 | 317,2 |
| **1000** | 241,2 | 372,2 |
| **Promedio** | **139,00** | **215,46** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-29:** Comparación de NOx en función RPM en la prueba dinámica para el motor a inyección

El Gráfico 4-29 muestra las curvas de NOx, para las mezclas M3 y M4, apreciándose un incremento de M4, al realizar el promedio de los valores de la Tabla 4-34, se evidencia un aumento del 55,01% respecto a la mezcla M3.

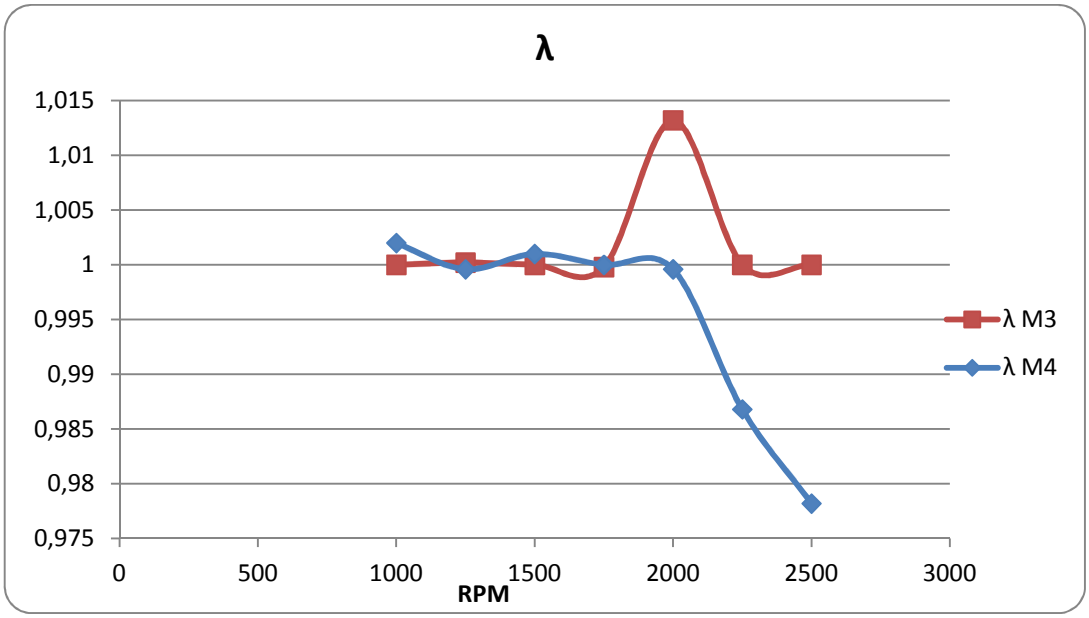
#### *4.1.2.3.6 Lambda (λ)*

En la Tabla 4-35 se presentan los valores obtenidos para el valor de lambda (λ), en donde se puede apreciar que los valores para la mezcla M3 están en un promedio de 1,002 con el motor funcionando con gasolina Súper, lo cual indica que el motor está trabajando con una mezcla ligeramente pobre; analizando los valores de lambda para la mezcla M4 se observa que los valores se encuentran en un promedio de 0,995 , indicando que el motor está funcionando con una mezcla ligeramente rica, La comparación y análisis de los resultados se muestran en el Gráfico 4-30.

**Tabla 4-35:** Resultado de lambda (λ) en la prueba dinámica del motor a inyección

| RPM | λ M3 | λ M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 1 | 0,9782 |
| **2250** | 1 | 0,9868 |
| **2000** | 1,0132 | 0,9996 |
| **1750** | 0,9998 | 1 |
| **1500** | 1 | 1,001 |
| **1250** | 1,0002 | 0,9996 |
| **1000** | 1 | 1,002 |
| **Promedio** | **1,002** | **0,995** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-30:** Comparación de Lambda (λ) en función de las revoluciones por minuto (RPM) en la prueba dinámica para el motor a inyección.

El Gráfico 4-30, compara las curvas de lambda en la prueba dinámica del motor a inyección, observándose una ligera reducción de la curva M4 de lambda, al realizar el promedio de los resultados de la Tabla 4-35, se evidencia una reducción de lambda del 0,70% respecto a M3.

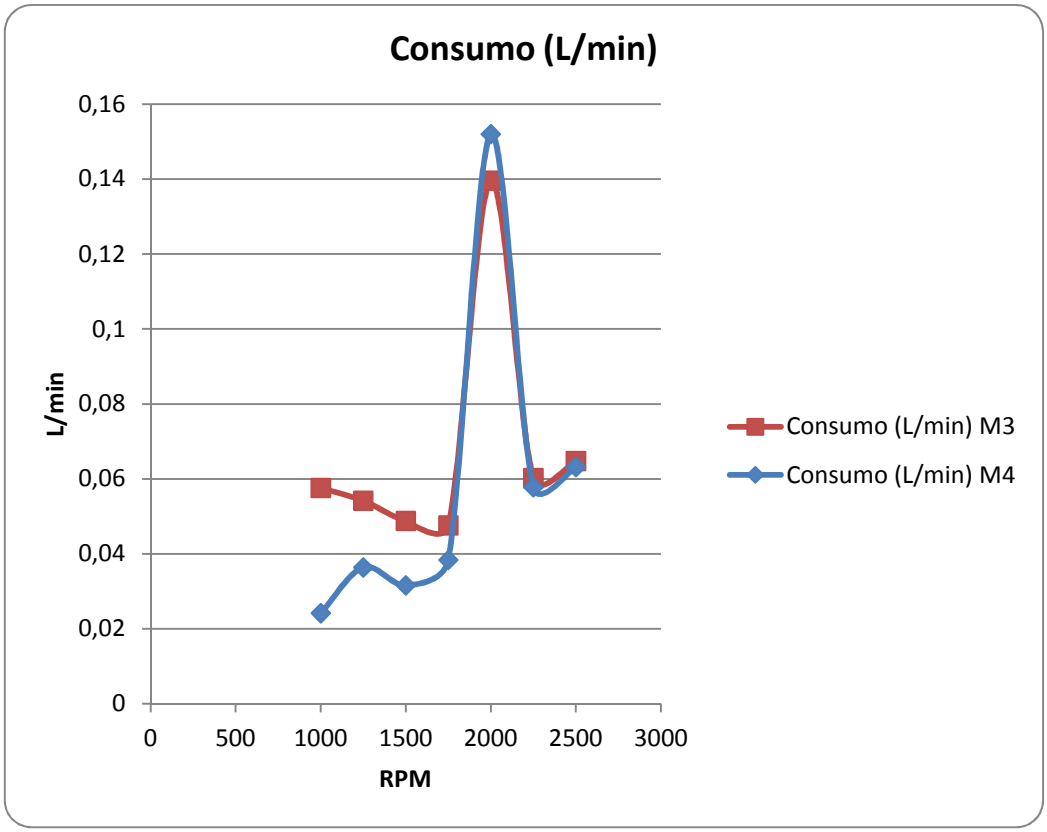
#### *4.1.2.3.7 Consumo de combustible*

La Tabla 4-36 muestra los resultados de consumo de combustible para el motor Otto a inyección, apreciándose que los valores de la mezcla M3 son relativamente similares a los obtenidos con la mezcla M4, además se muestra los valores promedio de M3 y M4, la comparación de estos resultados se detalla en el Gráfico 4-31.

**Tabla 4-36:** Resultado de los valores de Consumo de Combustible en la prueba dinámica del motor a inyección

| RPM | Consumo (L/min) M3 | Consumo (L/min) M4 |
|---|---|---|
| **2500** | 0,0648 | 0,0632 |
| **2250** | 0,0602 | 0,0578 |
| **2000** | 0,1396 | 0,152 |
| **1750** | 0,0476 | 0,0384 |
| **1500** | 0,0488 | 0,0316 |
| **1250** | 0,0542 | 0,0364 |
| **1000** | 0,0576 | 0,0242 |
| **Promedio** | **0,0675** | **0,0576** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-31:** Comparación del Consumo de Combustible en función de las RPM en la prueba dinámica para el motor a inyección

El Gráfico 4-31 se representa las curvas de Consumo de Combustible vs RPM para las mezclas M3 y M4, en el que se aprecia una ligera disminución de consumo de combustible durante toda la prueba, de los valores promedio de las dos mezclas se tiene que disminuye el consumo de combustible en un 14,63% respecto a M3.

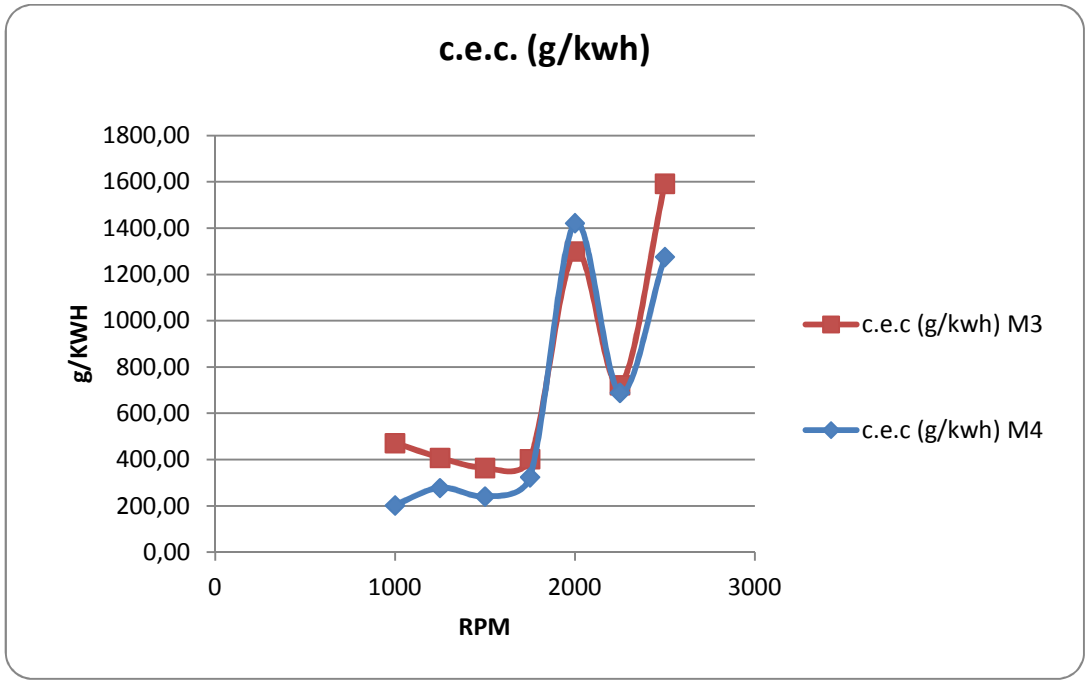
#### *4.1.2.3.8 Consumo específico de combustible*

En la Tabla 4-37 se presentan los resultados obtenidos para consumo específico de combustible para las mezcla M3 y M4, así como el valor promedio de las dos mezclas, la comparación de los resultados se realiza en el Gráfico 4-32.

**Tabla 4-37:** Resultado de Consumo Específico de Combustible en la prueba dinámica para el motor a inyección

| RPM | Consumo específico de combustible M3 (g/kwh) | Consumo específico de combustible M4 (g/kwh) |
|---|---|---|
| **2500** | 1592,67 | 1276,51 |
| **2250** | 722,40 | 689,54 |
| **2000** | 1300,38 | 1422,38 |
| **1750** | 402,92 | 325,04 |
| **1500** | 364,65 | 241,43 |
| **1250** | 408,00 | 278,11 |
| **1000** | 471,90 | 203,16 |
| **Promedio** | **751,84** | **633,74** |

Elaboración: Propia




Elaboración: Propia

**Grafico 4-32:** Comparación del consumo específico de combustible (c.e.c.) en función de RPM en la prueba dinámica para el motor a inyección

El Gráfico 4-32 muestra las curvas de consumo específico de combustible en el que se aprecia el aumento de consumo de M4 a 2000 RPM, evidenciándose una menor eficiencia de transformar el carburante en energía mecánica, respecto a la mezcla M3, realizados los promedios de los valores de la Tabla 4-37, se tiene como resultado un incremento del 15,70% respecto a M3.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizadas las pruebas estáticas, banco de pruebas y pruebas de consumo de combustible de los motores a carburador e inyección electrónica, de acuerdo a las Normas NTE INEN 2 203, 2 204, y luego de procesar los resultados obtenidos, se concluye y recomienda lo siguiente:

## CONCLUSIONES

- En el país las Normas INEN establecen los métodos de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes de los motores de gasolina en condiciones de marcha mínima o ralentí, así como establece los límites permitidos de emisiones contaminantes emitidos por este tipo de motores. Estos métodos de ensayo fueron aplicados en el presente estudio, con el objetivo de analizar la utilización del hidrógeno como combustible de aporte y su aplicabilidad en el país.
- Los resultados de las emisiones contaminantes de las pruebas en ralentí del motor a carburador indican, que con la utilización del hidrógeno como combustible de aporte, disminuyen los contaminantes de $CO_2$, HC y aumentan los gases contaminantes CO y $O_2$.
- Las pruebas a 2500 RPM del motor a carburador, con la utilización de hidrógeno como combustible de aporte, muestra la considerable disminución de los contaminantes CO, $CO_2$, y NOx, y aumento de los valores de HC y $O_2$, evidenciándose una notable mejora de las emisiones contaminantes.
- Los resultados de la prueba dinámica del motor a carburador, con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, demuestra que el torque o par y potencia no se ven afectadas durante toda la prueba.
- Los resultados de emisiones para prueba la dinámicas del motor a carburador con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, muestra que los contaminantes $CO_2$, HC, $O_2$, y NOx, disminuyen y CO sufre un aumento que no es significativo.

- Respecto al consumo de combustible del motor a carburador con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, el consumo en litros por minuto, se mantiene similar durante toda la prueba, mientras que el consumo específico de combustible sufre un aumento poco significativo, estableciendo una menor eficiencia de transformar el carburante en energía mecánica.
- Del resultado de las emisiones contaminantes de la prueba en ralentí del motor a inyección con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, se concluye que los contaminantes CO, HC y $O_2$, disminuye notablemente, mientras que el $CO_2$, aumentan ligeramente.
- Los resultados de la prueba a 2500 RPM, del motor a inyección con el uso de hidrógeno como combustible de aporte , muestra que los contaminantes $CO_2$, CO y HC, disminuyen, en tanto que el contaminante $O_2$ aumenta ligeramente.
- Los resultados de la prueba dinámica del motor a inyección con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, demuestra que no se ven afectados el torque o par y la potencia, durante toda la prueba.
- Respecto a la prueba de emisiones para la prueba dinámica del motor a inyección con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, se concluye que $CO_2$, CO, HC y NOx, aumentan ligeramente, mientras que $O_2$ disminuye.
- De los resultados de consumos obtenidos en el motor a inyección con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, se concluye que el consumo de combustible y consumo específico no se ven afectados durante toda la prueba.
- El comportamiento de las emisiones es diferente en ralentí, a 2500 rpm y en la prueba dinámica, tanto para el motor a carburador como para el motor a inyección, no pudiendo generalizar el resultado, en tanto los resultados de torque y potencia se concluye que con el aporte de hidrógeno no existe una diferencia considerable de estos parámetros.

# RECOMENDACIONES

- El presente trabajo incentiva a implementar tecnologías amigables que puedan ser usadas en la actualidad y que sirvan de sustento para en el futuro llegar a la aplicación del hidrógeno y recomienda ampliar el estudio en un plan piloto, de manera que se pueda experimentar en vehículos en carretera y de esta manera generalizar el estudio.
- Se recomienda realizar pruebas dinámicas en motores de vehículos en carretera con el objetivo de conocer el comportamiento del torque y potencia, con el uso del hidrógeno como combustible de aporte.
- Se recomienda formular una estrategia de socialización a los habitantes del país, en lo referente al uso de hidrógeno como combustible de aporte, de modo incentivar el mejoramiento de esta tecnología y en el futuro contribuya a la mitigación del cambio climático.
- El uso del hidrógeno, puede ser la solución de la reducción de emisiones de las zonas urbanas, por lo que se recomienda la implementación de la aplicación del hidrógeno como combustible en el transporte público.
- La mayoría de pruebas del presente trabajo, muestran la reducción de las emisiones de $CO_2$, lo cual es beneficioso y contribuye a la mitigación del impacto ambiental, y al no verse afectados el torque, potencia y consumo de combustible, sería una solución aplicable con el propósito de reducir el calentamiento global.

# BIBLIOGRAFÍA


1. Caiza P., Portilla A.: Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de Ciclo Otto, de inyección electrónica de gasolina; Tesis previa a la obtención del título de magister en Sistemas Automotrices, EPN, Quito, Diciembre 2010.
2. Cardenas E., Kaslin J., Caracterización Tecnológica del Parque Automotor del Distrito Metropolitano de Quito y Propuesta para la Reforma de la Normativa Ecuatoriana de Emisiones en Fuentes Móviles Terrestres, EPN, Quito, 2007.
3. Kubas, G. J., Metal Dihydrogen and σ-Bond Complexes, Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York, 2001
4. Berman R, Cooke AH, Hill RW. *Cryogenics*, Ann. Rev. Phys. Chem. 7 (1956). 1–20.
5. Shriver, D.F.; Atkins, P.W.; Langford, C.H. Química Inorgánica. Vol. 1. Segunda edición. Reverté. 1997.
6. Miessler GL, Tarr DA. (2004). *Inorganic Chemistry* 3rd ed. Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA
7. Gurov YB, Aleshkin DV, Berh MN, Lapushkin SV, Morokhov PV, Pechkurov VA, Poroshin NO, Sandukovsky VG, Tel'kushev MV, Chernyshev BA, Tschurenkova TD. (2004). Spectroscopy of superheavy hydrogen isotopes in stopped-pion absorption by nuclei. *Physics of Atomic Nuclei* 68(3):491–497.
8. Korsheninnikov AA. et al. (2003). Experimental Evidence for the Existence of 7H and for a Specific Structure of 8He. *Phys Rev Lett* 90, 082501.
9. Tikhonov VI, Volkov AA. (2002). Separation of water into its ortho and para isomers. *Science* 296(5577):2363.
10. "El gas natural y el hidrógeno en automoción", Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 11 de marzo (2003).
11. Andrés, J. y Andrés, P. "Carburantes Sintéticos", INGENIERIA QUIMICA, Mayo (1999).

12. Organización Mundial de la Salud, OMS Guías de Calidad del Aire actualización mundial 2005, Bonn Alemania 18-20 Oct 2005
13. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Transportation and Air Quality, Modeling and Inventories, http://www.epa.gov/otaq/mobile.htm
14. Borowiecki. T., Golebiowski. A., Riczkowski. B., Stasinka. B., Studies in surface science and catalysis 119 (1999) 711.
15. Williams RH, Larson ED, Katofsky RE, Chen J. Methanol and hydrogen from Biomass for transportation. Princeton, New Jersey, USA: Princeton University, Center for energy and environmental studies, 1994.
16. Faaij A, Hamelinck C, Tijmensen M. Long term perspectives for production of fuels from biomass; integrated assessment and R&D prioritiespreliminary results. In: Kyritsis S. et al., editors. Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry. London, UK: James & James Ltd., 2001, vol. 1,2, p. 687.90.
17. Boerrigten h., Green Diesel Production With Fischer & Tropsch Synthesys, platforng bioenergie, Alemania 2002
18. Maretto, C., Piccolo, V., Fischer-Tropsch process with a multistage bubble column reactor, Bur. Patent EP 0823470 AL 1998, AGPI, Institut Francais du Petrole.
19. L.M. Aparicio, J. Catal. 165 (1997) 262. (7) J. T. Richardson, S.A. Paripatyadar, Appl. Catal. 61 (1990) 293.
20. Z. Zhang, X. E. Verykios, J. Chem. Soc. Commmun. (1995) 71.
21. V. C. H. Kroll, H. M. Swaan, C. Miradotos, J. Catal. 161 (1996) 409
22. L. Shenglin, X. Longya, X. Sujuan, W. Qingxia, X. Guoxing, Appl Catal: General 211 (2001) 145
23. T. Borowiechi, A. Golebiowski, Catal. Lett. 25(1994) 309.
24. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Baleares. Jornada sobre energía, Abril (2003).
25. A new combined gas steam cycle promising up to 60% thermal efficiency. H. Jericha. Paper 10.1 , Cimac, Paris (1983).
26. CO2 – Retention capability of CH4/O2 – fired Graz cycle. 21st International Congres on combustion engines. Interlaken (1995).

27. http://www.enaa.or.jp/WE-NET
28. A study of thermodynamic cycle and system configurations of hydrogen combustión turbines. H. Sugisita y H. Mori
29. http://www.ocp.tudelft.nl/ev/prof/fac_pres.pdf
30. http://www.sparksdata.co.uk/
31. Mercedes Ballesteros. http://www.fisicaysociedad.es/pdfs/biomasa.pdf
32. R.E. Kirk – D.S. Othmer, Encyclopedia of Chemical Techology, 3ª ed. John Wiley, (1978).
33. A.J. Appleby y F.R. Foulkes, Fuel Cell Handbook, Van Nostrand Reinhold, (1989).
34. K. Kordesch y G. Sinader, Fuel Cells and their Applications. John Wiley, (1996).
35. U.S. Department of Energy, Fuel Cells: AHandbook, 4ª edición, (1998).
36. J.O. Ogjen. Annual Review Energy Environ, 227- 279 (1999).
37. D. Voss, Science, 682-5 (1999).
38. S. Srinivasan, R. Mosdale, P. Stevens y C. Yang, Annual Review Energy Environ., 281-328 (1999).
39. A. Contreras y otros, Int. J. Hydrogen Energy, 1041- 52 (1999)
40. K. Kendall, Nature, 233-5, 265-7 (2000).
41. Actas de la Reunión de París (Francia) sobre Producción Nuclear de hidrógeno, 2-3 octubre 2000, NEA-OCDE. París (2001).
42. L. Schlapbach y A. Züttel, Nature, 353-8 (2001).
43. N.S. Lewis, Nature, 589-90 (2001).
44. Z. Zou y otros, Nature, 625-7 (2001).
45. M. Grätzel, Nature, 338-44 (2001).
46. R. George y K. Hassman, Siemens Power Journal, 5- 17 (2001).
47. B.C.H. Steele y A. Heinzel, Nature, 345-352 (2001).
48. R.F. Service, Science, 1222-4 (2002)
49. T. Happe y otros, Trends in Plant Science, 246-50 (2002)

# ANEXOS

# ANEXO A1 CUADROS DE COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

**Anexo A1.1:** Comparación de los valores obtenidos para las mezclas M1 y M2 en el motor Otto carburador en la prueba TIS.

| | PRUEBA TIS - MOTOR OTTO CARBURADOR | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CONTAMINANTE | CO (%V) | | $CO_2$ (%V) | | HC (ppm) | | $O_2$ (%V) | | λ | | NOx (ppm) | | RPM | |
| | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 |
| RALENTÍ | 0,29 | 0,34 | 13,1 | 12,1 | 259,5 | 139,67 | 1,97 | 2,18 | 1,078 | 1,100 | 141,17 | 151,17 | 800 | 847 |
| 2500 RPM | 1,1 | 0,28 | 13,5 | 12,1 | 82,5 | 153,67 | 0,63 | 2,09 | 0,993 | 1,097 | 211 | 146,33 | 2500 | 2508 |

**Anexo A1.2:** Comparación de los valores obtenidos para las mezclas M3 y M4 en el motor Otto inyección en la prueba TIS.

| | PRUEBA TIS - MOTOR OTTO INYECCIÓN | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CONTAMINANTE | CO (%V) | | $CO_2$ (%V) | | HC (ppm) | | $O_2$ (%V) | | λ | | NOx (ppm) | | RPM | |
| | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 |
| RALENTÍ | 0,075 | 0 | 14,333 | 13,3 | 12,167 | 14 | 0,348 | 1,51 | 1,017 | 1,079 | 2,00 | 36,86 | 800 | 808 |
| 2500 RPM | 0 | 0 | 14,450 | 13,88 | 11,556 | 2,83 | 0,362 | 0,67 | 1,015 | 1,027 | 40,167 | 155 | 2500 | 2513 |

**Anexo A1.3:** Comparación de los valores obtenidos para las mezclas M1 y M2 en el motor Otto carburador en la prueba dinámica.

| | PRUEBA DINÁMICA - MOTOR OTTO CARBURADOR | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO (%V) | | $CO_2$ (%V) | | HC (ppm) | | $O_2$ (%V) | | NOx (ppm) | | λ | |
| RPM | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 |
| 2500 | 0,774 | 0,64 | 13,68 | 12,66 | 41,6 | 34,2 | 0,65 | 1,018 | 306,4 | 267,4 | 1,005 | 1,029 |
| 2250 | 0,67 | 0,632 | 13,68 | 12,68 | 52,2 | 28 | 0,684 | 0,916 | 439 | 266 | 1,009 | 1,025 |
| 2000 | 0,626 | 0,626 | 13,64 | 12,7 | 74 | 40 | 0,738 | 0,946 | 640,4 | 353,2 | 1,010 | 1,026 |
| 1750 | 0,524 | 0,568 | 13,56 | 12,66 | 105,4 | 50,2 | 1,006 | 1,042 | 962,2 | 504 | 1,028 | 1,033 |
| 1500 | 0,4 | 0,47 | 13,38 | 12,64 | 114,4 | 65 | 1,382 | 1,112 | 1137 | 732,6 | 1,053 | 1,039 |
| 1250 | 0,202 | 0,372 | 12,96 | 12,66 | 115,8 | 73,4 | 2,13 | 1,214 | 1269,4 | 906,2 | 1,108 | 1,047 |
| 1000 | 0,108 | 0,206 | 12,36 | 12,52 | 110,8 | 75 | 3,064 | 1,5 | 1187,6 | 992,4 | 1,185 | 1,069 |

**Anexo A1.4:** Comparación de los valores obtenidos para las mezclas M3 y M4 en el motor Otto inyección en la prueba dinámica.

| | PRUEBA DINÁMICA - MOTOR OTTO INYECCIÓN | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO (%V) | | $CO_2$ (%V) | | HC (ppm) | | $O_2$ (%V) | | NOx (ppm) | | λ | |
| RPM | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 |
| 2500 | 0 | 0,708 | 14,38 | 14,24 | 0 | 41 | 0,004 | 0,014 | 83,4 | 29,2 | 1 | 0,978 |
| 2250 | 0 | 0,45 | 14,38 | 14,42 | 0 | 41,6 | 0 | 0,04 | 99,8 | 81 | 1 | 0,9868 |
| 2000 | 0 | 0,184 | 14,36 | 14,54 | 0 | 30 | 0,272 | 0,138 | 213,8 | 237 | 1,013 | 0,999 |
| 1750 | 0 | 0,138 | 14,38 | 14,58 | 0 | 25,8 | 0,006 | 0,118 | 176,6 | 195,4 | 0,999 | 1 |
| 1500 | 0 | 0,062 | 14,46 | 14,7 | 0 | 24,8 | 0 | 0,09 | 147,6 | 276,2 | 1 | 1,001 |
| 1250 | 0 | 0,032 | 14,46 | 14,76 | 0,8 | 24,2 | 0,012 | 0,044 | 139,4 | 317,2 | 1 | 0,999 |
| 1000 | 0 | 0,014 | 14,5 | 14,74 | 0 | 17 | 0 | 0,07 | 241,2 | 372,2 | 1 | 1,002 |

**Anexo A1.5:** Comparación de los valores obtenidos para las mezclas M1 y M2 en el motor Otto carburador en la prueba dinámica.

| | PRUEBA DINÁMICA - MOTOR OTTO CARBURADOR | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Par (Nm) | | Potencia (kw) | | Consumo de combustible (L/min) | | Consumo especifico de combustible (g/kw-h) | |
| RPM | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 |
| 2500 | 6,4 | 5,7 | 1,56 | 1,48 | 0,1202 | 0,177 | 3143,69 | 4879,45 |
| 2250 | 13,74 | 14,3 | 3,14 | 3,3 | 0,1418 | 0,1506 | 1842,69 | 1861,96 |
| 2000 | 21,8 | 21,1 | 4,54 | 4,4 | 0,1422 | 0,1566 | 1277,92 | 1452,1 |
| 1750 | 31,4 | 30 | 5,7 | 5,48 | 0,2286 | 0,272 | 1636,29 | 2025,11 |
| 1500 | 38,9 | 38,3 | 6,04 | 5,96 | 0,3126 | 0,3778 | 2111,6 | 2586,28 |
| 1250 | 45,8 | 44,5 | 5,96 | 5,76 | 0,378 | 0,4118 | 2587,65 | 2916,91 |
| 1000 | 50,8 | 48,4 | 5,28 | 5,04 | 0,4 | 0,4368 | 3090,9 | 3536 |

**Anexo A1.6:** Comparación de los valores obtenidos para las mezclas M3 y M4 en el motor Otto a inyección en la prueba dinámica.

| | PRUEBA DINÁMICA - MOTOR OTTO INYECCIÓN | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Par (Nm) | | Potencia (kw) | | Consumo de combustible (L/min) | | Consumo especifico de combustible (g/kw-h) | |
| RPM | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 | M3 | M4 |
| 2500 | 6,5 | 7,8 | 1,66 | 2,02 | 0,0648 | 0,0632 | 1592,67 | 1276,51 |
| 2250 | 14,6 | 14,7 | 3,4 | 3,42 | 0,0602 | 0,0578 | 722,4 | 689,54 |
| 2000 | 21,5 | 20,9 | 4,38 | 4,36 | 0,1396 | 0,152 | 1300,38 | 1422,38 |
| 1750 | 26,64 | 26,6 | 4,82 | 4,82 | 0,0476 | 0,0384 | 402,92 | 325,04 |
| 1500 | 35,1 | 34,1 | 5,46 | 5,34 | 0,0488 | 0,0316 | 364,65 | 241,43 |
| 1250 | 42,1 | 41,3 | 5,42 | 5,34 | 0,0542 | 0,0364 | 408 | 278,11 |
| 1000 | 47,7 | 46,8 | 4,98 | 4,86 | 0,0576 | 0,0242 | 471,9 | 203,16 |

# ANEXO A2 MANUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO

FuelfromH2o PRESENTS

Owner"s Manual

FuelFromH2O Drive more, save more and pollute less!

Owner's Manual and Guide

Technical Support

Phone 770-783-1678

Mon - Fri 9am - 5pm Eastern Time USA

## Table of Contents :


How to get the most from your Fuel from H2O Generator ..... 1

How to Service your Fuel from H2O Generator ..... 1

Fuel from H2O System operation ..... 2

System Schematic ..... 2

Tips and tricks - try this ..... 5

If you have trouble ..... 5

Contact your installer, for service and repair ..... 5

What to do if there is a leak from your system ..... 5


# How to get the most from

# your FuelfromH20 System Generator

**Maintenance is important !!!**

To get the most from your Fuel from H20 system there are a few simple maintenance items that are required to keep your system operating properly. We recommend that you visit your installer for routine maintenance at every oil change service for your vehicle. In between service visits, you will need to top of the reservoir tank with pure "stream distilled" water. DO NOT USE tap water or bottle water that is not steam distilled or the service life of your unit will be severely shortened.

In hot weather you will add water more frequently, not more Vinegar. The HHO is made from the water in vinegar and it is normal for the reservoir tank level to

. 8>[7○ 64 /2.○○

Magnums remove the drain hose plug. Allow the vinegar to drain into a suitable collection pan. The vinegar is non toxic and if a little spills it will do no harm. When no more vinegar flows, fill the reservoir with clean tap water and flush the system until clean water is seen coming from the drain.

2. Replace the drain plug and use some Teflon tape on the plug threads for good sealing and tighten until snug. Caution do not over tighten! This could damage the HHO generator. If you have a Magnum you can also service the unit using this step.

3. Refill the system with a 40% mix of pure distilled white vinegar and 60% steam distilled water. No substitutes please

4. Start the Engine and allow the system to "pickle" for about an hour.

5. At first there may be some foaming, this is normal and will be dramatically reduced in a few hours.

6. You will notice that the color of the electrolyte [vinegar/water] will go from clear to a rose or burgundy color. This is normal..

7. Note: in Cold weather, the electrolyte will turn green when not being used, "BUT" when turned on it will immediately turn back to it's normal color.

## C –Trap Service

Your HHO system includes a C trap to prevent any backup of any electrolyte solution from entering your engine. There is a drain at the bottom of the C

Trap to remove any trapped condensation. $H_2O$ is formed from condensation in the transference of HHO to your engine and is normal. The C-trap is just another added value of the Fuel from $H_2O$ system. Please see the system diagram for its location.

## Fuel from $H_2O$ System operation :

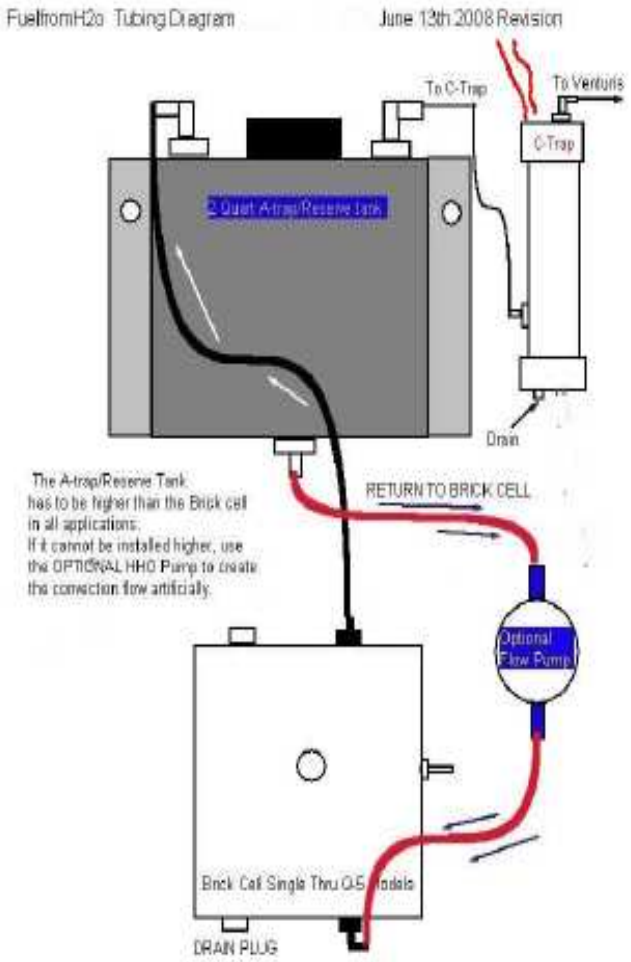
Your Fuel from $H_2O$ system uses an on-off switch that is usually mounted on your dash. It is lit when the system is on, and when the light is off, the HHO system is not in operation. After you start your engine, Your system will not work unless turned to the on position. Turn the HHO system switch to on. The HHO system will now start making HHO, and will take about twenty minutes to achieve maximum output. Longer in cold temperatures and shorter in hot climates.

**For HHO to be produced the Switch must be on and illuminated!**

**When you turn off the ignition your Fuelfrom$H_2O$ system is automatically turned off! This is a safety featured designed into the system.**

## System Schematic :

Please look at the diagram to see how your system electrolyte flows and how your system is wired into your vehicles electrical system .




# Electrical wiring instructions:

**Lets now do the wiring: on the Series18a models**

1, Find the control box in your shipment, it can be either a single relay or dual relay control box. The 16a thru 18a triple cells use the single relay box. All other largermodels

use the dual relay box. All relay control boxes connect up the same way, you only have 2 extra #10 gauge wires on the dual controller that connect a second connection to the battery and to the larger cell model to share the load. The illustration below shows the control box wiring .

1, You can see the 6 wires exiting the bottom of the control box [dual relay model].
The 2 wires on the left [pair] #10 gauge red go to the positive post [+] on your vehicles battery.
It is best to use the provided in-line fuse protectors in this line to the battery.

2, The center two [pair] #10 gauge red wires connect to the two #10 gauge red wires that are connected on the cell that are already provided.

3, The last two wires on the right each have their own connections.

, #16 .

B, The black #16gauge wire is connected to the vehicles ground .

**Condensation Trap [C-Trap]**

The C-trap has 3 fittings all are functional and have a purpose.

1, Top fitting goes from the C-Trap over to the Venturi(s)

2, The lower side fitting goes to one of the unused remaining top fittings on the reserve tank.

3, The bottom fitting is a manual drain fitting with a rubber stopper for easy draining.

4, For auto draining, you can use a short length of hose and a spare wye fitting and connect the bottom of the C-Trap into the down flow hose from the bottom of the reserve tank to the bottom of the HHO cell.

5, Make sure that the top of the C-Trap is always a little bit higher then the top of the reserve tank.

**Special Note: On Single 18a relay models [Triple Cell] there is only one #10 gauge red wire to the battery and only one #10gauge red wire to the cell. On Series18a Q-4 thru Magnum models there are two red #10 red wires from the battery to the control box and from the dual relay control box**

**down to the two positive connections on the cell.**

## Wiring the Series19a Models

**Control Solenoid >>>**

1, The control solenoid is easy to wire on the Series19a models. The heavy lugs on either side of the solenoid are for the main power in from the battery and the other side connects to the positive red wires on the Hho cell. Series19a Triples through Magnum models

2, The two smaller lugs on the top of the solenoid are for the control to turn it on and off.

3, Connect the ACC wire from the power switch to one of the small connector lugs on top and connect a ground wire to the other small lug on top and connect it to the vehicle ground.

## Wiring the Toggle power switch.

**The Power Switch has three male spade lugs on the rear of the switch. There is the Power, Acc & Ground spades. Each are identified clearly by the label on the side of the toggle switch.**

1, The Power spade gets it power from either using an ADD-A-Circuit or 12 volt power source from the vehicle's ignition when the ignition key is in the ON/RUN position.

2, The ACC spade gets it's connection from the #16 gauge red wire from the control box. Or from one of the small top lug connections on the Series 19a control solenoid.

3, The Ground spade connects to the vehicles ground using the black #14 gauge wire provided in the shipment.

4, it is best to mount the switch inside the vehicle some where on the dash for ease of use.

**The master power switch enables you to still run your vehicle and be capable of turning off the system in the event you run out of water in your tank.**

**Venturi Installation:**

1, Locate the throttle body on your engine [that's where the other end of the gas pedal linkage or wiring connects].

2, Looking at it picture a clock, you want to locate position 11 o'clock and 1" o'clock. At those locations drill the two 1/2" holes as close to the throttle body or turbo "if equipped" as possible.

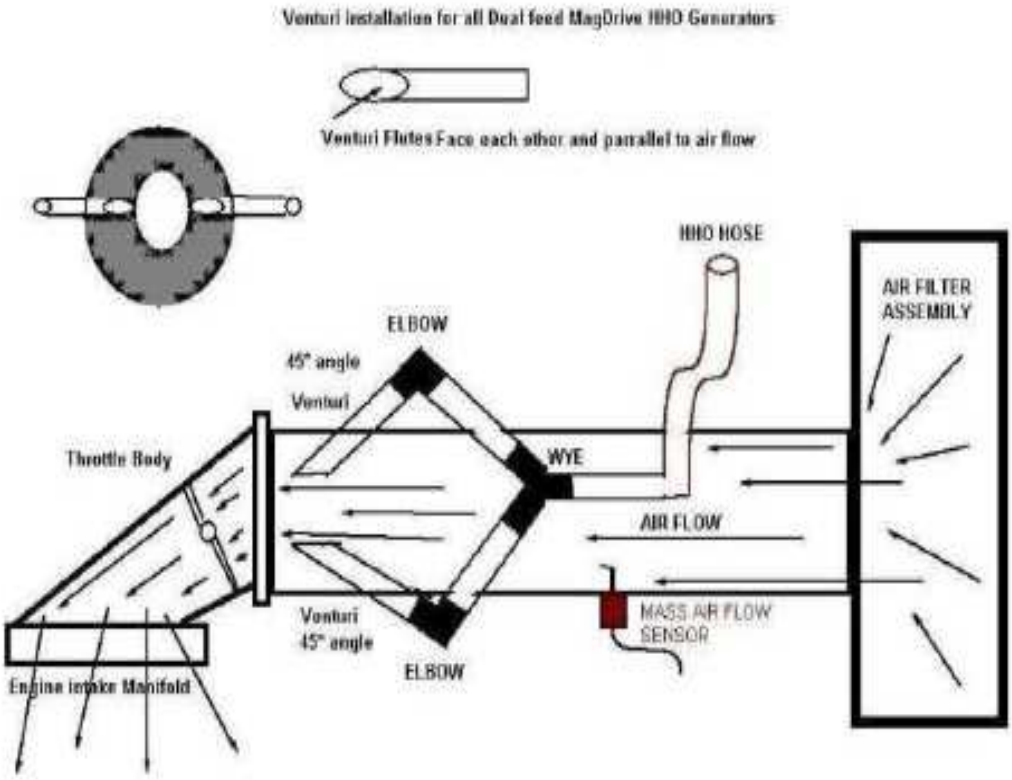
3, Now in your parts bag you will fine 2, venturi tubes [45* angle cut tubes], [2 barbed elbows if needed] and a Wye [Y] fitting.

4, Attach each of those tubes the wye fitting.

5, Make sure the cut flutes are pointing away from you as you hold onto the wye.

9, Now put the fluted ends into the 2 holes you previously drilled.

10, Connect the staff end of the Wye [Y] to the outbound Hose/Tube from your C-trap/reserve tank. [EXAMPLE PHOTO BELOW]




II, You do not want the venturi tubes to protrude any further in then 1/3rd of the inside diameter of the air tube going to the throttle body or turbo.

Also the venturi tube points should point towards the engine's throttle body or turbo so the moving air flows across the cut fluted edges and creates a vacuum.

Questions? CALL US, the number is on your support sheet.

**Lets Fill it up:**

After the installation is complete you need to fill the unit as follows.

You must use "Steam distilled water or clean filtered tap water" for topping off the reserve tank as you use up the electrolyte".

For the 16a & 18a & b Series FuelfromH2o units you can use the following.

**Mixing your electrolyte solution is very simple Series IIa – IIIa systems.**

1, 1 gallon of WHITE DISTILLED VINEGAR.

2, Fill your entire unit with a 60/40 steam distilled or filtered water/vinegar mix.

3, As the electrolyte solution is being used, top off the system circulator tank with the steam distilled or clean filtered water "only". Once you have used an entire gallon of clean water by topping off the tank as needed, do the following.

6, Flush out the entire system with normal tap water until the flush water runs completely clean and clear by filling the tank and by removing the drain plug[s] on the bottom of the cell.

7, Replace the drain plug[s] then fill the tank with your original electrolyte mix that was left over from the prior original fill up or make up a new batch.

8, Repeat the process of topping off the tank with steam distilled or clean filtered water as needed.

**Special Note: Mix as directed on 12 volt systems, dilute by 50% on 24 volt systems.**

**Electrolyte Solution for Series I9a Models**

1, In your shipping box, you will find two 4 ounce bottles, one is liquid, the other of powder. Use one ounce from the liquid bottle and one **HALF** cap full of the powder into [one gallon] of steam distilled water.

2, Shake it up thoroughly and pour it up to the fill line on the reserve tank.

3, From that point on you only top the system off with steam distilled water.

4, Do not add any more of the Hydrolyte mix until you perform a flush and drain service and refill the system over again. Sometimes the mix may be to strong for your system and draw high amps. If so and it pops the fuses, drain the reserve tank back into the mix bottle and save it then replace the drained out mix with steam distilled water. From then on just top off your system with steam distilled water.

5, The left over hydrolyte mix can be stored for later use, it won't deplete or weaken, just keep the storage container closed up.

**Special Note: Mix as directed on 12 volt systems, dilute mix strength by 50% on 24 volt systems.**

**DONOT USE ANY SODIUM BASED OR ALKALINE CATALYST IN A FUELFROMH2o UNIT. THIS WILLVOID ANY PRODUCT WARRANTEES OR GUARANTEES.**

**Tips and tricks** - try this: When driving at High Way speeds use your cruise control to get the maximum, fuel economy of your FuelfromH2o system. You will notice more power from your vehicle, with the Fuel from H2o system. This is because HHO allows your engine to use more of the fuel going through your engine to make power! You will need less throttle opening to go the same speed with HHO as compared to Non HHO operation. Your Engine is now producing up to 85% less tailpipe emissions! If you have trouble Please call your installer, for service and repair.
Their info is located here:
Certified Installer _____
Address _____
Phone _____
Email address _____

**What to do if you develop a leak in your system:**

Don"t worry, it"s just non toxic vinegar or Hydrolyte. It won"t hurt a thing. Top off the system with
distilled water, until you can visit a certified repair center. On a road trip? Fuel from H2O has installers and repair stations worldwide. Please call the factory at 866-488-0938 [Toll Free] USA & Canada to get the closest repair station to your location. Monday - Friday 9am - 5pm Eastern Time USA. Or by visiting the Factory website at:

http://www.fuelfromh2o.com

1, The HHo cell above is a Series 19a Triple cell made with a dielectric polyurethane case.

2, The two top fittings are joined together with a wye fitting [included] and are then connected to one of the top fittings on the reserve tank by a single common superthane hose.

3, The bottom single fitting on the cell is connected to the bottom fitting on the reserve tank.

4, On the left side of the cell [on the latest models] you will find a straight hose fitting below the black negative ground wire connection. That fitting is for the service of the cell for maintenance and flushing.

The Q-4 through the Magnums model have 2 top fittings and 2 bottom fittings. Both need to be connected into a wye fitting [included] to connect to and from the reserve

tank. These models also have a center bottom straight fitting for maintenance drain and flush service.

Questions call us at 866-488-0938

9am - 5pm Mon - Friday Eastern Time.

# ANEXO A3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

## ANEXO A3.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL MOTOR A CARBURADOR CON LAS MEZCLAS M1 Y M2

## ANEXO A3.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL MOTOR A INYECCIÓN CON LAS MEZCLAS M3 Y M4

**ANEXO A3.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL MOTOR A CARBURADOR CON LAS MEZCLAS M1 Y M2**

**ANEXO A3.1.1:** Valores obtenidos de la Prueba TIS al motor Otto a carburador para la mezcla M1

| **DATOS DEL MOTOR** | | | |
|---|---|---|---|
| **MARCA** | MITSUBISHI | **AÑO** | 1996 |

| **PRUEBA TIS (M1)** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTAMINANTE** | | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **λ** | **NOx (ppm)** | **RPM** |
| **PRUEBA 1** | **Ralentí** | 0,22 | 13 | 268 | 2,38 | 1,102 | 130 | 800 |
| | **2500 RPM** | 1,08 | 13,5 | 84 | 0,61 | 0,992 | 203 | 2500 |
| **PRUEBA 2** | **Ralentí** | 0,26 | 13 | 266 | 2,29 | 1,096 | 131 | 800 |
| | **2500 RPM** | 1,09 | 13,5 | 75 | 0,69 | 0,996 | 211 | 2500 |
| **PRUEBA 3** | **Ralentí** | 0,27 | 13,1 | 302 | 2,07 | 1,082 | 143 | 800 |
| | **2500 RPM** | 1,11 | 13,5 | 89 | 0,6 | 0,991 | 208 | 2500 |
| **PRUEBA 4** | **Ralentí** | 0,35 | 13,2 | 224 | 1,76 | 1,067 | 146 | 800 |
| | **2500 RPM** | 1,12 | 13,5 | 79 | 0,59 | 0,99 | 220 | 2500 |
| **PRUEBA 5** | **Ralentí** | 0,3 | 13,2 | 229 | 1,71 | 1,066 | 151 | 800 |
| | **2500 RPM** | 1,1 | 13,5 | 79 | 0,64 | 0,993 | 209 | 2500 |
| **PRUEBA 6** | **Ralentí** | 0,35 | 13,1 | 268 | 1,59 | 1,056 | 146 | 800 |
| | **2500 RPM** | 1,09 | 13,5 | 89 | 0,65 | 0,994 | 215 | 2500 |

**ANEXO A3.1.2:** Valores obtenidos de la Prueba TIS al motor Otto a carburador para la mezcla M2

| DATOS DEL MOTOR | | | |
|---|---|---|---|
| **MARCA** | MITSUBISHI | **AÑO** | 1996 |

| PRUEBA TIS (M2) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTAMINANTE** | | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **λ** | **NOx (ppm)** | **RPM** |
| **PRUEBA 1** | **Ralentí** | 0,22 | 12 | 147 | 2,57 | 1,127 | 137 | 850 |
| | **2500 RPM** | 0,2 | 12,1 | 155 | 2,23 | 1,108 | 129 | 2530 |
| **PRUEBA 2** | **Ralentí** | 0,41 | 12,3 | 116 | 1,7 | 1,071 | 181 | 840 |
| | **2500 RPM** | 0,21 | 12 | 159 | 2,29 | 1,112 | 135 | 2490 |
| **PRUEBA 3** | **Ralentí** | 0,36 | 12,1 | 132 | 2,24 | 1,103 | 151 | 850 |
| | **2500 RPM** | 0,29 | 12,2 | 153 | 1,98 | 1,09 | 146 | 2500 |
| **PRUEBA 4** | **Ralentí** | 0,4 | 12,2 | 121 | 2,07 | 1,092 | 153 | 840 |
| | **2500 RPM** | 0,35 | 12,2 | 134 | 1,8 | 1,079 | 163 | 2520 |
| **PRUEBA 5** | **Ralentí** | 0,36 | 12 | 169 | 2,21 | 1,1 | 151 | 850 |
| | **2500 RPM** | 0,26 | 12,1 | 161 | 2,18 | 1,102 | 138 | 2490 |
| **PRUEBA 6** | **Ralentí** | 0,27 | 12 | 153 | 2,26 | 1,108 | 134 | 850 |
| | **2500 RPM** | 0,35 | 12 | 160 | 2,07 | 1,093 | 167 | 2520 |

**ANEXO A3.1.3:** Valores promedio de la Prueba TIS al motor Otto a carburador.

| | CO (%V) | $CO_2$ (%V) | HC (ppm) | $O_2$ (%V) | λ | NOx (ppm) | RPM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ralentí M1** | 0,29 | 13,1 | 259,5 | 1,97 | 1,078 | 141,17 | 800 |
| **Ralentí M2** | 0,34 | 12,1 | 139,67 | 2,18 | 1,1 | 151,17 | 847 |

**ANEXO A3.1.4:** Valores promedio de la Prueba TIS al motor Otto a carburador.

| | CO (%V) | $CO_2$ (%V) | HC (ppm) | $O_2$ (%V) | λ | NOx (ppm) | RPM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2500 RPM M1** | 1,1 | 13,5 | 82,5 | 0,63 | 0,993 | 211 | 2500 |
| **2501 RPM M2** | 0,28 | 12,1 | 153,67 | 2,09 | 1,097 | 146,33 | 2508 |

**ANEXO A3.1.5:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M1. Prueba 1.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 1 |
| **FECHA** | 27-may-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M1 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,714 | 0,73 | 0,734 | 0,778 | 0,902 | 0,704 | 0,7 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,607 | 0,549 | 0,589 | 0,542 | 0,553 | 0,363 | 0,208 |
| **PAR (Nm)** | 6 | 13,5 | 21,5 | 30,5 | 37 | 44,5 | 51 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,5 | 3 | 4,4 | 5,5 | 5,8 | 5,8 | 5,3 |
| **CO (%V)** | 0,68 | 0,57 | 0,54 | 0,46 | 0,33 | 0,17 | 0,08 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,7 | 13,6 | 13,6 | 13,1 | 12,1 | 10,6 | 8,9 |
| **HC (ppm)** | 25 | 39 | 60 | 92 | 93 | 87 | 76 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,7 | 0,82 | 0,86 | 1,59 | 3,32 | 5,46 | 7,83 |
| **NOx (%V)** | 328 | 436 | 629 | 941 | 954 | 993 | 868 |
| **λ** | 1,011 | 1,02 | 1,022 | 1,065 | 1,165 | 1,333 | 1,584 |
| **Consumo (L/min)** | 0,107 | 0,181 | 0,145 | 0,236 | 0,349 | 0,341 | 0,492 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 2910,4 | 2461,6 | 1344,54 | 1750,69 | 2455,03 | 2398,75 | 3787,47 |

**ANEXO A3.1.6:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M1. Prueba 2.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 2 |
| **FECHA** | 27-may-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M1 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,714 | 0,72 | 0,749 | 0,807 | 0,901 | 0,711 | 0,653 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,565 | 0,588 | 0,56 | 0,575 | 0,525 | 0,367 | 0,21 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 13 | 20,5 | 30,5 | 38,5 | 44,5 | 50 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,6 | 3 | 4,3 | 5,6 | 6 | 5,7 | 5,2 |
| **CO (%V)** | 0,78 | 0,65 | 0,6 | 0,49 | 0,45 | 0,17 | 0,11 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,6 | 13,7 | 13,6 | 13,7 | 13,6 | 13,5 | 13,2 |
| **HC (ppm)** | 34 | 50 | 69 | 105 | 118 | 120 | 118 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,64 | 0,75 | 0,73 | 0,93 | 0,91 | 1,4 | 1,87 |
| **NOx (%V)** | 294 | 454 | 634 | 981 | 1176 | 1339 | 1263 |
| **λ** | 1,005 | 1,013 | 1,013 | 1,025 | 1,025 | 1,059 | 1,086 |
| **Consumo (L/min)** | 0,149 | 0,132 | 0,189 | 0,232 | 0,376 | 0,344 | 0,443 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 3799,5 | 1795,2 | 1793,3 | 1690,28 | 2556,8 | 2462,31 | 3475,84 |

**ANEXO A3.1.7:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M1. Prueba 3.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 3 |
| **FECHA** | 27-may-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M1 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,701 | 0,722 | 0,745 | 0,807 | 0,852 | 0,796 | 0,667 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,617 | 0,598 | 0,62 | 0,578 | 0,571 | 0,389 | 0,301 |
| **PAR (Nm)** | 6 | 12,7 | 23 | 32,5 | 40 | 47 | 51 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,6 | 2,9 | 4,8 | 5,8 | 6,2 | 6,1 | 5,3 |
| **CO (%V)** | 0,78 | 0,67 | 0,66 | 0,54 | 0,4 | 0,24 | 0,13 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,7 | 13,7 | 13,6 | 13,6 | 13,7 | 13,6 | 13,3 |
| **HC (ppm)** | 46 | 52 | 79 | 109 | 118 | 121 | 118 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,67 | 0,5 | 0,74 | 0,79 | 0,88 | 1,16 | 1,7 |
| **NOx (%V)** | 301 | 449 | 652 | 992 | 1189 | 1331 | 1319 |
| **λ** | 1,006 | 1,001 | 1,001 | 1,0016 | 1,025 | 1,044 | 1,076 |
| **Consumo (L/min)** | 0,084 | 0,124 | 0,125 | 0,229 | 0,281 | 0,407 | 0,366 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 2142 | 1744,55 | 1062,5 | 1610,89 | 1849,16 | 2722,22 | 2817,50 |

**ANEXO A3.1.8:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M1. Prueba 4.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 4 |
| **FECHA** | 27-may-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M1 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,753 | 0,786 | 0,751 | 0,833 | 0,841 | 0,776 | 0,681 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,598 | 0,619 | 0,621 | 0,592 | 0,562 | 0,391 | 0,347 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 15 | 22 | 31,5 | 39,5 | 46,5 | 50,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,3 | 3,5 | 4,7 | 5,8 | 6,1 | 6,1 | 5,3 |
| **CO (%V)** | 0,84 | 0,77 | 0,66 | 0,56 | 0,41 | 0,2 | 0,11 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,5 | 13,2 |
| **HC (ppm)** | 46 | 58 | 77 | 108 | 118 | 122 | 120 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,67 | 0,69 | 0,66 | 0,83 | 1,01 | 1,42 | 1,77 |
| **NOx (%V)** | 312 | 436 | 637 | 957 | 1181 | 1314 | 1269 |
| **λ** | 1,004 | 1,006 | 1,008 | 1,018 | 1,031 | 1,058 | 1,081 |
| **Consumo (L/min)** | 0,155 | 0,167 | 0,13 | 0,241 | 0,279 | 0,385 | 0,334 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 4864,62 | 1946,74 | 1128,51 | 1695,31 | 1866,09 | 2575,08 | 2571,16 |

**ANEXO A3.1.9:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M1. Prueba 5.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 5 |
| **FECHA** | 27-may-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M1 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,722 | 0,732 | 0,746 | 0,783 | 0,857 | 0,847 | 0,709 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,616 | 0,627 | 0,624 | 0,578 | 0,579 | 0,434 | 0,344 |
| **PAR (Nm)** | 7 | 14,5 | 22 | 32 | 39,5 | 46,5 | 51,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,8 | 3,3 | 0,45 | 5,8 | 6,1 | 6,1 | 5,3 |
| **CO (%V)** | 0,79 | 0,69 | 0,67 | 0,57 | 0,41 | 0,23 | 0,11 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,8 | 13,6 | 13,2 |
| **HC (ppm)** | 57 | 62 | 85 | 113 | 125 | 129 | 122 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,57 | 0,66 | 0,7 | 0,89 | 0,79 | 1,21 | 2,15 |
| **NOx (%V)** | 297 | 420 | 650 | 940 | 1185 | 1370 | 1219 |
| **λ** | 1 | 1,007 | 1,009 | 1,02 | 1,02 | 1,046 | 1,1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,106 | 0,105 | 0,122 | 0,205 | 0,278 | 0,413 | 0,365 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 2402,66 | 1298,18 | 1106,13 | 1442,07 | 1859,41 | 2762,36 | 2809,81 |

**ANEXO A3.1.10:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M2. Prueba 1.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 1 |
| **FECHA** | 02-jun-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M2 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,743 | 0,72 | 0,774 | 0,845 | 0,935 | 0,749 | 0,67 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,623 | 0,577 | 0,61 | 0,593 | 0,537 | 0,366 | 0,306 |
| **PAR (Nm)** | 6 | 14 | 19,5 | 29 | 37,5 | 43 | 47,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,6 | 3,2 | 4 | 5,3 | 5,8 | 5,6 | 4,9 |
| **CO (%V)** | 0,83 | 0,73 | 0,73 | 0,68 | 0,52 | 0,4 | 0,21 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,6 | 12,6 | 12,7 | 12,6 | 12,7 | 12,7 | 12,6 |
| **HC (ppm)** | 25 | 26 | 41 | 48 | 61 | 70 | 72 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,8 | 0,84 | 0,9 | 1 | 1,04 | 1,15 | 1,47 |
| **NOx (%V)** | 260 | 290 | 373 | 476 | 697 | 862 | 951 |
| **λ** | 1,012 | 1,018 | 1,02 | 1,026 | 1,033 | 1,043 | 1,067 |
| **Consumo (L/min)** | 0,12 | 0,143 | 0,164 | 0,252 | 0,398 | 0,383 | 0,364 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 3060 | 1823,25 | 1672,8 | 1939,92 | 2799,72 | 2790,42 | 3030,85 |

**ANEXO A3.1.11:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M2. Prueba 2.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 2 |
| **FECHA** | 02-jun-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M2 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,752 | 0,756 | 0,747 | 0,888 | 0,95 | 0,778 | 0,707 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,586 | 0,616 | 0,6 | 0,589 | 0,583 | 0,36 | 0,211 |
| **PAR (Nm)** | 5 | 13 | 20 | 29 | 37 | 44,5 | 47,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,3 | 3 | 4,2 | 5,3 | 5,8 | 5,7 | 5 |
| **CO (%V)** | 0,74 | 0,72 | 0,66 | 0,56 | 0,5 | 0,39 | 0,21 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,6 | 12,6 | 12,5 |
| **HC (ppm)** | 32 | 31 | 41 | 53 | 63 | 71 | 79 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,79 | 0,82 | 0,89 | 0,97 | 1,06 | 1,16 | 1,47 |
| **NOx (%V)** | 259 | 258 | 351 | 483 | 709 | 881 | 1007 |
| **λ** | 1,014 | 1,016 | 1,022 | 1,029 | 1,035 | 1,044 | 1,067 |
| **Consumo (L/min)** | 0,166 | 0,14 | 0,147 | 0,299 | 0,367 | 0,418 | 0,496 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 5209,84 | 1904 | 1428 | 2301,73 | 2581,65 | 2992 | 4047,36 |

**ANEXO A3.1.12:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M2. Prueba 3.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 3 |
| **FECHA** | 02-jun-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M2 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,808 | 0,741 | 0,778 | 0,895 | 0,989 | 0,773 | 0,662 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,601 | 0,622 | 0,618 | 0,596 | 0,574 | 0,355 | 0,315 |
| **PAR (Nm)** | 5,5 | 14 | 20,5 | 29 | 37,5 | 43,5 | 49 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,4 | 3,2 | 4,3 | 5,2 | 5,8 | 5,7 | 5 |
| **CO (%V)** | 0,62 | 0,63 | 0,61 | 0,57 | 0,42 | 0,37 | 0,19 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,5 |
| **HC (ppm)** | 39 | 29 | 37 | 47 | 70 | 76 | 71 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,98 | 0,9 | 0,95 | 1,1 | 1,13 | 1,23 | 1,52 |
| **NOx (%V)** | 266 | 261 | 338 | 497 | 742 | 901 | 982 |
| **λ** | 1,028 | 1,024 | 1,027 | 1,036 | 1,041 | 1,048 | 1,071 |
| **Consumo (L/min)** | 0,207 | 0,119 | 0,16 | 0,299 | 0,415 | 0,418 | 0,347 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 6032,57 | 1517,25 | 1518,13 | 2346 | 2919,31 | 2992 | 2831,52 |

**ANEXO A3.1.13:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M2. Prueba 4.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 4 |
| **FECHA** | 02-jun-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M2 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,745 | 0,754 | 0,77 | 0,835 | 0,89 | 0,708 | 0,727 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,572 | 0,607 | 0,617 | 0,596 | 0,517 | 0,26 | 0,257 |
| **PAR (Nm)** | 6 | 15 | 22,5 | 31 | 39 | 45,5 | 49 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,5 | 3,5 | 4,7 | 5,7 | 6,1 | 5,8 | 5,2 |
| **CO (%V)** | 0,47 | 0,52 | 0,6 | 0,57 | 0,5 | 0,37 | 0,2 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,6 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,6 | 12,7 | 12,5 |
| **HC (ppm)** | 37 | 24 | 40 | 51 | 64 | 78 | 78 |
| **$O_2$ (%V)** | 1,35 | 1,07 | 0,98 | 1,03 | 1,1 | 1,22 | 1,53 |
| **NOx (%V)** | 275 | 261 | 340 | 519 | 756 | 934 | 988 |
| **λ** | 1,053 | 1,037 | 1,028 | 1,032 | 1,037 | 1,047 | 1,071 |
| **Consumo (L/min)** | 0,173 | 0,147 | 0,153 | 0,239 | 0,373 | 0,448 | 0,47 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 4705,60 | 1713,60 | 1328,17 | 1710,74 | 2494,82 | 3151,45 | 3687,69 |

**ANEXO A3.1.14:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a carburador para la mezcla M2. Prueba 5.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 5 |
| **FECHA** | 02-jun-10 |
| **MARCA** | MITSUBISHI |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M2 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | CARBURADOR |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 0,713 | 0,772 | 0,771 | 0,825 | 0,857 | 0,806 | 0,716 |
| **RETORNO (L/min)** | 0,494 | 0,568 | 0,612 | 0,554 | 0,521 | 0,414 | 0,209 |
| **PAR (Nm)** | 6 | 15,5 | 23 | 32 | 40,5 | 46 | 49 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,6 | 3,6 | 4,8 | 5,9 | 6,3 | 6 | 5,1 |
| **CO (%V)** | 0,54 | 0,56 | 0,53 | 0,46 | 0,41 | 0,33 | 0,22 |
| **$CO_2$ (%V)** | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,5 |
| **HC (ppm)** | 38 | 30 | 41 | 52 | 67 | 72 | 75 |
| **$O_2$ (%V)** | 1,17 | 0,95 | 1,01 | 1,11 | 1,23 | 1,31 | 1,51 |
| **NOx (%V)** | 277 | 260 | 364 | 545 | 759 | 953 | 1034 |
| **λ** | 1,04 | 1,029 | 1,032 | 1,04 | 1,047 | 1,054 | 1,069 |
| **Consumo (L/min)** | 0,219 | 0,204 | 0,159 | 0,271 | 0,336 | 0,392 | 0,507 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 5584,5 | 2312 | 1351,5 | 1874,03 | 2176 | 2665,6 | 4056 |

**ANEXO A3.1.15:** MOTOR CARBURADOR – GASOLINA EXTRA – GASOLINA EXTRA + H2

| **PRUEBA DINÁMICA MOTOR CARBURADOR – GASOLINA EXTRA (M1)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PROMEDIO** | | | | | | |
| TIPO DE ALIMENTACIÓN: | CARBURADOR | | | PRUEBA EN: | DINAMÓMETRO MOTOR | |
| | **CONTAMINANTE** | | | | | **LAMBDA** |
| **RPM** | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **NOx (ppm)** | **λ** |
| 2500 | 0,774 | 13,68 | 41,6 | 0,65 | 306,4 | 1,0052 |
| 2250 | 0,67 | 13,68 | 52,2 | 0,684 | 439 | 1,0094 |
| 2000 | 0,626 | 13,64 | 74 | 0,738 | 640,4 | 1,0106 |
| 1750 | 0,524 | 13,56 | 105,4 | 1,006 | 962,2 | 1,0288 |
| 1500 | 0,4 | 13,38 | 114,4 | 1,382 | 1137 | 1,0532 |
| 1250 | 0,202 | 12,96 | 115,8 | 2,13 | 1269,4 | 1,108 |
| 1000 | 0,108 | 12,36 | 110,8 | 3,064 | 1187,6 | 1,1854 |

| **PRUEBA DINÁMICA MOTOR CARBURADOR – GASOLINA EXTRA + H2 (M2)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PROMEDIO** | | | | | | |
| TIPO DE ALIMENTACIÓN: | CARBURADOR | | | PRUEBA EN: | DINAMÓMETRO MOTOR | |
| | **CONTAMINANTE** | | | | | **LAMBDA** |
| **RPM** | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **NOx (ppm)** | **λ** |
| 2500 | 0,64 | 12,66 | 34,2 | 1,018 | 267,4 | 1,029 |
| 2250 | 0,632 | 12,68 | 28 | 0,916 | 266 | 1,025 |
| 2000 | 0,626 | 12,7 | 40 | 0,946 | 353,2 | 1,026 |
| 1750 | 0,568 | 12,66 | 50,2 | 1,042 | 504 | 1,033 |
| 1500 | 0,47 | 12,64 | 65 | 1,112 | 732,6 | 1,039 |
| 1250 | 0,372 | 12,66 | 73,4 | 1,214 | 906,2 | 1,047 |
| 1000 | 0,206 | 12,52 | 75 | 1,5 | 992,4 | 1,069 |

## ANEXO A3.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL MOTOR A INYECCIÓN CON LAS MEZCLAS M3 Y M4

**ANEXO A.3.2.1:** Valores obtenidos de la Prueba TIS al motor Otto a inyección para la mezcla M3

| DATOS DEL MOTOR | | | |
|---|---|---|---|
| **MARCA** | LADA | **AÑO** | 2003 |

| PRUEBA TIS (M3) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTAMINANTE** | | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **λ** | **NOx (ppm)** | **RPM** |
| **PRUEBA 1** | **Ralentí** | 0,07 | 9,9 | 83 | 6,83 | 1,458 | 0 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14,6 | 14 | 0,37 | 1,016 | 43 | 2500 |
| **PRUEBA 2** | **Ralentí** | 0 | 10,2 | 17 | 5,75 | 1,384 | 2 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14,5 | 11 | 0,39 | 1,017 | 46 | 2500 |
| **PRUEBA 3** | **Ralentí** | 0,01 | 11,3 | 48 | 5,13 | 1,306 | 2 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14,4 | 0 | 0,4 | 1,018 | 56 | 2500 |
| **PRUEBA 4** | **Ralentí** | 0 | 10,8 | 22 | 5,13 | 1,323 | 65 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14,5 | 0 | 0,35 | 1,016 | 55 | 2500 |
| **PRUEBA 5** | **Ralentí** | 0,3 | 11,6 | 154 | 4,46 | 1,235 | 1 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14,4 | 0 | 0,4 | 1,018 | 64 | 2500 |
| **PRUEBA 6** | **Ralentí** | 0,27 | 11,2 | 159 | 4,78 | 1,264 | 5 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14,4 | 0 | 0,38 | 1,018 | 47 | 2500 |

**ANEXO A.3.2.2:** Valores obtenidos de la Prueba TIS al motor Otto a inyección para la mezcla M4

| DATOS DEL MOTOR | | | |
|---|---|---|---|
| **MARCA** | LADA | **AÑO** | 2003 |

| PRUEBA TIS (M4) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTAMINANTE** | | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **λ** | **NOx (ppm)** | **RPM** |
| **PRUEBA 1** | **Ralentí** | 0 | 14,1 | 12 | 0,18 | 1,008 | 25 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 13,9 | 0 | 0,69 | 1,003 | 159 | 2500 |
| **PRUEBA 2** | **Ralentí** | 0 | 13,5 | 36 | 1,12 | 1,055 | 2 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14 | 17 | 0,68 | 1,032 | 169 | 2500 |
| **PRUEBA 3** | **Ralentí** | 0 | 14 | 23 | 0,15 | 1,006 | 2 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 14 | 0 | 0,63 | 1,03 | 151 | 2500 |
| **PRUEBA 4** | **Ralentí** | 0 | 13,1 | 1 | 2,69 | 1,14 | 3 | 800 |
| | **2500 RPM** | 0 | 13,8 | 0 | 0,68 | 1,033 | 150 | 2500 |
| **PRUEBA 5** | **Ralentí** | 0 | 12,9 | 12 | 2,7 | 1,142 | 76 | 830 |
| | **2500 RPM** | 0 | 13,8 | 0 | 0,69 | 1,034 | 154 | 2550 |
| **PRUEBA 6** | **Ralentí** | 0 | 12,2 | 0 | 2,23 | 1,124 | 113 | 820 |
| | **2500 RPM** | 0 | 13,8 | 0 | 0,65 | 1,032 | 147 | 2530 |

**ANEXO A.3.2.3:** Valores promedio de la Prueba TIS al motor Otto a inyección

| | CO (%V) | $CO_2$ (%V) | HC(ppm) | $O_2$ (%V) | λ | NOx (ppm) | RPM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ralentí M3** | 0,075 | 14,333 | 12,167 | 0,348 | 1,017 | 2,00 | 800 |
| **Ralentí M4** | 0 | 13,3 | 14 | 1,51 | 1,079 | 36,86 | 808 |

**ANEXO A.3.2.4:** Valores promedio de la Prueba TIS al motor Otto a inyección

| | CO (%V) | $CO_2$ (%V) | HC (ppm) | $O_2$ (%V) | λ | NOx (ppm) | RPM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2500 RPM M3** | 0 | 14,450 | 11,556 | 0,362 | 1,015 | 40,167 | 2500 |
| **2501 RPM M4** | 0 | 13,88 | 2,83 | 0,67 | 1,027 | 155 | 2513 |

**ANEXO A.3.2.5:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M3. Prueba 1.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 1 |
| **FECHA** | 21-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M3 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,526 | 1,528 | 1,605 | 1,463 | 1,466 | 1,441 | 1,417 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,461 | 1,466 | 1,466 | 1,423 | 1,422 | 1,389 | 1,363 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 15,5 | 21 | 27,2 | 34,5 | 42 | 47 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,5 | 3,6 | 4,3 | 4,9 | 5,4 | 5,4 | 4,9 |
| **CO (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,6 | 14,7 | 14,7 | 14,7 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 75 | 66 | 132 | 164 | 143 | 34 | 255 |
| **λ** | 1 | 1 | 1 | 0,999 | 1 | 0,999 | 1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,065 | 0,062 | 0,139 | 0,04 | 0,044 | 0,052 | 0,054 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1768 | 702,67 | 1318,88 | 333,06 | 332,44 | 392,89 | 449,63 |

**ANEXO A.3.2.6:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M3. Prueba 2.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 2 |
| **FECHA** | 21-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M3 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,553 | 1,559 | 1,427 | 1,504 | 1,499 | 1,498 | 1,449 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,499 | 1,5 | 1,289 | 1,458 | 1,443 | 1,433 | 1,399 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 15 | 22,5 | 27,5 | 36,5 | 42,5 | 48 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,7 | 3,6 | 4,7 | 5 | 5,7 | 5,5 | 5 |
| **CO (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,3 | 14,4 | 14,4 | 14,3 | 14,4 | 14,4 | 14,4 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 90 | 104 | 212 | 196 | 127 | 16 | 268 |
| **λ** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,054 | 0,059 | 0,138 | 0,046 | 0,056 | 0,065 | 0,05 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1296 | 668,67 | 1197,96 | 375,36 | 400,84 | 482,18 | 408 |

**ANEXO A.3.2.7:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M3. Prueba 3.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 3 |
| **FECHA** | 21-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M3 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,596 | 1,568 | 1,643 | 1,526 | 1,501 | 1,481 | 1,459 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,526 | 1,516 | 1,494 | 1,479 | 1,453 | 1,429 | 1,402 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 14 | 21,5 | 27 | 36 | 43,5 | 48,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,7 | 3,3 | 4,4 | 4,9 | 5,6 | 5,6 | 5,1 |
| **CO (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,4 | 14,4 | 14,4 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 81 | 90 | 162 | 153 | 185 | 11 | 173 |
| **λ** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,07 | 0,052 | 0,149 | 0,047 | 0,048 | 0,052 | 0,057 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1680 | 642,91 | 1381,64 | 391,34 | 349,71 | 378,86 | 456 |

**ANEXO A.3.2.8:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M3. Prueba 4.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 4 |
| **FECHA** | 21-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M3 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,596 | 1,571 | 1,646 | 1,54 | 1,525 | 1,483 | 1,462 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,513 | 1,495 | 1,496 | 1,487 | 1,478 | 1,434 | 1,399 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 14 | 21,5 | 24,5 | 33 | 39,5 | 46,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,7 | 3,3 | 4,4 | 4,4 | 5,1 | 5,1 | 4,8 |
| **CO (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,3 | 14,2 | 14 | 14,4 | 14,4 | 14,5 | 14,5 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 1,36 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 87 | 120 | 421 | 161 | 80 | 5 | 153 |
| **λ** | 1 | 1 | 1,066 | 0,999 | 1 | 1 | 1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,083 | 0,076 | 0,15 | 0,053 | 0,047 | 0,049 | 0,063 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1992 | 939,64 | 1390,91 | 491,45 | 376,00 | 392,00 | 535,5 |

**ANEXO A.3.2.9:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M3. Prueba 5.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 5 |
| **FECHA** | 21-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M3 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,578 | 1,564 | 1,611 | 1,513 | 1,487 | 1,479 | 1,439 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,526 | 1,512 | 1,489 | 1,461 | 1,438 | 1,426 | 1,375 |
| **PAR (Nm)** | 6,5 | 14,5 | 21 | 27 | 35,5 | 43 | 48,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,7 | 3,2 | 4,1 | 4,9 | 5,5 | 5,5 | 5,1 |
| **CO (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,3 | 14,3 | 14,4 | 14,3 | 14,4 | 14,3 | 14,5 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,02 | 0 | 0 | 0,03 | 0 | 0,06 | 0 |
| **NOx (%V)** | 84 | 119 | 142 | 209 | 203 | 1 | 357 |
| **λ** | 1 | 1 | 1 | 1,001 | 1 | 1,002 | 1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,052 | 0,052 | 0,122 | 0,052 | 0,049 | 0,053 | 0,064 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1248 | 663,00 | 1214,05 | 432,98 | 363,49 | 393,16 | 512 |

**ANEXO A.3.2.10:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M4. Prueba 1.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 1 |
| **FECHA** | 25-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M4 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,49 | 1,481 | 1,575 | 1,464 | 1,407 | 1,384 | 1,362 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,432 | 1,431 | 1,432 | 1,42 | 1,375 | 1,353 | 1,332 |
| **PAR (Nm)** | 7 | 13 | 19,5 | 25,5 | 32,5 | 40 | 45,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 1,8 | 3,1 | 4,1 | 4,6 | 5,1 | 5,2 | 4,7 |
| **CO (%V)** | 1,41 | 0,92 | 0,67 | 0,44 | 0,24 | 0,13 | 0,05 |
| **$CO_2$ (%V)** | 13,8 | 14,3 | 14,4 | 14,5 | 14,8 | 14,9 | 14,9 |
| **HC (ppm)** | 80 | 86 | 87 | 84 | 86 | 89 | 55 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 23 | 14 | 6 | 4 | 4 | 2 | 4 |
| **λ** | 0,958 | 0,972 | 0,978 | 0,984 | 0,989 | 0,992 | 0,996 |
| **Consumo (L/min)** | 0,058 | 0,05 | 0,143 | 0,044 | 0,032 | 0,031 | 0,03 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1314,67 | 658,06 | 1423,02 | 390,26 | 256 | 243,23 | 260,43 |

**ANEXO A.3.2.11:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M4. Prueba 2.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 2 |
| **FECHA** | 25-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M4 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA L/min)** | 1,517 | 1,505 | 1,596 | 1,467 | 1,445 | 1,437 | 1,393 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,471 | 1,468 | 1,455 | 1,456 | 1,423 | 1,405 | 1,367 |
| **PAR (Nm)** | 7,5 | 13,5 | 19,5 | 25,5 | 33 | 40,5 | 46 |
| **POTENCIA (Kw)** | 2 | 3,1 | 4,1 | 4,6 | 5,1 | 5,2 | 4,8 |
| **CO (%V)** | 1,29 | 0,78 | 0,25 | 0,23 | 0,07 | 0,03 | 0,02 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14 | 14,3 | 14,7 | 14,7 | 14,8 | 14,9 | 14,9 |
| **HC (ppm)** | 77 | 78 | 57 | 44 | 38 | 32 | 30 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 12 | 7 | 5 | 4 | 7 | 7 | 7 |
| **λ** | 0,96 | 0,974 | 0,99 | 0,991 | 0,996 | 0,997 | 0,998 |
| **Consumo (L/min)** | 0,046 | 0,037 | 0,141 | 0,011 | 0,022 | 0,032 | 0,026 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 938,40 | 486,97 | 1403,12 | 97,57 | 176 | 251,08 | 221,00 |

**ANEXO A.3.2.12:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M4. Prueba 3.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 3 |
| **FECHA** | 25-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M4 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,54 | 1,507 | 1,601 | 1,485 | 1,467 | 1,437 | 1,391 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,48 | 1,466 | 1,47 | 1,461 | 1,439 | 1,394 | 1,371 |
| **PAR (Nm)** | 8 | 15 | 21,5 | 27 | 34,5 | 41,5 | 47 |
| **POTENCIA (Kw)** | 2 | 3,5 | 4,5 | 4,9 | 5,4 | 5,4 | 4,9 |
| **CO (%V)** | 0,75 | 0,55 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,3 | 14,4 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,8 | 14,8 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 44 | 43 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **NOx (%V)** | 10 | 8 | 13 | 12 | 16 | 15 | 184 |
| **λ** | 0,976 | 0,982 | 0,999 | 0,999 | 1 | 1 | 1 |
| **Consumo (L/min)** | 0,06 | 0,041 | 0,131 | 0,024 | 0,028 | 0,043 | 0,02 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1224,00 | 477,94 | 1187,73 | 199,84 | 211,56 | 324,89 | 166,53 |

**ANEXO A.3.2.13:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M4. Prueba 4.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 4 |
| **FECHA** | 25-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M4 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,533 | 1,52 | 1,605 | 1,477 | 1,443 | 1,404 | 1,381 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,467 | 1,442 | 1,43 | 1,422 | 1,393 | 1,36 | 1,349 |
| **PAR (Nm)** | 8,5 | 16 | 22 | 27,5 | 35 | 42 | 47,5 |
| **POTENCIA (Kw)** | 2,2 | 3,7 | 4,5 | 5 | 5,5 | 5,4 | 4,9 |
| **CO (%V)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,6 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,6 | 14,7 |
| **HC (ppm)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0,02 | 0,16 | 0,3 | 0,29 | 0,27 | 0,18 | 0,2 |
| **NOx (%V)** | 93 | 356 | 542 | 479 | 750 | 922 | 890 |
| **λ** | 1 | 1,007 | 1,014 | 1,013 | 1,012 | 1,008 | 1,009 |
| **Consumo (L/min)** | 0,066 | 0,078 | 0,175 | 0,055 | 0,05 | 0,044 | 0,032 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1224,00 | 860,11 | 1586,67 | 448,80 | 370,91 | 332,44 | 266,45 |

**ANEXO A.3.2.14:** Valores obtenidos de la Prueba Dinámica al motor Otto a inyección para la mezcla M4. Prueba 5.

| | |
|---|---|
| **PRUEBA No** | 5 |
| **FECHA** | 25-may-10 |
| **MARCA** | LADA |
| **TIPO DE COMBUSTIBLE** | M4 |
| **TIPO DE ALIMENTACIÓN** | INYECCIÓN |
| **TIPO DE PRUEBA** | DINAMÓMETRO MOTOR |

| **RPM** | **2500** | **2250** | **2000** | **1750** | **1500** | **1250** | **1000** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IDA (L/min)** | 1,532 | 1,51 | 1,586 | 1,458 | 1,444 | 1,403 | 1,383 |
| **RETORNO (L/min)** | 1,446 | 1,427 | 1,416 | 1,4 | 1,418 | 1,371 | 1,37 |
| **PAR (Nm)** | 8 | 16 | 22 | 27,5 | 35,5 | 42,5 | 48 |
| **POTENCIA (Kw)** | 2,1 | 3,7 | 4,6 | 5 | 5,6 | 5,5 | 5 |
| **CO (%V)** | 0,09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$CO_2$ (%V)** | 14,5 | 14,6 | 14,2 | 14,3 | 14,5 | 14,6 | 14,4 |
| **HC (ppm)** | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **$O_2$ (%V)** | 0 | 0 | 0,36 | 0,29 | 0,18 | 0,04 | 0,15 |
| **NOx (%V)** | 8 | 20 | 619 | 478 | 604 | 640 | 776 |
| **λ** | 0,997 | 0,999 | 1,017 | 1,013 | 1,008 | 1,001 | 1,007 |
| **Consumo (L/min)** | 0,086 | 0,083 | 0,17 | 0,058 | 0,026 | 0,032 | 0,013 |
| **c.e.c (g/kwh)** | 1670,86 | 915,24 | 1507,83 | 473,28 | 189,429 | 237,38 | 106,08 |

**ANEXO A.3.2.15:** MOTOR INYECCIÓN – GASOLINA SUPER – GASOLINA SUPER + H2

| **PRUEBA DINÁMICA MOTOR INYECCIÓN – GASOLINA SUPER (M3)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PROMEDIO** | | | | | | |
| TIPO DE ALIMENTACIÓN: | | INYECCIÓN | | PRUEBA EN: | DINAMÓMETRO MOTOR | |
| | **CONTAMINANTE** | | | | | **LAMBDA** |
| **RPM** | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **NOx (%V)** | **λ** |
| 2500 | 0 | 14,38 | \|0 | 0,004 | 83,4 | 1 |
| 2250 | 0 | 14,38 | 0 | 0 | 99,8 | 1 |
| 2000 | 0 | 14,36 | 0 | 0,272 | 213,8 | 1,0132 |
| 1750 | 0 | 14,38 | 0 | 0,006 | 176,6 | 0,9998 |
| 1500 | 0 | 14,46 | 0 | 0 | 147,6 | 1 |
| 1250 | 0 | 14,46 | 0,8 | 0,012 | 139,4 | 1,0002 |
| 1000 | 0 | 14,5 | 0 | 0 | 241,2 | 1 |

| **PRUEBA DINÁMICA MOTOR INYECCIÓN – GASOLINA SUPER + H2 (M4)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PROMEDIO** | | | | | | |
| TIPO DE ALIMENTACIÓN: | | INYECCIÓN | | PRUEBA EN: | DINAMÓMETRO MOTOR | |
| | **CONTAMINANTE** | | | | | **LAMBDA** |
| **RPM** | **CO (%V)** | **$CO_2$ (%V)** | **HC (ppm)** | **$O_2$ (%V)** | **NOx (%V)** | **λ** |
| 2500 | 0,708 | 14,24 | 41 | 0,014 | 29,2 | 0,9782 |
| 2250 | 0,45 | 14,42 | 41,6 | 0,04 | 81 | 0,9868 |
| 2000 | 0,184 | 14,54 | 30 | 0,138 | 237 | 0,9996 |
| 1750 | 0,138 | 14,58 | 25,8 | 0,118 | 195,4 | 1 |
| 1500 | 0,062 | 14,7 | 24,8 | 0,09 | 276,2 | 1,001 |
| 1250 | 0,032 | 14,76 | 24,2 | 0,044 | 317,2 | 0,9996 |
| 1000 | 0,014 | 14,74 | 17 | 0,07 | 372,2 | 1,002 |

# ANEXO A4 NORMAS INEN

## ANEXO A.4.1 NORMA 2 203:2000

## ANEXO A.4.2 NORMA 2 204:2000

# ANEXO A3.1 NORMA INEN 2 203:2000

INEN

## INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA** **NTE INEN 2 203:2000**

---

# GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA.

**Primera Edición**

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. DETERMINATION OF CONCENTRATION OF EXHAUST EMISSIONS IN MINIMUN SPEED CONDITIONS OR RALENTI STATIC TEST.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad del aire, método de ensayo.
MC 08.06-302
CDU: 662.75
CIIU: 3530
ICS: 13.040.50

CDU: 662.75
ICS: 13.040.50

INEN

CIIU: 3530
MC 08.06-302

| Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria | GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE, EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA. | NTE INEN 2 203:2000 2000-07 |
|---|---|---|

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo 454 y Avs. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralenti".

## 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina.

## 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2204, y las que a continuación se detallan:

**3.1.1** *Aislamiento electromagnético*. Característica del equipo de medición que impide la alteración en sus lecturas por causa de radiaciones electromagnéticas externas.

**3.1.2** *Calibración de un equipo de medición*. Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.

**3.1.3** *Motor de encendido por chispa*. Es aquel en el cual la reacción de la mezcla aire/combustible se produce a partir de un punto caliente, generalmente una chispa eléctrica.

**3.1.4** *Gas patrón*. Gas o mezcla de gases de concentración conocida, certificada por el fabricante del mismo, y que se emplea para la calibración de equipos de medición de emisiones de escape.

**3.1.5** *Autocalibración*. Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante del mismo.

**3.1.6** *Exactitud*. Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

**3.1.7** *Repetibilidad*. Grado de concordancia de resultados de sucesivas mediciones de la misma variable, realizadas en iguales condiciones de medida.

**3.1.8** *Tiempo de calentamiento del equipo de ensayo*. Es el período en segundos entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento en que cumple con los requerimientos de estabilidad, para realizar la lectura de la variable.

**3.1.9** *Tiempo de respuesta del equipo de medición*. Es el período en segundos que el equipo requiere para medir y entregar los resultados de los ensayos realizados.

**3.1.10** *Sonda de prueba*. Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Emisión de gases. Protección del medio ambiente. Calidad del aire. Método de ensayo.

## 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Los importadores y distribuidores de equipos de medición de emisiones deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los equipos de medición a ser utilizados debe cumplir con la International Recommendation OIML R 99.

**4.2** Los importadores y distribuidores están obligados a suministrar copia de la certificación establecida en el numeral 4.1, a quienes adquieran los equipos.

**4.3** La autoridad competente, podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y distribuidores, sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para determinar la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralentí", prueba estática.

## 5. MÉTODO DE ENSAYO

**5.1 Fundamento.**

**5.1.1** El principio de operación se basa en la absorción de luz infrarroja no dispersa de gases para la determinación de hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono.

**5.1.1.1** El oxígeno se mide utilizando una celda de combustible (fuel cell). Esto no excluye el uso de equipos con otro principio de operación, siempre y cuando sean homologados.

**5.2 Equipos**

**5.2.1** Ver numeral 4, Disposiciones Generales.

**5.2.2** Capacidad de autocalibración. Los equipos de medición deben tener incorporada la función propia de autocalibración, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el equipo es encendido, o manualmente cada vez que el usuario lo requiera.

**5.2.3** Los equipos de medición deben contar con un dispositivo de impresión directa de los resultados y de la identificación del vehículo automotor medido.

**5.2.4** Los equipos deben contar con un tacómetro para la medición de las revoluciones del motor.

**5.2.5** El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.

**5.3 Calibración**

**5.3.1** La calibración del equipo se debe realizar siguiendo estrictamente las especificaciones de frecuencia del fabricante del equipo. En caso que éstas no estén disponibles, la calibración se debe realizar, como máximo, cada tres meses.

**5.3.2** El equipo se debe calibrar luego de cada mantenimiento correctivo.

**5.3.3** La calibración anterior es independiente de la autocalibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.

**5.3.4** 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.

*(Continúa)*

**5.4 Procedimiento de medición**

**5.4.1** Antes de la prueba, realizar las verificaciones siguientes:

**5.4.1.1** Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.

**5.4.1.2** Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda substancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.

**5.4.1.3** Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).

**5.4.1.4** Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.

**5.4.1.5** Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

**5.4.1.6** Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral 5.4.1.5, la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.

**5.4.1.7** Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.

**5.4.1.8** Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

**5.4.2** *Medición*

**5.4.2.1** Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralentí".

**5.4.2.2** Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralentí", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.

**5.4.2.3** Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.

**5.4.2.4** Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

**5.4.2.5** Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.

**5.5Informe de resultados**

**5.5.1** El resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas en el numeral 5.4.2.4.

**5.5.2** La institución que realiza la prueba debe emitir un informe técnico con los resultados de la misma, adjuntado el documento de impresión directa del equipo de medición.

*(Continúa)*

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

| | |
|---|---|
| Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2204:1998 | *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.* |
| Norma ISO 6145-1:86 | *Gas Analysis Preparation of Calibration Gas Mixtures. Dynamic Volumetric Methods - Part 1 - Methods of Calibration.* |
| International Recommendation OIML R 99. | *Instruments for measuring vehicle exhaust emissions. International Organization of Legal Metrology.* |

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma técnica colombiana ICONTEC 4230. *Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración de emisiones de escape, en condiciones de marcha mínima o "ralentí".* Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1997.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

| **Documento:** NTE INEN 2 203 | **TITULO: GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA.** | **Código: MC 08.06-302** |
|---|---|---|

| ORIGINAL:<br>Fecha de iniciación del estudio:<br>1998-02-17 | REVISIÓN:<br>Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo<br>Oficialización con el Carácter de<br>por Acuerdo No. de<br>publicado en el Registro Oficial No. de<br><br>Fecha de iniciación del estudio: |
|---|---|

Fechas de consulta pública: de a

Comité Interno del INEN: GESTION AMBIENTAL
Fecha de iniciación: 1998-06-12 Fecha de aprobación: 1998-06-17
Integrantes del Comité Interno del INEN:

| **NOMBRES:** | **INSTITUCIÓN REPRESENTADA:** |
|---|---|
| Dr. Ramiro Gallegos (Presidente) | SUBDIRECTOR TÉCNICO |
| Ing. Enrique Troya | DIRECTOR DE PROTECCIÓN AL CONSUMIDOR |
| Sr. Guido Reyes | DIRECTOR DE DESARROLLO Y CERTIFICACIÓN DE CALIDAD |
| Sr. Arturo Arévalo | DIRECTOR DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO |
| Ing. Marco Narváez | DIRECCIÓN DE VERIFICACIÓN FÍSICA |
| Ing. Fernando Hidalgo (Secretario Técnico) | DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN |

Subcomité Técnico: GESTIÓN AMBIENTAL
Fecha de iniciación: 1998-09-24 Fecha de aprobación: 1999-02-25
Integrantes del Subcomité Técnico:

| **NOMBRES:** | **INSTITUCIÓN REPRESENTADA:** |
|---|---|
| Ing. Jorge Jurado (Presidente) | MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO |
| Ing. Pablo Ubidia | CINAE - AEADI |
| Ing. Jorge Medina | CONUEP/ING. QUÍMICA (U.C.) |
| Ing. Julio Salazar C. | PETROINDUSTRIAL |
| Ing. Eduardo Espín | MIDUVI/SSA |
| Ing. Jorge Mantilla | CNNT |
| Ing. Ritha Burbano | DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS |
| Tlgo. Mauricio Barros B. | UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA (CUENCA) |
| Ing. Kléver Chávez | MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE |
| Ing. Jorge Álvarez | MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO |
| Myr. Henry Aulestia C. | COMISIÓN DE TRANSITO DEL GUAYAS |
| Myr. Carlos Naveda | COMISIÓN DE TRANSITO DEL GUAYAS |
| Ing. Marco Oleas | GENERAL MOTORS - OMNIBUS BB |
| Ing. Lucía Montenegro | FACULTAD DE ING. QUÍMICA (E.P.N) |
| Ing. Mauro González | DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS |
| Sr. Suck Jun Yun Kim | AUTOMOTORES HINO |
| Ing. Pablo Durango | COLEGIO DE INGENIEROS QUÍMICOS DE PICHINCHA |
| Ing. Edwin Tamayo | COLEGIO DE INGENIEROS MECÁNICOS DE PICHINCHA |
| Ing. Fernando Hidalgo (Secretario Técnico) | INEN |

Otros trámites: ♦[6] Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA,** pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA,** según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 03 612 de 2003-12-22, publicado en el Registro Oficial No. 248 del 2004-01-09

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2000-03-23

Oficializada como: Obligatoria Por Acuerdo Ministerial No. 2000373 de 2000-07-03
Registro Oficial No. 115 de 2000-07-07

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre**
**Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815**
**Dirección General: E-Mail:furresta@inen.gov.ec**
**Área Técnica de Normalización: E-Mail:normalizacion@inen.gov.ec**
**Área Técnica de Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gov.ec**
**Área Técnica de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gov.ec**
**Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail:inencati@inen.gov.ec**
**Regional Guayas: E-Mail:inenguayas@inen.gov.ec**
**Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gov.ec**
**Regional Chimborazo: E-Mail:inenriobamba@inen.gov.ec**
**URL:www.inen.gov.ec**

# ANEXO A3.2 NORMA INEN 2 204:2000

INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA** **NTE INEN 2 204:2002**
**(Primera Revisión)**

## GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.

**Primera Edición**

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. EMISSIONS PERMITTED LEVELS PRODUCED BY GASOLINE ROAD MOVABLE SOURCES.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del aire, emisiones de escapes de transportes, requisitos.
MC 08.06-401
CDU: 621.43.068.4
CIIU: 3530
ICS: 13.040.50

CDU: 621.43.068.4
ICS: 13.040.50

INEN

CIIU: 3530
MC 08.06-401

| Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria | GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LIMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA. | NTE INEN 2 204:2002 Primera revisión 2002-09 |
|---|---|---|

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo 454 y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina.

## 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica a las fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas o a sus motores, según lo definido en los numerales 3.24 y 3.25.

**2.2** Esta norma no se aplica a las fuentes móviles que utilicen combustible diferentes a gasolina.

**2.3** Esta norma no se aplica a motores de pistón libre, motores fijos, motores náuticos, motores para tracción sobre rieles, motores para aeronaves, motores para tractores agrícolas, maquinarias y equipos para uso en construcciones y aplicaciones industriales.

## 3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

**3.1 Año modelo.** Año que identifica el de producción del modelo de la fuente móvil.

**3.2 Área frontal.** Área determinada por la proyección geométrica de las distancias básicas del vehículo sobre su eje longitudinal el cual incluye llantas pero excluye espejos y deflectores de aire a un plano perpendicular al eje longitudinal del vehículo.

**3.3 Certificación de la casa fabricante.** Documento expedido por la casa fabricante de un vehículo automotor en el cual se consignan los resultados de la medición de las emisiones de contaminantes del aire (por el escape y evaporativas) provenientes de los vehículos prototipo seleccionados como representativos de los modelos nuevos que saldrán al mercado.

**3.4 Ciclo.** Es el tiempo necesario para que el vehículo alcance la temperatura normal de operación en condiciones de marcha mínima o ralentí. Para las fuente móviles equipadas con electroventilador, es el periodo que transcurre entre el encendido del ventilador del sistema de enfriamiento y el momento en que el ventilador se detiene.

**3.5 Ciclos de prueba.** Un ciclo de prueba es una secuencia de operaciones estándar a las que es sometido un vehículo automotor o un motor, para determinar el nivel de emisiones que produce. Para los propósitos de esta norma, los ciclos que se aplican son los siguientes:

**3.5.1** *Ciclo ECE-15 + EUDC.* Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos, de diesel o gasolina, definidos en la directiva 93/59/EEC.

**3.5.2** *Ciclo* FTP-75. Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para los vehículos livianos y medianos, de gasolina o diesel, y publicado en el Código Federal de Regulaciones, partes 86 a 99.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES. Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del aire, emisiones de escapes de transportes, requisitos

**3.5.3** *Ciclo transiente pesado*). Es el ciclo de prueba de estado transitorio establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para la medición de emisiones de motores diesel y gasolina utilizados en vehículos pesados y el cual se encuentra especificados en el Código Federal de Regulaciones de ese país, CFR, título 40, partes 86 a 99, subparte N.

**3.6 Dinamómetro.** Aparato utilizado para medir la potencia generada por un vehículo automotor o motor solo, a través de aplicaciones de velocidad y torque.

**3.7 Emisión de escape.** Es la descarga al aire de una o más sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso o, de alguna combinación de estos, proveniente del sistema de escape de una fuente móvil.

**3.8 Emisiones evaporativas.** Es la descarga al aire de una o más sustancias gaseosas, producto del funcionamiento normal del vehículo o de la volatilidad del combustible. Las emisiones evaporativas se desprenden desde varios puntos a lo largo del sistema de combustible de un vehículo automotor.

**3.9 Equipo de medición.** Es el conjunto completo de dispositivos, incluyendo todos los accesorios, para la operación normal de medición de las emisiones.

**3.10 Fuente móvil.** Es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito es susceptible de desplazarse propulsado por su propia fuente motriz. Para propósitos de esta norma, son fuentes móviles todos los vehículos automotores.

**3.11 Homologación.** Es el reconocimiento de la autoridad ambiental competente a los procedimientos de evaluación de emisiones o a los equipos o sistemas de medición o de inspección de emisiones, que dan resultados comparables o equivalentes a los procedimientos, equipos o sistemas definidos en esta norma.

**3.12 Informe técnico.** Documento que contiene los resultados de la medición de las emisiones del motor, operando en las condiciones contempladas en esta norma.

**3.13 Marcha mínima o ralentí.** Es la especificación de velocidad del motor establecidas por el fabricante o ensamblador del vehículo, requeridas para mantenerlo funcionando sin carga y en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas). Cuando no se disponga de la especificación del fabricante o ensamblador del vehículo, la condición de marcha mínima o ralentí se establecerá en un máximo de 1 100 r.p.m.

**3.14 Masa máxima.** Es la masa equivalente al peso bruto del vehículo.

**3.15 Método SHED.** Procedimiento aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para determinar las emisiones evaporativas en vehículos de gasolina mediante la recolección de estas en una cabina sellada en la que se ubica el vehículo sometido a prueba. SHED son las siglas correspondientes al nombre de dicho método (Sealed Housing for Evaporative Determination). Los procedimientos, equipos y métodos de medición utilizados se encuentran consignados en el Código Federal de Regulaciones en los Estados Unidos, partes 86 y 99; o en las directivas 91/441 EEC y 93/59 EEC.

**3.16 Motor.** Es la principal fuente de poder de un vehículo automotor que convierte la energía de un combustible líquido o gaseoso en energía cinética.

**3.17 Peso bruto del vehículo.** Es el peso neto del vehículo más la capacidad de carga útil o de pasajeros, definida en kilogramos.

**3.18 Peso neto del vehículo.** Es el peso real solo del vehículo en condiciones de operación normal con todo el equipo estándar de fábrica, más el combustible a la capacidad nominal del tanque.

**3.19 Peso de referencia.** Es el peso neto del vehículo más 100 kg.

**3.20 Peso del vehículo cargado.** Es el peso neto del vehículo más 136,08 kg (300 lb).

*(Continúa)*

**3.21 Prueba estática.** Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo a temperatura normal de operación, en marcha mínima (ralentí), sin carga, en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas).

**3.22 Prueba dinámica.** Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando los ciclos de prueba descritos en la presente norma.

**3.23 Temperatura normal de operación.** Es aquella que alcanza el motor después de operar un mínimo de 10 minutos en marcha mínima (ralentí), o cuando en estas mismas condiciones la temperatura del aceite en el cárter del motor alcance 75°C o más. En las fuentes móviles equipadas con electroventilador esta condición es confirmada después de operar un ciclo.

**3.24 Vehículo automotor.** Vehículo de transporte terrestre, de carga o de pasajeros, que se utiliza en la vía pública, propulsado por su propia fuente motriz.

**3.25 Vehículo o motor prototipo o de certificación.** Vehículo o motor de desarrollo o nuevo, representativo de la producción de un nuevo modelo.

## 4. CLASIFICACIÓN

Para los propósitos de esta norma, se establece la siguiente clasificación de los vehículos automotores:

**4.1** Según la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), la siguiente clasificación se aplica únicamente para los ciclos de prueba FTP-75 y ciclo transiente pesado:

**4.1.1** *Vehículo liviano.* Es aquel vehículo automotor tipo automóvil o derivado de éste, diseñado para transportar hasta 12 pasajeros.

**4.1.2** *Vehículo mediano.* Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto vehicular es menor o igual a 3 860 kg, cuyo peso neto vehicular es menor o igual a 2 724 kg y cuya área frontal no exceda de 4,18 $m^2$. Este vehículo debe estar diseñado para:

**4.1.2.1** Transportar carga o para convertirse en un derivado de vehículos de este tipo

**4.1.2.2** Transportar más de 12 pasajeros

**4.1.2.3** Ser utilizado u operado fuera de carreteras o autopistas y contar para ello con características especiales.

**4.1.3** *Vehículo pesado.* Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto del vehículo sea superior a 3 860 kg, o cuyo peso neto del vehículo sea superior a 2 724 kg, o cuya área frontal excede de 4,18 $m^2$.

**4.2** Según La Unión Europea, la siguiente clasificación se aplica únicamente para el ciclo de prueba ECE-15 + EUDC.

**4.2.1** *Categoría M.* Vehículos automotores destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.

**4.2.1.1** *Categoría M1.* Vehículos automotores destinados al transporte de hasta 8 personas más el conductor.

**4.2.2** *Categoría N.* Vehículos automotores destinados al transporte de carga, que tengan por lo menos cuatro ruedas.

**4.2.2.1** *Categoría N1.* Vehículos automotores destinados al transporte de carga con una masa máxima no superior a 3,5 toneladas.

*(Continúa)*

## 5. DISPOSICIONES GENERALES

**5.1** Los importadores y ensambladores de vehículos deben obtener la certificación de emisiones expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del vehículo y avalada por la autoridad competente del país de origen, o de un laboratorio autorizado por ella. Los procedimientos de evaluación base para las certificaciones serán los establecidos para los ciclos FTP 75, ciclo transiente pesado ECE 15 + EUDC, SHED (EEC 91/441 y 93/59 EEC); según las características del vehículo.

**5.2** Los importadores y ensambladores están obligados a suministrar copia de la certificación de emisiones a quienes adquieran los vehículos.

**5.3** La autoridad competente podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y ensambladores sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para la medición de las emisiones de escape, en condición de marcha mínima o ralentí.

## 6. REQUISITOS

**6.1** Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).

**6.1.1** Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 1.

**TABLA 1. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).**

| Año modelo | % CO* | | ppm HC* | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 - 1 500 ** | 1 500 - 3 000 ** | 0 - 1 500 ** | 1 500 - 3 000 ** |
| 2000 y posteriores | 1,0 | 1,0 | 200 | 200 |
| 1990 a 1999 | 3,5 | 4,5 | 650 | 750 |
| 1989 y anteriores | 5,5 | 6,5 | 1 000 | 1 200 |

* Volumen
**Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

**6.2** Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclos FTP-75 y ciclo transiente pesado (prueba dinámica).

**6.2.1** Toda fuente móvil de gasolina que se importe o se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 2.

*(Continúa)*

**TABLA 2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).**

| Categoría | Peso bruto del vehículo kg | Peso del vehículo cargado kg | CO g/km | HC g/km | NOx g/km | CICLOS DE PRUEBA | Evaporativas g/ensayo SHED |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vehículos Livianos | | | 2,10 | 0,25 | 0,62 | FTP - 75 | 2 |
| Vehículos Medianos | =< 3 860 | =< 1 700 | 6,2 | 0,5 | 0,75 | | 2 |
| | | 1 700 - 3 860 | 6,2 | 0,5 | 1,1 | | 2 |
| Vehículos Pesados** | > 3 860 = < 6 350 | | 14,4 | 1,1 | 5,0 | Transiente pesado | 3 |
| | > 6 350 | | 37,1 | 1,9 | 5,0 | | 4 |

* prueba realizada a nivel del mar
** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power-hora)

**6.3** Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclo ECE-15+ EUDC (prueba dinámica).

**6.3.1** Toda fuente móvil con motor de gasolina no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 3.

**TABLA 3. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)**

| Categoría | Peso bruto del vehículo kg | Peso de Referencia (kg) | CO g/km | HC + NOx g/km | CICLOS DE PRUEBA | Evaporativas g/ensayo SHED |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M1 (1) | =< 3 500 | | 2,72 | 0,97 | ECE 15 + EUDC | 2 |
| M1 (2), N1 | | < 1 250 | 2,72 | 0,97 | | 2 |
| | | > 1 250 <1 700 | 5,17 | 1,4 | | 2 |
| | | > 1 700 | 6,9 | 1,7 | | 2 |

* Prueba realizada a nivel del mar
(1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2,5 toneladas
(2) Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2,5 toneladas

## 7. MÉTODO DE ENSAYO

**7.1** Determinación de la concentración de emisiones del tubo de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí.

**7.1.1** Seguir el procedimiento descrito en la NTE INEN 2 203.

*(Continúa)*

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:1998 *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones del escape, en condiciones de marcha mínima o ralentí.*

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 056. *Metrología. Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales*. Quito, 1998.

Norma técnica colombiana ICONTEC 4230. *Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración de emisiones de escape, en condiciones de marcha mínima o ralentí*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1997.

EPA 94: *Code of Federal Regulations Protection of Environment 40. Part 86 (Revised as of July 1, 1996) Control of air pollution from new and in-use motor vehicles and new and in-use motor vehicle engines: certification and test procedures: 86.090-8 Emission standards for 1990 and later model year light - duty vehicles (Diesel and gasoline); 86.091.9 Emission standards for 1991 and later model year light - duty trucks (diesel and gasoline); 86-091-10. Emision standards for 1991 and later model year otto - cycle heavy - duty engines and vehicles (gasoline).* U.S Environmental Protection Agency, EPA. Washington D.C., 1996.

EURO II: *Community Directive (Directive 88/77/EEC). Regulación 49, gaseous pollutants. Truck and buses > 3,5 Ton. EEC regulation for small utilite records. Enforcement date: 01.10.1993 new models, 01.10.1994 new vehicles.* European Economic Community. Brussels. 1996.

Normas para la protección y el control de la calidad del aire: *Resolución 005 de 1995-01-09, Resolución 1619 de 1995-12-21, Resolución 1351 de 1995-11-14, Resolución 898 de 1995-08-23 - Adicionada por la Resolución 125 de 1996-03-19, Decreto 948 de 1995-06-05 - Modificado por el Decreto 2107 de 1995-11-30.* Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia. Bogotá, 1996.

Decreto 2673: *Normas sobre Emisiones de fuentes móviles. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.* República de Venezuela. Caracas, 1998.

*Proyecto de reglamentación para control de emisiones para vehículos automotores en el Distrito Metropolitano de Quito.* Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, CINAE - Asociación Ecuatoriana Automotriz del Interior, AEADI, Quito, 1998.

*Exhaust Emissions, Standards, Regulations and Measurement of Exhaust emissions and Calculation of fuel consumption based on the Exhaust emission test - Passenger cars; Mercedes Benz.* Alemania, 1997.

*Vehicle Emissions Study, Kiyoshi Yuki - Overseas Regulation & Compliance Department, Engineering* Administration Division, Toyota Motor Corporation. Tokyo, 1995.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

| **Documento:** NTE INEN 2 204 (Primera Revisión) | **TITULO: GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIÓN PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.** | **Código:** MC 08.06-401 |
|---|---|---|

| ORIGINAL: | REVISIÓN: |
|---|---|
| Fecha de iniciación del estudio: 2000-09-11/2001-11-19 | Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1998-12-08<br>Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA<br>por Acuerdo No. 98163 de 1998 - 12 - 17<br>publicado en el Registro Oficial No. 100 de 1 999 - 01 - 04<br><br>Fecha de iniciación del estudio: |

Fechas de consulta pública: de a

Comité Interno del INEN:
Fecha de iniciación: 2 000-09-11
Intrgrantes del Comité Interno del INEN. Fecha de aprobación: 2 000-09-11

| **NOMBRES:** | **INSTITUCIÓN REPRESENTADA:** |
|---|---|
| Dr. Ramiro Gallegos (Presidente) | SUBDIRECTOR TÉCNICO |
| Ing. Enrique Troya | DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AL CONSUMIDOR |
| Sr. Guido Reyes | DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y CERTIFICACIÓN |
| Fis. René Chanchay | DIRECCIÓN DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO |
| Ing. Marco Narváez | DIRECCIÓN DE VERIFICACIÓN FÍSICA |
| Ing.Rafael Aguirre | DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN |
| Dra. Beatriz Cañizares | DIRECCIÓN DE VERIFICACIÓN ANALÍTICA |
| Ing. Fernando Hidalgo (Secretario Técnico) | DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN |
| **2001-11-20** | |
| Dr. Ramiro Gallegos (Presidente) | DIRECTOR TÉCNICO DEL ÁREA DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS |
| Ing. Gustavo Jiménez | DIRECTOR TÉCNICO DEL AREA DE NORMALIZACIÓN |
| Tlgo. Francisco Cevallos | ÁREA DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS: ENSAYOS DE CALIBRACIÓN |
| Arq. Francisco Ramírez | ÁREA DE CERTIFICACIÓN: PRODUCTOS |
| Sr. Marco Proaño | ÁREA DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS: ENSAYOS FÍSICOS |
| Ing. Guillermo Layedra (Secretario Técnico) | REGIONAL CHIMBORAZO |

Otros trámites:

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2002-04-17

Oficializada como: Obligatoria Por Acuerdo Ministerial No. 02 368 de 2002-09-18
Registro Oficial No. 673 de 2002-09-30

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail:furresta@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail:normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail:inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail:inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail:inenriobamba@inen.gov.ec
URL:www.inen.gov.ec

# ANEXO A5 HOJAS DE SEGURIDAD

## ANEXO A.5.1 HOJA DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE HIDRÓGENO LÍQUIDO

## ANEXO A.5.2 HOJA DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE HIDRÓGENO GASEOSO

# ANEXO A.5.1 HOJA DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE HIDRÓGENO LÍQUIDO

## HIDRÓGENO $H_2$ (líquido)
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCIÓN 1: NOMBRE DE LA EMPRESA, IDENTIFICACIÓN DEL GAS Y COMPOSICIÓN

| | | |
|---|---|---|
| **Nombre de la empresa:** | **Nombre del Producto:** | **HIDRÓGENO LÍQUIDO** |
| | **Nombre químico:** | Hidrógeno |
| | **Formula química:** | $H_2$ |
| | **Sinónimo:** | n.a. |
| | **Fecha (dd-mm-aa):** | |

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

| | |
|---|---|
| **Marca en etiqueta** | Líquido Extremadamente Inflamable |
| a) Identificación de riesgos | Gas licuado fuertemente refrigerado. El contacto con el producto puede producir quemaduras por frío o congelación. |
| | Extremadamente inflamable |
| **Inhalación** | A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia. |
| b) Peligros para el medio ambiente | Puede causar hielo que dañe a la vegetación |
| c) Peligros especiales del producto | Líquido extremadamente inflamable. Su llama es invisible. El hidrógeno forma mezclas auto explosivas con el aire u oxígeno. |

SECCIÓN 3: PRIMEROS AUXILIOS

| |
|---|
| En el caso de contacto accidental con el producto: |
| **Inhalación:** Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar a un médico. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración. |
| **Contacto con la piel:** En caso de congelación rociar con agua durante 15 minutos. Aplicar un vendaje estéril. Obtener asistencia médica. |
| **Contacto con los ojos:** Lavar inmediatamente los ojos con agua durante, al menos, 15 minutos. |
| **Ingestión:** La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición. |
| **Nota para el médico tratante:** Asfixia, es debido a insuficiencia de $O_2$ |

SECCIÓN 4: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA EL FUEGO

| |
|---|
| **Riesgos específicos:** La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes. Materiales Explosivos |
| **Agente de extinción:** Se pueden utilizar todos los extintores conocidos. EXTINTOR |
| **Productos peligrosos de la combustión:** Ninguno |
| **Procedimientos especiales para combatir el fuego:** Evacuar el área, si es posible cortar el suministro de gas. Enfriar con abundante agua desde un lugar protegido ya que existe el riesgo de rotura de cilindro. Si la llama sale desde la válvula del cilindro y no es posible cerrarlo, no apague la llama, deje que el gas se consuma mientras se enfría el cilindro con agua. Llamar al proveedor. |
| **Métodos específicos:** Si es posible detener la fuga de producto.<br>Colocarse lejos del recipiente y enfriarlo con agua desde un recinto protegido.<br>No extinguir una fuga de gas inflamada si no es absolutamente necesario. Se puede producir la reignición espontánea explosiva. Extinguir los otros fuegos.<br>Si fuga no rociar agua sobre el recipiente. Utilizar el agua para contener el fuego en el área circundante, desde un lugar protegido. |
| **Equipo de protección personal para el combate de fuego:** Ropa para alta temperatura.<br>En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva. |

SECCIÓN 5: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

| |
|---|
| **Precauciones personales:** Usar ropa de protección. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. Evacuar el área.<br>Asegurar la adecuada ventilación de aire. Eliminar las fuentes de ignición.<br>Métodos de limpieza: Ventilar el área.<br>Medida de emergencia si hay fuga: Evacuar el área, si es posible cortar suministro principal. Apague todo equipamiento que pueda producir llama, chispas, fricción o calor. Evitar la acumulación de gas por encima del límite inferior de inflamabilidad. Contactar al proveedor. |
| **Equipo de protección personal para emergencia:** Ropa especial contra fuego. Protección facial. |
| **Precauciones para evitar daños en el ambiente:** Evitar derrames del producto |

SECCIÓN 6: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

| |
|---|
| **Recomendaciones técnicas:** Almacenar en cilindros autorizados. |
| **Precauciones a tomar:** Utilizar en áreas bien ventiladas, no permitir que la temperatura ambiente sobrepase 52°C. Evitar que los cilindros queden almacenados por mucho tiempo sin utilización. Devolver a presión residual de 25 psi. |
| **Recomendaciones sobre manipulación:** Los cilindros deben ser operados de acuerdo a las instrucciones del proveedor. |
| **Condición de almacenamiento:** Almacenar separadamente los cilindros llenos y vacíos, en un aérea de condición no combustible. Proteger contra daños físicos. Mantener los cilindros amarrados. No fumar o tener llamas abiertas. Mantener el área debidamente señalizada. |
| **Embalajes recomendados y no adecuados:** Solamente cilindros autorizados. |

| |
|---|
| Área libre de estática: Asegúrese que el equipo está adecuadamente conectado a tierra.<br>Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente.<br>Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas.<br>No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente.<br>Utilizar solo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador.<br>Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática.<br>Separar, de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento.<br>Solicitar del suministrador las instrucciones de manipulación de los contenedores.<br>Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. |

SECCIÓN 7: CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN ESPECIAL

| | |
|---|---|
| **Medidas para reducir la posible exposición:** | Evitar fugas en equipos. Ubicar en áreas ventiladas. |
| **Protección respiratoria:** | Equipo de respiración autónoma o línea de aire comprimido para situaciones de emergencia en lugares confinados. |
| **Guantes de protección:** | Guantes de cuero. |
| **Protección de la vista:** | Careta facial o lentes con protección laterales. |
| **Otros equipos de protección:** | Ropa sin fibra sintética. Zapatos de seguridad con punta de acero semi-conductores. |
| **Ventilación:** | Ventilación adecuada. |
| No fumar cuando se manipule el producto | |

SECCIÓN 8: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

| | |
|---|---|
| **Peso molecular:** | 2 kg/mol |
| **Temperatura de fusión:** | -259 °C |
| **Temperatura de ebullición :** | -253 °C |
| **Temperatura crítica:** | -240 °C |
| **Densidad relativa del gas (aire=1):** | 0.07 |
| **Densidad relativa del líquido (agua=1):** | 0.07 |
| **Presión de vapor a 20°C:** | No aplicable. |
| **Solubilidad en agua (mg/l):** | 1.6 mg/l |
| **Apariencia y color:** | Líquido incoloro |
| **Olor:** | Ninguno |

| | |
|---|---|
| **Temperatura de auto ignición:** | 560 °C |
| **Rango de inflamabilidad (% de volumen en aire)** | 4-75 |
| **Otros datos** | Se quema con una llama invisible e incolora. |

SECCIÓN 9: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | |
|---|---|
| **Estabilidad:** | Estable a temperatura ambiente. |
| **Condiciones que deben evitarse:** | Chispas, llamas abiertas, fuentes de calor, sobrepresión. |
| **Incompatibilidad, materiales que deben evitarse:** | Níquel, óxido de cobre, platino, fluor, litio, trifloruro de Cr. |
| **Productos peligrosos de la descomposición:** | No aplicable |
| **Productos peligrosos de la combustión:** | No aplicable |
| **Polimerización peligrosa:** | No aplicable |
| **Estabilidad y reactividad:** Puede formar mezclas explosivas con el aire.<br>Las fugas de líquido pueden producir fragilidad en materiales estructurales.<br>Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes. | |

SECCIÓN 10: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

| |
|---|
| **General:** No se conocen los efectos toxicológicos de este producto. |

SECCIÓN 11: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

| | |
|---|---|
| **Método de eliminación del producto (residuos)** | No descargar en áreas donde hay riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. El gas residual debe ser quemado a través de un quemador adecuado que disponga de antirretroceso de llama.<br>No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa.<br>Contactar con el suministrador si se necesita orientación. |
| **Eliminación envases/embalajes contaminados** | Devolver el envase claramente identificado.<br>Sólo el proveedor está autorizado para eliminar envases, embalajes contaminados. |

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

| | |
|---|---|
| **Nombre propio para el transporte** | Hidrógeno líquido refrigerado |
| **Clase y división** | 2.1 |
| **Etiquetado** | Etiqueta 2.1: Gas inflamable Gas inflamable |
| **Otras informaciones para el** | Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga |

| | |
|---|---|
| **transporte** | no esté separado del compartimiento del conductor.<br>Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o de una emergencia.<br>Antes de transportar las botellas:<br>Asegurar una ventilación adecuada.<br>Asegurarse de cumplir con la legislación aplicable. |
| **Normas nacionales aplicables en Ecuador** | Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2-266:2000. |

SECCIÓN 13: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

| | |
|---|---|
| **Pictogramas** | F+ Extremadamente Inflamable |
| **Frases de riesgo** | R12 Extremadamente inflamable. |
| **Frases de seguridad** | S9 Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.<br>S16 Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.<br>S33 Evítese la acumulación de cargas electroestáticas. |

SECCIÓN 14: OTRAS INFORMACIONES

Puede causar congelación.
Asegurarse que los operarios conocen el riesgo de inflamabilidad.
El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalcado durante la formación de los operarios.
Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales.
Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales.
Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de llevarse este documento a impresión. A pesar de que durante la preparación de este documento se ha
tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños result
La presente Ficha de Datos de Seguridad está establecida de acuerdo con las Directivas Europeas en vigor y se aplica a todos los países que han transpuesto las Directivas en su derecho nacional.

OBSERVACIONES:

# ANEXO A.5.2 HOJA DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE HIDRÓGENO GASEOSO

## HIDRÓGENO $H_2$ (gaseoso)
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCIÓN 1: NOMBRE DE LA EMPRESA, IDENTIFICACIÓN DEL GAS Y COMPOSICIÓN

| | | |
|---|---|---|
| **Nombre de la empresa:** | **Nombre del Producto:** | **HIDRÓGENO GASEOSO** |
| | **Nombre químico:** | Hidrógeno |
| | **Formula química:** | $H_2$ |
| | **Sinónimo:** | n.a. |
| | **Fecha (dd-mm-aa):** | |

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

| | |
|---|---|
| **Marca en etiqueta** | Gas Comprimido Inflamable |
| a) Peligros para la salud de las personas | |
| **Efectos de una sobreexposición aguda** | Existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de $O_2$ |
| **Inhalación** | Existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de $O_2$ |
| **Contacto con la piel** | No existe peligro (salvo por salida de gas a presión) |
| **Contacto con los ojos** | No existe peligro (salvo por salida de gas a presión) |
| **Ingestión** | No aplicable |
| **Efectos de una sobreexposición crónica** | No aplicable |
| b) Peligros para el medio ambiente | No aplicable |
| **Condiciones médicas que se agravan con exposición del producto** | Personas que tengan enfermedades que puedan ser agravadas debido a la exposición a hidrógeno, no deben estar autorizadas para trabajar con él. |
| c) Peligros especiales del producto | Gas altamente inflamable que produce llama invisible. El hidrógeno forma mezclas autoexplosivas con el aire u oxígeno a bajas concentraciones. |

SECCIÓN 3: PRIMEROS AUXILIOS

| En el caso de contacto accidental con el producto: |
|---|
| **Inhalación:** Retirar a la persona a un lugar bien ventilado, si es necesario aplicar respiración artificial. |
| **Contacto con la piel:** No aplicable |
| **Contacto con los ojos:** Lavar rápidamente con agua. |
| **Ingestión:** No aplicable |
| **Nota para el médico tratante:** Asfixia, es debido a insuficiencia de $O_2$ |

SECCIÓN 4: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA EL FUEGO

| **Agente de extinción:** Dióxido de Carbono, P.Q.S. x |
|---|
| **Procedimientos especiales para combatir el fuego:** Evacuar el área, si es posible cortar el suministro de gas. Enfriar con abundante agua desde un lugar protegido ya que existe el riesgo de rotura de cilindro. Si la llama sale desde la válvula del cilindro y no es posible cerrarlo, no apague la llama, deje que el gas se consuma mientras se enfría el cilindro con agua. Llamar al proveedor. |
| **Equipo de protección personal para el combate de fuego:** Ropa para alta temperatura. |

SECCIÓN 5: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

| **Medida de emergencia si hay fuga:** Evacuar el área, si es posible cortar suministro principal. Apague todo equipamiento que pueda producir llama, chispas, fricción o calor. Evitar la acumulación de gas por encima del límite inferior de inflamabilidad. Contactar al proveedor. |
|---|
| **Equipo de protección personal para emergencia:** Ropa especial contra fuego. Protección facial. |
| **Precauciones para evitar daños en el ambiente:** No aplicable |
| **Métodos de limpieza:** No aplicable |
| **Método de eliminación:** No aplicable |

SECCIÓN 6: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

| **Recomendaciones técnicas:** Almacenar en cilindros autorizados. |
|---|
| **Precauciones a tomar:** Utilizar en áreas bien ventiladas, no permitir que la temperatura ambiente sobrepase 52°C. Evitar que los cilindros queden almacenados por mucho tiempo sin utilización. Devolver a presión residual de 25 psi. |
| **Recomendaciones sobre manipulación:** Los cilindros deben ser operados de acuerdo a las instrucciones del proveedor. Usar equipamiento compatible con el acetileno. No remover caperuzas fijas. |
| **Condición de almacenamiento:** Almacenar separadamente los cilindros llenos y vacíos, en un aérea de condición no combustible. Proteger contra daños físicos. Mantener los cilindros amarrados. No fumar o tener llamas abiertas. Mantener el área debidamente señalizada. |

| |
|---|
| **Embalajes recomendados y no adecuados:** Solamente cilindros autorizados. |

SECCIÓN 7: CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN ESPECIAL

| | |
|---|---|
| **Medidas para reducir la posible exposición:** | Evitar fugas en equipos. Ubicar en áreas ventiladas. |
| **Parámetro para control:** | Porcentaje de oxígeno presente > 18% |
| **Límites permisibles ponderados y absoluto:** | No aplicable |
| **Protección respiratoria:** | Equipo de respiración autónoma o línea de aire comprimido para situaciones de emergencia en lugares confinados. |
| **Guantes de protección:** | Guantes de cuero. |
| **Protección de la vista:** | Careta facial o lentes con protección laterales. |
| **Otros equipos de protección:** | Ropa sin fibra sintética. Zapatos de seguridad con punta de acero semi-conductores. |
| **Ventilación:** | Ventilación adecuada. |

SECCIÓN 8: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

| | |
|---|---|
| **Estado físico:** | Gaseoso |
| **Apariencia y olor:** | Inodoro e incoloro |
| **Concentración:** | 99,8% mínimo |
| **PH:** | No aplicable |
| **Temperatura de descomposición:** | No aplicable |
| **Punto de inflamación:** | 4,0 – 75% en aire |
| **Temperatura auto ignición:** | 570°C en aire a 101,3 KPa |
| **Propiedades explosivas:** | No aplicable |
| **Peligro de fuego o explosión:** | Riesgo de sobrepresión |
| **Velocidad de propagación de la llama:** | Depende de la concentración de oxígeno. |
| **Presión de vapor a 20°C:** | No aplicable |
| **Densidad a 21°C/1 atm:** | 0,083 Kg/m3 |
| **Solubilidad en agua:** | 0,0182 mg/l |

SECCIÓN 9: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | |
|---|---|
| **Estabilidad:** | Estable a temperatura ambiente. |
| **Condiciones que deben evitarse** | Chispas, llamas abiertas, fuentes de calor, sobrepresión. |
| **Incompatibilidad, materiales que deben evitarse:** | Níquel, óxido de cobre, platino, flúor, litio, trifloruro de Cr. |
| **Productos peligrosos de la descomposición** | No aplicable |
| **Productos peligrosos de la combustión:** | No aplicable |
| **Polimerización peligrosa:** | No aplicable |

SECCIÓN 10: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

| | |
|---|---|
| **Toxicidad aguda** | Asfixiante simple |
| **Toxicidad crónica y de largo plazo** | No aplicable |
| **Efectos locales** | No aplicable |
| **Sensibilidad alergénica** | No aplicable |
| **Inestabilidad** | Estable a temperatura ambiente |
| **Persistencia/degradabilidad** | No aplicable |
| **Bio-acumulación** | No aplicable |
| **Efectos sobre el ambiente** | No aplicable |

SECCIÓN 11: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

| | |
|---|---|
| **Método de eliminación del producto (residuos)** | Sólo el proveedor está autorizado para eliminar producto (residuos) |
| **Eliminación envases/embalajes contaminados** | Devolver el envase claramente identificado.<br>Sólo el proveedor está autorizado para eliminar envases, embalajes contaminados. |

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

| | | |
|---|---|---|
| **Marcas aplicables** | Gas Comprimido Inflamable | Gas inflamable |
| **Clase y división** | 2.1 | |

SECCIÓN 13: NORMAS VIGENTES

| | |
|---|---|
| **Normas internacionales aplicables** | ISO |
| **Normas nacionales aplicables** | Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2-266:2000. |

| **en Ecuador** | |
|---|---|
| **Marca en etiqueta** | Gas Comprimido Inflamable |

OBSERVACIONES: