



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y  
AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN EN LA  
TRANSFORMACION DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS  
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL – GASOLINA**

**AUTORES: GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE  
ALEX ISRAELTOASA TUPIZA**

**DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ**

**LATACUNGA**

**2017**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación “INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN EN LA TRANSFORMACION DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL – GASOLINA”, realizado por los señores GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE Y ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE Y ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 24 de febrero del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Leonidas Quiroz', is written over a horizontal line.

Ing. Leonidas Quiroz  
**DIRECTOR**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE, con cédula de identidad N° 1720070760 y ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA, con cédula de identidad N° 1722714894, declaramos que este trabajo de titulación “INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN EN LA TRANSFORMACION DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL – GASOLINA” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE**  
C.C.: 1720070760

Latacunga, 20 de febrero del 2017

**ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA**  
C.C.: 1722714894



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### AUTORIZACIÓN

Nosotros GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE Y ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN EN LA TRANSFORMACION DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL – GASOLINA”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 24 febrero de 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Gem Leonardo Rivadeneira Recalde".

---

**GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE**  
C.C.: 1720070760

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Alex Israel Toasa Tupiza".

---

**ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA**  
C.C.: 1722714894

## DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional

Gem Leonardo Rivadeneira Recalde

## **DEDICATORIA**

Dedico este éxito a Dios y al Divino Niño porque sin ellos nada hubiera sido posible.

A Dios y al Divino Niño porque han estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fuerza para conseguir mis metas, a mis padres Lucila e Israel quienes a lo largo de mi vida por mi bienestar y consejos siendo mi apoyo en todo momento.

A mis hermanos Roberto y Christian, a mi futura esposa Irene Janeth por depositar su confianza y cariño sin dudar.

A mi hija Emily Samantha por ser el pilar fundamental de mi vida.

Alex Israel Toasa Tupiza

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de forma especial a Dios y a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han apoyado y motivado mi formación académica y su lucha permanente han hecho de ellos un ejemplo de vida, sin ellos no hubiera podido conseguir los éxitos alcanzados en mi vida, gracias por su amor y comprensión.

A mis hermanas y a mi familia en general, por ser mi apoyo y fuerza para seguir cosechando éxitos.

A mis profesores el Ing. Leonidas Quiroz y al Ing. Germán Erazo, a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por prepararnos para un futuro competitivo tanto profesional y también como mejores personas para la sociedad y nuestro país.

Al Ing. Raul Hidrobo, Gerente General de Mecánica Express, por su aporte en esta investigación al colaborar con material necesario que fue de mucha ayuda para el desarrollo del trabajo de investigación.

Al Ing. Martin Darquea, Gerente General de SXE Escapes, por su valioso aporte y colaboración en esta investigación al facilitarnos los elementos necesarios para el desarrollo y culminación de la misma.

Gem Leonardo Rivadeneira Recalde

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a Dios y a mis padres, Lucila e Israel, quienes a lo largo de mi vida han apoyado y motivado mi formación académica y su lucha permanente han hecho de ellos un ejemplo de vida, sin ellos no hubiera podido conseguir los éxitos alcanzados en mi vida, gracias por su amor y comprensión.

A mis hermanos, Roberto y Christian por ser mi apoyo y fuerza para seguir cosechando éxitos.

A mi futura esposa Irene Janeth gracias por tu apoyo y amor infinito.

A mi hija Emily Samantha por ser la fuerza y motivación en este proyecto de vida.

A mi hijo Alex Israel quien desde el cielo me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por prepararnos para un futuro competitivo tanto profesional sino también como mejores personas para la sociedad y nuestro país.

Alex Israel Toasa Tupiza

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICADO .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY .....	xxii

## CAPÍTULO I

	<b>MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN “INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN EN LA TRANSFORMACION DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL – GASOLINA” .....</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	4
1.3	Descripción resumida del proyecto .....	5
1.4	Justificación e importancia .....	6
1.5	Objetivos .....	7

1.5.1	Objetivo general .....	7
1.5.2	Objetivos específicos .....	7
1.6	Metas .....	8
1.7	Hipótesis .....	9
1.8	Variables de la investigación .....	9
1.8.1	Variable Dependiente:.....	9
1.8.2	Variable Independiente: .....	9

## **CAPÍTULO II**

	<b>MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>10</b>
2.1	Sistema de control de emisión de gases de escape .....	10
2.1.1	Sistemas catalizados.....	11
2.1.2	Catalizador .....	12
2.1.3	Catalizador de dos vías.....	19
2.1.4	Convertidor catalítico de tres vías .....	19
2.1.5	Catalizador acumulador de NOx .....	20
2.1.6	Tipos de catalizadores en motores diésel .....	22
2.1.7	Catalizador de oxidación para gasóleo (DOC) .....	22
2.1.8	Catalizador acumulador de NOx para Diésel .....	23
2.1.9	Emisiones de gases contaminantes .....	25
2.1.10	Combustión completa e incompleta .....	26
2.1.11	Productos derivados de la combustión.....	26
2.1.12	Normativas de emisiones vehiculares.....	27
2.2	Gestión electrónica en los gases de escape .....	27
2.2.1	Sensor de temperatura ECT .....	28

2.2.2	Sensor de presión de aire de admisión MAP .....	32
-------	---	----

### **CAPÍTULO III**

	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS.....</b>	<b>37</b>
3.1	Descripción de los equipos a utilizar en las distintas pruebas.....	37
3.1.1	Scanner automotriz profesional Delphi.....	37
3.1.2	Osciloscopio OTC .....	39
3.1.3	Analizador de gases Brain Bee ags-688 .....	43

### **CAPÍTULO IV**

	<b>MEDICIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
4.1	Medición en el vehículo gasolina .....	79
4.1.1	Acondicionamiento de señal de sensores .....	79
4.1.2	Medición sin catalizador .....	83
4.1.3	Medición realizada con un catalizador de 2 vías.....	94
4.1.4	Medición realizada con un catalizador de 3 vías.....	102
4.2	Medición en el vehículo diésel .....	111
4.2.1	Acondicionamiento de la señal de sensores en diésel.....	111
4.2.2	Mediciones sin catalizador .....	113
4.2.3	Mediciones con catalizador de dos vías.....	119
4.2.4	Mediciones con catalizador de oxidación.....	124
4.3	Evaluación de la actividad catalítica.....	129
4.3.1	Eficiencia del convertidor catalítico .....	129
4.3.2	Análisis en el vehículo gasolina .....	130
4.3.3	Análisis en el vehículo diésel .....	140

**CAPÍTULO V**

<b>MARCO ADMINISTRATIVO .....</b>	<b>149</b>
5.1 Recursos utilizados .....	149
5.1.1 Recursos humanos .....	149
5.1.2 Recursos tecnológicos .....	149
5.1.3 Recursos materiales.....	150
5.2 Cronograma de actividades .....	152
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>153</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>153</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>160</b>
ANEXO 1. NORMATIVA	
ANEXO 2. REPORTES DE MEDICION DE GASES	
ANEXO 3. REPORTES DE GESTION ELECTRÓNICA	
ANEXO 4. IMÁGENES DE PRUEBAS DE CAMPO	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Causa - Efecto .....	4
Figura 2. Esquema del sistema de escape .....	10
Figura 3. Señales de la sonda lambda .....	11
Figura 4. Constitución de un catalizador.....	12
Figura 5. Convertidor catalítico .....	13
Figura 6 .Componentes de la cámara del convertidor catalítico .....	14
Figura 7. Constitución del convertidor catalítico .....	14
Figura 8. Emisiones de CO antes y después del catalizador.....	16
Figura 9. Emisiones de HC antes y después del catalizador .....	17
Figura 10. Emisiones de NOx antes y después del catalizador .....	18
Figura 11. Catalizador de dos vías .....	19
Figura 12. Convertidor Catalítico de Tres Vías, proceso de reacción.....	20
Figura 13. Sistema de escape con catalizador de tres vías.....	21
Figura 14. Catalizador de oxidación DOC .....	22
Figura 15. Catalizador Acumulador de NOx .....	25
Figura 16. Combustión de la mezcla y emisiones de escape .....	26
Figura 17.Composición de gases de escape MOTORES GASOLINA.....	26
Figura 18. Composición de gases de escape motores diésel.....	27
Figura 19. Sensor ECT .....	28
Figura 20. Sensor ECT en condiciones temperatura alta .....	29
Figura 21. Sensor ECT en condiciones temperatura baja .....	29
Figura 22. Circuito del Sensor ECT .....	30
Figura 23. Sensor MAP .....	32
Figura 24. Funcionamiento del sensor MAP .....	33
Figura 25. Comportamiento de la señal del sensor MAP.....	33
Figura 26. Ubicación del sensor MAP.....	34
Figura 27. Circuito del sensor MAP .....	35
Figura 28. Forma de onda del Sensor MAP .....	36
Figura 29. Scanner automotriz Delphi .....	37

Figura 30. Pantalla principal de scanner Delphi .....	38
Figura 31. Osciloscopio OTC.....	40
Figura 32. Vista frontal del analizador .....	44
Figura 33. Vista posterior del analizador .....	44
Figura 34. Detalle del grupo neumático del analizador .....	45
Figura 35. Panel de control.....	46
Figura 36. Sonda de extracción de gas .....	47
Figura 37. Tubo de sonda de extracción .....	47
Figura 38. Sensor de O <sub>2</sub> .....	48
Figura 39. Sensor de NO <sub>x</sub> .....	48
Figura 40. Tubo de drenaje condensado .....	48
Figura 41. Instalación de la sonda .....	50
Figura 42. Puertos para conexión de accesorios externos .....	51
Figura 43. Cuenta revoluciones Brain Bee MGT - 300 .....	52
Figura 44. Interfaz inicial de calibración.....	55
Figura 45. Toma de calibración .....	56
Figura 46. Interfaz de finalización de calibración .....	56
Figura 47. Ventana de inicio del software omniBUS – 800.....	57
Figura 48. Ventana de interface opciones del software omniBUS – 800.....	57
Figura 49. Ventana de tipos de pruebas en análisis de gases. ....	58
Figura 50. Ventana de datos de la prueba continua. ....	58
Figura 51. Resultados de prueba continua en líneas.....	59
Figura 52. Resultados de prueba continua en barras.....	59
Figura 53. Ventana de inicio de la prueba de estanqueidad.....	60
Figura 54. Sonda de extracción de gas .....	61
Figura 55. Ventana de fin de la prueba de estanqueidad .....	61
Figura 56. Ventana de ingreso de datos del vehículo a ser analizado.....	62
Figura 57. Ventana de valores límites de prueba .....	62
Figura 58. Ventana de fin de la prueba de HC restantes.....	63
Figura 59. Ventana de temperatura baja del motor. ....	64
Figura 60. Ventana de temperatura correcta de motor. ....	64

Figura 61. Ventana de prueba oficial en régimen de ralentí .....	65
Figura 62. Ventana de prueba oficial a un régimen acelerado .....	65
Figura 63. Ventana de mensaje de copia de seguridad de resultados. ....	66
Figura 64. Ventana de resultados de la medición.....	66
Figura 65. Ventana de menú de pruebas especiales.....	67
Figura 66. Ventana de la prueba de carburación régimen 1000 RPM.....	67
Figura 67. Ventana de la prueba de carburación régimen 1500 RPM.....	68
Figura 68. Ventana de la prueba de carburación régimen 2500 RPM.....	68
Figura 69. Ventana de la prueba de carburación régimen 3000 RPM.....	68
Figura 70. Ventana de la prueba de carburación régimen 4000 RPM.....	69
Figura 71. Ventana de la prueba de carburación régimen 4500 RPM.....	69
Figura 72. Ventana de la prueba de carburación régimen 5000 RPM.....	69
Figura 73. Ventana de diagnóstico de gases opciones de vehículos .....	70
Figura 74. Diagnóstico de gases a un régimen de 2000 y 2500 RPM.....	70
Figura 75. Diagnóstico de gases a un régimen de ralentí.....	71
Figura 76. Diagnóstico de gases para vehículo catalizado.....	71
Figura 77. Diagnóstico de gases para vehículo no catalizado a inyección ...	72
Figura 78. Diagnóstico gases para vehículo no catalizado.....	72
Figura 79. Eficiencia del catalizador. ....	73
Figura 80. Final de la prueba de estanqueidad de junta de culata .....	73
Figura 81. Fin de prueba de eficiencia del calentamiento.....	74
Figura 82. Diagrama de proceso de revisión y calibración mecánica.....	75
Figura 83. Diagrama de procesos de revisión de elementos eléctricos.....	76
Figura 84. Diagrama de procesos de revisión del alternador .....	76
Figura 85. Diagrama de procesos de revisión electrónica .....	77
Figura 86. Diagrama de procesos de revisión del sensor MAP.....	77
Figura 87. Diagrama de procesos de revisión del sensor ECT.....	78
Figura 88. Diagrama de procesos de revisión de inyectores. ....	78
Figura 89. Potenciómetro de corte 3296W .....	80
Figura 90. Acondicionamiento de la señal del sensor ECT .....	81
Figura 91. Comportamiento del sensor MAP.....	82

Figura 92. Acondicionamiento de la señal del sensor MAP .....	83
Figura 93. Vehículo gasolina sin catalizador .....	84
Figura 95. HC y NOx en ppm, vehículo gasolina, sin catalizador, ralentí .....	87
Figura 96. CO, O2, CO2 en %Vol, gasolina, sin catalizador, ralentí.....	88
Figura 97. HC y NOx en ppm, sin catalizador, a 2500 rpm.....	89
Figura 98. CO, O2, CO2 en %Vol, sin catalizador, a 2500 rpm.....	90
Figura 99. HC y NOx en ppm, gasolina, sin catalizador, 3500 rpm .....	91
Figura 100. CO, O2, CO2 en %Vol, sin catalizador, gasolina, 3500 rpm.....	92
Figura 101. Emisiones de gases en ppm Vol, gasolina, agente reductor .....	93
Figura 102. Emisiones de gases en ppm Vol, agente reductor, gasolina .....	94
Figura 103. Vehículo con catalizador de 2 vías .....	94
Figura 104. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, ralentí .....	96
Figura 105. CO, O2, CO2 en %Vol, con catalizador de dos vías, ralentí.....	98
Figura 106. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, 2500 rpm .....	99
Figura 107. CO, O2, CO2 en %Vol, sin catalizador, 2500 rpm.....	100
Figura 108. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, 3500 rpm .....	101
Figura 109. CO, O2, CO2 en %Vol, sin catalizador, 3500 rpm.....	102
Figura 110. Vehículo gasolina con catalizador de 3 vías.....	103
Figura 111. HC y NOx en ppm, con catalizador de tres vías, ralentí .....	105
Figura 112. CO /O2 / CO2 en ppm, con catalizador de 3 vías, ralentí.....	106
Figura 113. HC y NOx en ppm, con catalizador de tres vías, 2500 rpm .....	107
Figura 114. CO /O2 / CO2 en ppm, con catalizador de 3 vías, 2500 rpm...	108
Figura 115. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, a 3500 rpm ..	109
Figura 116. CO, CO2, O2 en ppm, con catalizador de dos vías, 3500 rpm	110
Figura 117. Mediciones sin catalizador.....	113
Figura 118. HC y NOx en ppm, vehículo diesel, sin catalizador, a ralentí. .	114
Figura 119. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, sin catalizador, a ralentí.....	115
Figura 120. HC y NOx en ppm, diesel, sin catalizador, a 2000 rpm. ....	116
Figura 121. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, sin catalizador, a 2000 rpm.....	117
Figura 122. HC y NOx en ppm, diesel, sin catalizador, a 3000 rpm. ....	118
Figura 123. CO, O2, CO2 en %Vol, diésel, sin catalizador, a 3000 rpm.....	118

Figura 124. Vehículo con catalizador de oxidación.....	119
Figura 125. HC y NOx en ppm, diésel, con catalizador, a ralentí. ....	120
Figura 126. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, con catalizador, a ralentí.....	121
Figura 127. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador, a 2000 rpm. ....	122
Figura 128. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, con catalizador, a 2000 rpm ...	122
Figura 129. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador, a 3000 rpm. ....	123
Figura 130. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, con catalizador, a 3000 rpm ...	124
Figura 131. Catalizador diésel .....	124
Figura 132. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador 2, a ralentí .....	125
Figura 133. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, con catalizador, a ralentí.....	126
Figura 134. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador 2, a 2000 rpm .....	127
Figura 135. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, con catalizador, a 2000 rpm ...	127
Figura 136. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador 2, a 3000 rpm .....	128
Figura 137. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, con catalizador, a 2000 rpm ...	129
Figura 138. Actividad catalítica en gasolina ppm.....	132
Figura 139. Actividad catalítica en gasolina % Vol .....	134
Figura 140. Actividad catalítica en gasolina HC ppm.....	136
Figura 141. Actividad catalítica en gasolina HC ppm.....	137
Figura 142. Actividad catalítica en gasolina % Vol .....	139
Figura 143. Actividad catalítica en diésel CO % Vol.....	142
Figura 144. Actividad catalítica en diésel CO2 % Vol.....	143
Figura 145. Actividad catalítica en diésel ppm.....	145
Figura 146. Actividad catalítica en diésel CO2 % Vol.....	147
Figura 147. Actividad catalítica en diésel CO % Vol.....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Proceso de oxidación y reducción del catalizador de tres vías.....	20
Tabla 2. Características del sensor MAP.....	35
Tabla 3. Valores del señal del sensor MAP.....	35
Tabla 4. Características técnicas. Campos de medición.....	49
Tabla 5. Parámetros de calibración de analizador Brain Bee AGS 688.....	54
Tabla 6. Temperatura, Resistencia y Voltaje del Sensor ECT.....	80
Tabla 7. Relación de voltajes y presiones Obtenidas para el Sensor MAP..	82
Tabla 8. Test oficial vehículo gasolina, sin catalizador.....	86
Tabla 9. Medición en gasolina, sin catalizador, a ralentí.....	87
Tabla 10. Medición en gasolina, sin catalizador, a 2500 RPM.....	89
Tabla 11. Medición en gasolina, sin catalizador, a 3500 RPM.....	91
Tabla 12. Medición en gasolina, sin catalizador, condiciones normales.....	93
Tabla 13. Test oficial vehículo gasolina, con catalizador de dos vías.....	95
Tabla 14. Medición, gasolina, con catalizador de dos vías, a ralentí.....	96
Tabla 15. Medición gasolina, catalizador de 2 vías, a 2500 rpm.....	98
Tabla 16. Medición, gasolina, catalizador de 2 vías, a 3500 rpm.....	100
Tabla 17. Test oficial vehículo gasolina, con catalizador de tres vías.....	103
Tabla 18. Medición en gasolina, con catalizador de 3 vías, a ralentí.....	104
Tabla 19. Medición gasolina, catalizador de 3 vías, a 2500 rpm.....	107
Tabla 20. Medición gasolina, catalizador de 3 vías, a 3500 rpm.....	109
Tabla 21. Temperatura, Resistencia y Voltaje del Sensor ECT.....	111
Tabla 22. Medición en diesel a ralentí sin el uso de catalizador.....	114
Tabla 23. Medición en diesel a 2000 rpm sin el uso de catalizador.....	116
Tabla 24. Medición en diesel a 3000 rpm sin el uso de catalizador.....	117
Tabla 25. Medición en diesel a ralentí con el uso de catalizador.....	119
Tabla 26. Medición en diesel a 2000 rpm con el uso de catalizador.....	121
Tabla 27. Medición en diesel a 3000 rpm con el uso de catalizador.....	123
Tabla 28. Medición en diesel a ralentí con el uso de catalizador 2.....	125
Tabla 29. Medición en diesel a 2000 rpm con el uso de catalizador 2.....	126

Tabla 30. Medición en diesel a un 3000 rpm con el uso de catalizador 2...	128
Tabla 31. Monitoreo de catalizadores en gasolina en ppm Vol .....	130
Tabla 32. Monitoreo de catalizadores en gasolina en % Vol .....	133
Tabla 33. Monitoreo de catalizadores en gasolina en ppm Vol .....	135
Tabla 34. Monitoreo de catalizadores en gasolina en % Vol .....	138
Tabla 35. Monitoreo de catalizadores en diésel en ppm Vol .....	140
Tabla 36. Monitoreo de catalizadores en diésel en % Vol .....	141
Tabla 37. Monitoreo de catalizadores en diésel en ppm Vol .....	144
Tabla 38. Monitoreo de catalizadores en diésel en % Vol .....	146

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Reacción química que se produce en la catálisis .....	23
Ecuación 2. Reacción química que se produce en la catálisis .....	23
Ecuación 3. Reacción química que se produce en la catálisis .....	23
Ecuación 4. Reacción química de los gases de escape .....	24
Ecuación 5. Temperatura característica del material.....	31
Ecuación 6. Resistencia interna del sensor .....	31
Ecuación 7. Relación entre el voltaje y la presión del sensor MAP .....	36
Ecuación 8. Relación Temp. Vs. R int. Sensor ECT .....	80
Ecuación 9. Relación voltaje - temperatura del sensor.....	81
Ecuación 10. Relación entre presión y voltaje sensor MAP.....	82
Ecuación 12. Eficiencia de los gases de escape .....	129

## RESUMEN

En los vehículos diésel, gasolina existen elementos y sistemas contaminantes principalmente en el Carter por la evacuación al ambiente de vapores de aceite y gases quemados produciendo CO=5%, NOx=5%, HC=20%, por la evaporación de gasolina del tanque con un 10% de HC y en el sistema de escape produciendo CO=95 %, NOx= 95%, y HC en un 70% ya que salen los productos de la combustión es por esta razón que se fabricaron los diferentes convertidores catalíticos ya sea diésel o gasolina mismos que tienen como función disminuir las emisiones contaminantes CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> por medio de reacciones químicas, estos elementos constan de componentes activos como platino, rodio y paladio, los cuales mitigan los gases contaminantes como CO, NO<sub>x</sub>, HC respectivamente. Este estudio se basó en el comportamiento de diferentes catalizadores diésel gasolina y la influencia de estos en la transformación de emisiones de escape con la ayuda del analizador de gases Brain Bee AGS- 688, el cual aporta informes detallados de la medición de los parámetros expuestos anteriormente, los datos obtenidos fueron tabulados para su respectivo análisis y comparación generando así un documento que aporte a investigaciones futuras.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONVERTIDORES CATALÍTICOS**
- **AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN**
- **SISTEMA DE ESCAPE**
- **EMISIONES DE GASES DE ESCAPE**
- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

## SUMMARY

In diesel vehicles, there are elements and systems contaminants mainly in the Carter by the evacuation to the environment of vapors of oil and gases burned producing CO = 5%, NOx = 5%, HC = 20%, by the evaporation of gasoline from the tank With 10% of HC and in the exhaust system producing CO = 95%, NOx = 95%, and HC in 70% since the products of the combustion exit are for this reason that the different catalytic converters were manufactured Diesel or gasoline which have the function of reducing pollutant emissions CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, NOx by means of chemical reactions, these elements consist of active components such as platinum, rhodium and palladium, which mitigate polluting gases such as CO, NOx , HC respectively. This study was based on the behavior of different gasoline diesel catalysts and the influence of these in the transformation of exhaust emissions with the help of the Brain Bee AGS-688 gas analyzer, which provides detailed reports of the measurement of the parameters discussed above, The data obtained were tabulated for their respective analysis and comparison, thus generating a document that contributes to future research.

### KEYWORDS:

- **CATALYTIC CONVERTERS**
- **REDUCING AGENTS**
- **EXHAUST SYSTEM**
- **EXHAUST GASES**

## CAPÍTULO I

### MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN “INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y AGENTES REDUCTORES DE POLUCIÓN EN LA TRANSFORMACION DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL – GASOLINA”

#### 1.1 Antecedentes

((AEADE), 2014) Según estadísticas publicada en su anuario por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador el parque automotor en el año 2014 alcanzó la cifra de 2´186.035, y el desmesurado crecimiento del parque automotor mundial, provisto de un motor de combustión interna, ha ocasionado un alto índice de contaminación en nuestro planeta debido a las emisiones de gases residuales (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>).

El impacto que generan estas emisiones por ejemplo: El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), presente en la atmósfera como parte natural del aire, no se le considera una sustancia nociva, sin embargo, éste es causante del efecto de invernadero y del cambio climático global relacionado a él.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro y sin olor que reduce en el ser humano la capacidad de absorción de oxígeno en la sangre y causa por eso el envenenamiento del cuerpo.

Los Hidrocarburos (HC) se consideran como cancerígenos cuando su acción es duradera. Los hidrocarburos oxidados en parte (por ejemplo aldehídos, cetonas) hieden de modo desagradable y forman bajo la influencia del sol productos secundarios que, con la acción duradera de determinadas concentraciones, se consideran asimismo como cancerígenos.

(Eggers, 2003) Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son corresponsables de los daños forestales (lluvia ácida) y junto con los hidrocarburos, de la formación de smog.

En el artículo de la Universidad Internacional de Andalucía en Sevilla publicado por (Cordero T. y Rodríguez J.), hablan acerca de los convertidores catalíticos modernos de tres vías son eficientes en la reducción simultánea de CO, hidrocarburos y NO<sub>x</sub>, pero el motor en si genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, contribuyendo al calentamiento global del planeta. Mejorar la eficacia de combustión para reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> requiere aumentar la relación aire a combustible muy por encima de la estequiometría, para quemar completamente el combustible, pero esto implicaría una disminución significativa de la conversión de NO<sub>x</sub> en los convertidores de tres vías modernos, y nos plantean que la solución ideal para esta situación sería la descomposición catalítica directa del NO en N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Existe un catalizador de Cu soportado en zeolita ZSM-5 que es capaz de llevar a cabo esta reacción, pero la zeolita no es estable en presencia de vapor de agua a las temperaturas de operación.

(Cordero Alcántara & Rodríguez Mirasol, 2008) El catalizador de almacenamiento y reducción de NO<sub>x</sub> (NSR) que ofrece una solución basada en un proceso en dos etapas en el que el motor cambia periódicamente entre una etapa larga de combustión en exceso de oxígeno y una etapa muy corta de combustión en condiciones ricas de combustible. Esta nueva tecnología es solo aplicable en mercados con disponibilidad de gasolinas con muy bajos niveles de azufre, como en Japón y en Suecia.

(Briceño, Sagredo, & Del Castillo, 2009) La revista digital DOAJ (Directory of Open Access Journals) menciona que la tecnología de los catalizadores nano estructurados de óxidos tipo espinela Cu<sub>1</sub>-XCoXFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> fueron preparados por el método sol-gel de auto combustión, utilizando ácido cítrico como precursor y caracterizados mediante las técnicas: Difracción de rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Microscopía Electrónica de Transmisión (MET), Área superficial (BET) y Pruebas de actividad catalítica, demostrando que los catalizadores Cu<sub>1</sub>-XCoXFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> son eficaces para la Reducción Catalítica Selectiva de los NO<sub>x</sub>, usando un hidrocarburo como agente reductor (RCS-HC),

en un rango de temperaturas de 250 - 450°C, alcanzando hasta un 40% de conversión de NO y un 100 % en la selectividad hacia la formación de N<sub>2</sub>.

En el país las Normas Técnicas Ecuatorianas están estructuradas bajo el Instituto Ecuatoriano De Normalización INEN las cuales regulan los efectos inherentes a emisiones permisibles de vehículos dentro de las cuales tenemos las siguientes:

La Norma NTE INEN 2 203:2000 establece la técnica de ensayo en los vehículos automotores a gasolina encendidos por chispa, para establecer la concentración de las emisiones derivadas del sistema de escape en condiciones de ralentí o marcha mínima.

La Norma NTE INEN 2204:2002-1R establece los límites tolerados de emisiones de contaminantes provocadas por fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas o a sus motores de gasolina. Esta norma exige que utilicen solo gasolina como combustible.

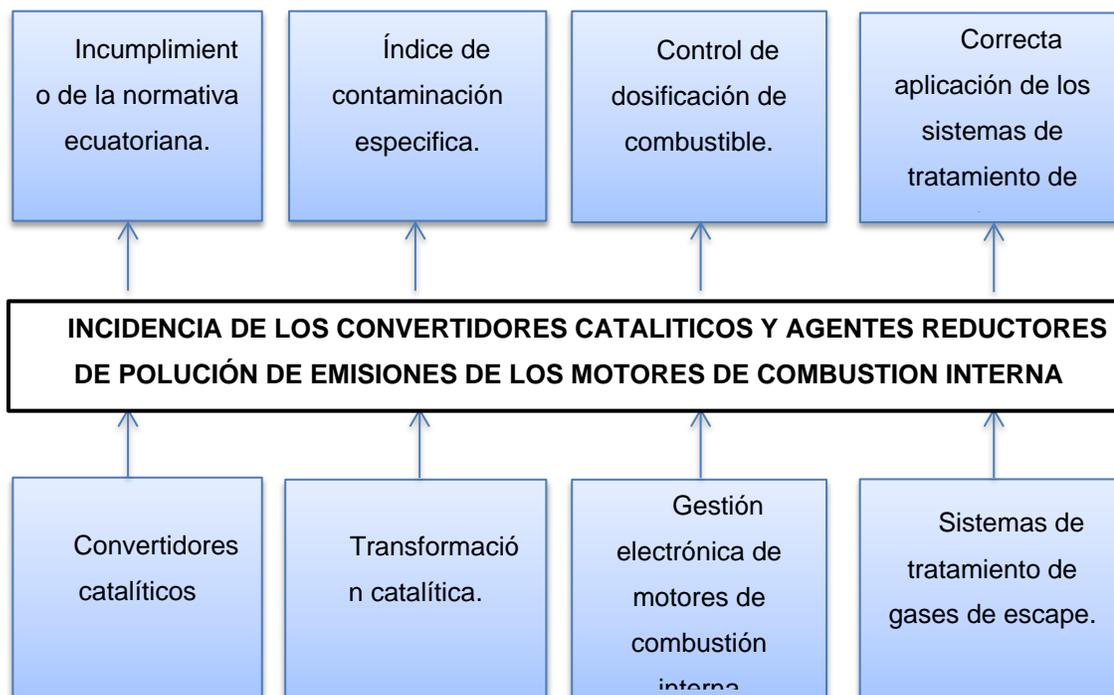
La Norma NTE INEN 2207:2000 establece los límites tolerados de emisiones de contaminantes provocadas por motores diésel, la cual no aplica a otro tipo de fuentes móviles (motores fijos, pistón libre, motores agrícolas, etc.)

Se utilizó normas oficiales internacional para poder comparar los resultados de NO<sub>x</sub> generados por el analizador de gases de escape Brain Bee AGS- 688

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales nos emite la Norma OFICIAL MEXICANA NOM-047-SEMARNAT-2014

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales nos emite la Norma OFICIAL MEXICANA NOM-041-SEMARNAT-2014

## 1.2 Planteamiento del problema



**Figura 1. Diagrama Causa - Efecto**

La incidencia de los convertidores catalíticos en los motores de combustión interna juega un papel muy importante, ya que los gases de escape producto de los procesos de combustión circulan por éstos antes de salir al exterior siendo transformados en sustancias inofensivas en su mayor proporción, con la ayuda de la gestión electrónica por medio de diferentes sensores y actuadores se ajusta la mezcla de aire y combustible con el fin de que el catalizador alcance su máxima eficiencia.

Los agentes reductores de emisiones cumplen su participación en la transformación catalítica en los motores de combustión interna con el fin de que aporten a la disminución de las emisiones contaminantes.

Por lo tanto el problema radica en determinar el catalizador más adecuado para una determinada aplicación del vehículo atendiendo la incidencia de contaminación que presenta cada emisión (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>).

### 1.3 Descripción resumida del proyecto

El proyecto de investigación se desarrolló en los laboratorios de Mecánica De Patio y de Autotrónica de La Carrera De Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga, se propone determinar la influencia de los convertidores catalíticos y agentes reductores en la transformación de emisiones contaminantes en motores de combustión interna diésel – gasolina.

Se recopiló (Semplades, 2013) información confiable como bases de datos digitales, textos, proyectos de investigación aplicada, manuales técnicos, normativas y publicaciones, que permitan obtener antecedentes, conceptos y definiciones para dar a conocer los aspectos teóricos, científicos y prácticos para fundamentar el estudio.

Se realizó una revisión técnica mecánica para poner a punto el motor de combustión interna con un protocolo de mantenimiento para el monitoreo de la gestión electrónica aplicada al automóvil y estos se encuentren dentro de los parámetros establecidos por el fabricante de los vehículos Chevrolet Corsa evolution 1.8 y Chevrolet Luv d-Max 3.0, gasolina y diésel respectivamente, mediante una prueba de ruta se verificará la funcionalidad del vehículo en diferentes condiciones de funcionamiento.

Se implementó convertidores catalíticos de: tres vías, acumulador de NOx y agentes reductores de emisiones de gases de escape en los vehículos de prueba para realizar la medición de emisiones a temperatura de operación, en ralentí, sin carga y a diferentes regímenes de revoluciones, con el Analizador de Gases Brain Bee AGS-688, con parámetros y valores referenciados a partir de las normas NTE INEN 2204:2002, NTE INEN 2349, NTE INEN 2 203:2000, NTE INEN 2 204:2002, relativos a motores gasolina y emisiones de óxidos nitrosos NOx establecidas en nuestro país, además se utilizó la norma oficial NOM SEMARNAT 041 y NOM SEMARNAT 047, para usar los protocolos de medición y valores permitidos de emisiones contaminantes, y requisitos que deben

cumplir los analizadores para una toma de datos precisa, mismos que se utilizaron para el análisis y comparación con valores medidos en los vehículos de estudio; haciendo notar el comportamiento de los gases NOx, la medición de temperatura y velocidad del motor en tiempo real se apoyó del equipo Global Pro GPRPM-300 perteneciente al Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

De las mediciones se obtendrán datos importantes que determinarán la influencia de los catalizadores en la transformación catalítica mediante la comparación analítica y matemática a partir de un análisis comparativo en base a los estándares de las normativas aplicadas en el país como en Europa, para generar un registro de las variaciones de los niveles de emisión generados con el uso de convertidores catalíticos de tres vías, acumulador de NOx y agentes reductores justificando los resultados de una forma técnica y científica, mediante cálculos matemáticos en base a fórmulas establecidas que validen la investigación.

#### **1.4 Justificación e importancia**

En la presente investigación se determinará la influencia al utilizar diferentes tipos de catalizadores comerciales en el Ecuador para la transformación catalítica, tomando en cuenta que el tratamiento catalítico de los gases de escape con la ayuda del catalizador de tres vías, en la actualidad, es el procedimiento de depuración de gases de escape más eficaz para los motores de combustión interna de gasolina con distribución homogénea de la mezcla, con la utilización adecuada del convertidor catalítico de tres vías se puede impedir casi por completo la expulsión de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) los cuales tienen un alto impacto en el medio ambiente como en la salud de los seres vivos; teniendo como promedio una reducción de los contaminantes del 98%. (Bosch, 2005)

Uno de los objetivos que plantea el Plan Nacional del Buen Vivir es “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global” (Semplades, 2013)

La incidencia de los convertidores catalíticos y los agentes reductores en los motores de combustión interna es directa ya que la transformación de gases de escape se logra mediante un tratamiento de los mismos antes de que lleguen al exterior siendo convertidos en sustancias inofensivas, y con la ayuda de la gestión electrónica se puede alcanzar la máxima eficiencia en reducción de emisiones contaminantes.

La investigación contribuyo con a la Universidad en su vínculo con áreas investigativas, logrando resultados gratos que permitan generar información significativo el cual satisface la necesidad respectiva, fomentando las capacidades locales para el desarrollo de la investigación y contribuir en parte con la mitigación del cambio climático que hoy en día es una necesidad.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Investigar la influencia de los convertidores catalíticos y agentes reductores de polución en la transformación de emisiones contaminantes de los motores de combustión interna diésel – gasolina.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información teórica y técnica referente a los sistemas de control de emisiones y equipo a utilizar para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Establecer un protocolo de mantenimiento para el monitoreo de la gestión electrónica aplicada al automóvil mediante la puesta a punto del motor de los vehículos de prueba
- Establecer un procedimiento de medición de emisiones contaminantes ( $O_2$ , CO, NOx y HC) de acuerdo al registro de calidad y calibración de acuerdo a

la norma OIML R99-ISO3930 CLASE 1 Y CLASE 0 y las normas TÜV de Alemania.

- Establecer un protocolo de medición y pruebas de emisiones contaminantes para el análisis del proceso catalítico de los vehículos Chevrolet Corsa evolution 1.8 y Chevrolet Luv D-Max 3.0 L bajo condiciones de marcha mínima o “Ralenti” y a un régimen variado de revoluciones.
- Recolectar y tabular datos de emisión de gases contaminantes bajo condiciones de marcha mínima o “Ralenti” y a un régimen variado de revoluciones con la implementación de catalizadores de dos y tres vías y con el uso de agentes reductores de emisiones de gases de escape en los vehículos de prueba.
- Interpretar y analizar los resultados logrados de la investigación respecto de las emisiones contaminantes generadas en los vehículos de prueba de acuerdo al catalizador y agente reductor utilizado determinando la incidencia de cada uno de estos en el control de los NOx validando los sistemas de tratamiento de gases producto de la combustión.
- Determinar la influencia de los catalizadores en la transformación catalítica mediante la comparación analítica y matemática en base a los estándares de las normativas aplicadas.

## **1.6 Metas**

Crear un documento de alto nivel académico que sustente la incidencia del uso de convertidores catalíticos de emisiones en motores de combustión interna, específicamente en motores de los vehículos Chevrolet Corsa Evolution Y Chevrolet Luv D-Max 3.0 L, en la transformación de emisiones de escape generando alternativas para disminuir el impacto ambiental con un fin predeterminado en nuestro país.

Establecer un escrito con base científica que valide la incidencia del uso de agentes reductores de emisiones en motores de combustión interna, específicamente en motores de los vehículos Chevrolet Corsa Evolution Y Chevrolet Luv D-Max 3.0 L,, en la transformación de emisiones de escape

generando alternativas para disminuir el impacto ambiental con un fin predeterminado en nuestro país.

### **1.7 Hipótesis**

¿El uso de los convertidores catalíticos de tres vías, de dos vías y agentes reductores de emisiones en los vehículos de prueba influirá en la transformación de gases de escape disminuyendo las emisiones considerablemente?

### **1.8 Variables de la investigación**

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

#### **1.8.1 Variable Dependiente:**

Transformación catalítica

#### **1.8.2 Variable Independiente:**

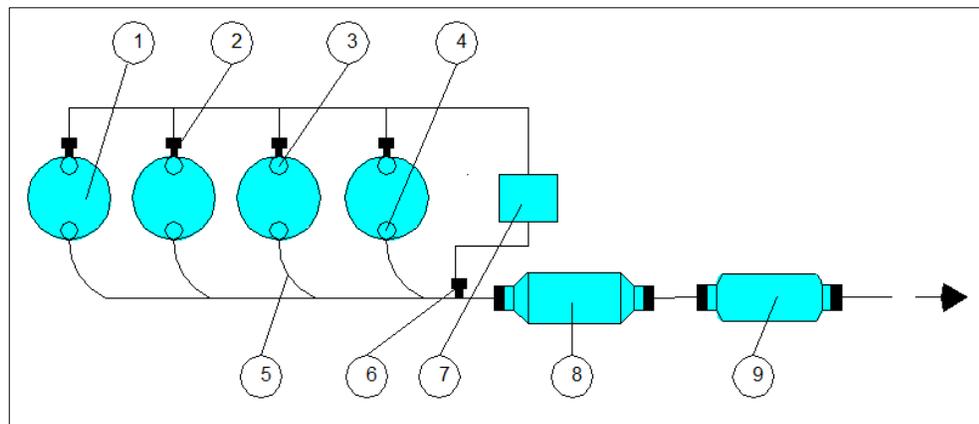
Convertidores catalíticos y agentes reductores.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Sistema de control de emisión de gases de escape

Se muestra un esquema del sistema de escape donde se observan los diferentes componentes que están relacionados de forma directa o de forma indirecta con el control de la evacuación de gases de escape producto de la combustión.



**Figura 2. Esquema del sistema de escape**

**Fuente:**(Torres & Rios, 2011, pág. 2)

Donde:

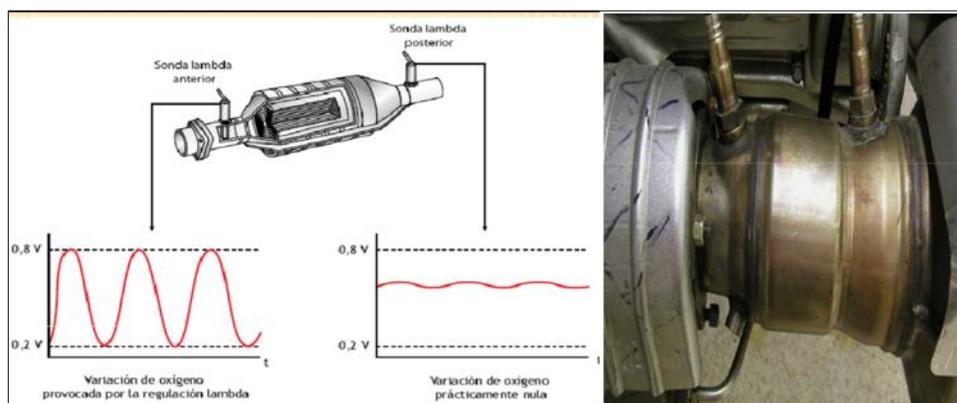
1. Cilindros
2. Inyectores
3. Válvulas de admisión
4. Válvulas de escape
5. Múltiple de escape
6. Sonda Lambda
7. Unidad de comando
8. Convertidor catalítico
9. Silenciador

(Torres & Rios, 2011) “El múltiple de escape recolecta los gases producto de la combustión de cada cilindro y lo conduce a través del convertidor catalítico y el silenciador. La sonda lambda monitorea la cantidad de oxígeno y envía una señal a la unidad de comando, donde se determina si la mezcla es rica pobre, actuando sobre los inyectores para lograr una dosificación apropiada de combustible, tiene por función reducir los gases contaminantes”.

### 2.1.1 Sistemas catalizados

El trabajo del catalizador depende de su habilidad de liberar y almacenar oxígeno necesario para completar la reacción química de reducción de emisiones de gases. A medida que el catalizador se deteriora, su propia habilidad de almacenar oxígeno se ve menor.

(Augeri, 2015) “Desde el momento en que la habilidad del catalizador de almacenar oxígeno es directamente proporcional a su propia operación, el mismo oxígeno almacenado puede ser usado como un indicador de la correcta performance del catalizador. Para llevar a cabo esto, se necesitan dos sensores de oxígeno. Mediante la utilización de un sensor de oxígeno delantero al convertidor catalítico (upstream), y un segundo sensor de oxígeno ubicado detrás del convertidor catalítico (downstream), el oxígeno almacenado puede ser determinado mediante la comparación de las distintas señales de los dos sensores de oxígeno”. (pág. 25)



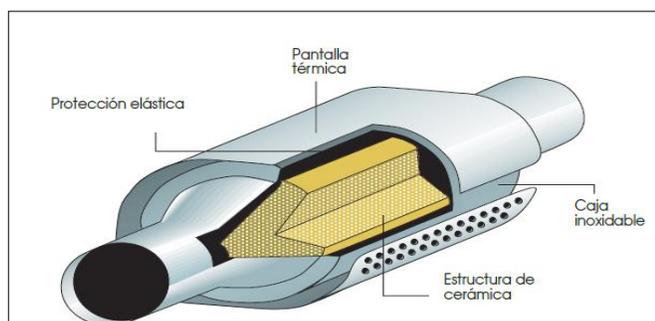
**Figura 3. Señales de la sonda lambda**

**Fuente:** (Augeri, 2015)

### 2.1.2 Catalizador

El catalizador tiene como gestión disminuir los elementos polucionantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis. Se trata de un dispositivo instalado en el tubo de escape, cerca del motor, ya que ahí los gases mantienen una temperatura elevada.

(Pérez, 2016) Esta energía calorífica pasa al catalizador y eleva su propia temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 y 700 grados centígrados. (pág. 1)



**Figura 4. Constitución de un catalizador**

**Fuente:** (Pérez, 2016)

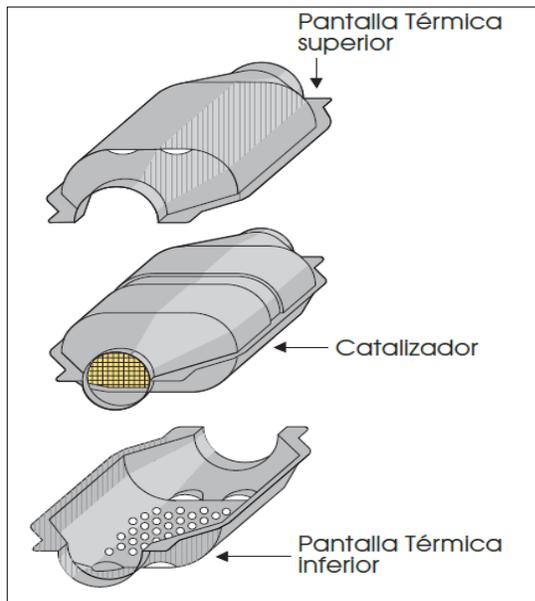
(Pérez, 2016) “Exteriormente el catalizador es un depósito de acero inoxidable, frecuentemente provisto de una carcasa-pantalla metálica antitérmica, igualmente inoxidable, que protege los bajos del vehículo de las altas temperaturas alcanzadas.

En su interior contiene un soporte cerámico o monolito, de forma oval o cilíndrica, con una estructura de múltiples celdillas en forma de panal, con una densidad de éstas de aproximadamente 450 celdillas por cada pulgada cuadrada (unas 70 por centímetro cuadrado). Su superficie se encuentra impregnada con una resina que contiene elementos nobles metálicos, tales como *Platino (Pt)* y *Paladio (Pd)*, que permiten la función de oxidación, y *Rodio (Rh)*, que interviene en la reducción”. (pág. 3)

Estos metales preciosos actúan como elementos activos catalizadores; es decir, inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las

cuales entran en contacto, sin participar ellos mismos en estas reacciones. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador son transformados parcialmente en elementos inocuos no polucionantes.

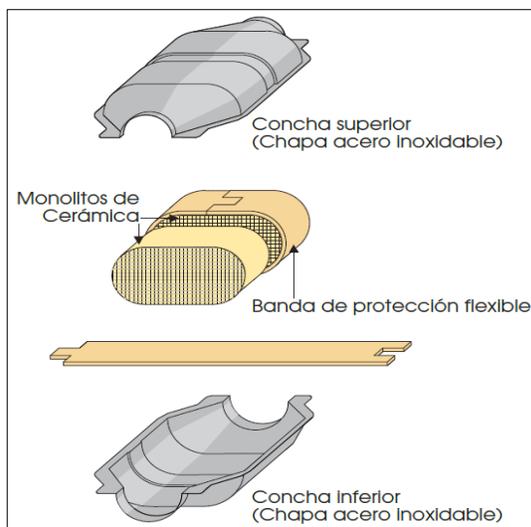
- **Accesorios Opcionales**



**Figura 5. Convertidor catalítico**

**Fuente:** (Pérez, 2016)

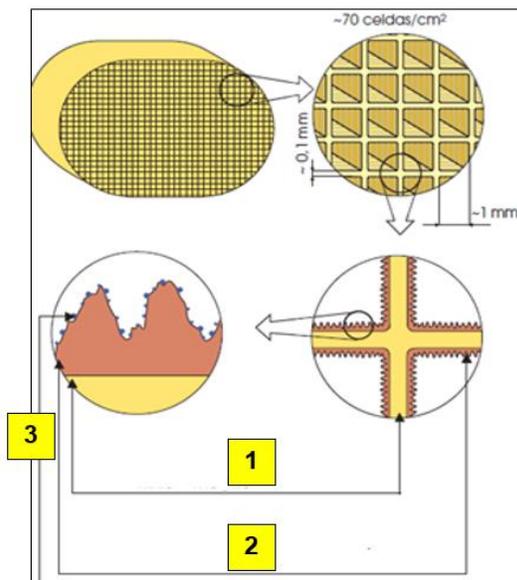
En la figura 5 se encuentra provisto de una carcasa (pantalla) metálica antitérmica, inoxidable, que protege el área inferior del vehículo de las altas temperaturas del sistema de gases de escape, el coeficiente de expansión térmica soporta constantes cambios de temperatura sin sufrir ninguna variación.



**Figura 6 .Componentes de la cámara del convertidor catalítico**  
Fuente: (Pérez, 2016)

En la figura 6 se muestra que el interior del convertidor catalítico contiene dos matrices, que se las designa monolitos de cerámica, de forma cilíndrica, con una estructura de múltiples celdillas en forma de panal de abejas, con una densidad de éstas de alrededor de 70 por  $\text{cm}^2$ , como se muestra en la figura 7.

- **Constitución del catalizador de tipo cerámico**



**Figura 7. Constitución del convertidor catalítico**  
Fuente: (Pérez, 2016)

Donde:

- 1.- soporte cerámico refractario de silicato de aluminio y magnesio
- 2.- Lecho rugoso para incrementar la superficie de exposición a los gases de óxido de aluminio
- 3.- Metales activos (Platino, Paladio, Rodio)

- **Constitución interna del Catalizador**

(Pérez, 2016) En síntesis el catalizador conforma el conjunto de procedimientos que permiten que la velocidad con la que transcurre una reacción química se incrementa por lo que esta condición, El catalizador es la mezcla de metales preciosos (paladio, platino, rodio), establece a la catálisis dentro de la cinética química, en la cual durante la reacción, se produce un desprendimiento de energía, produciendo una reacción exotérmica.

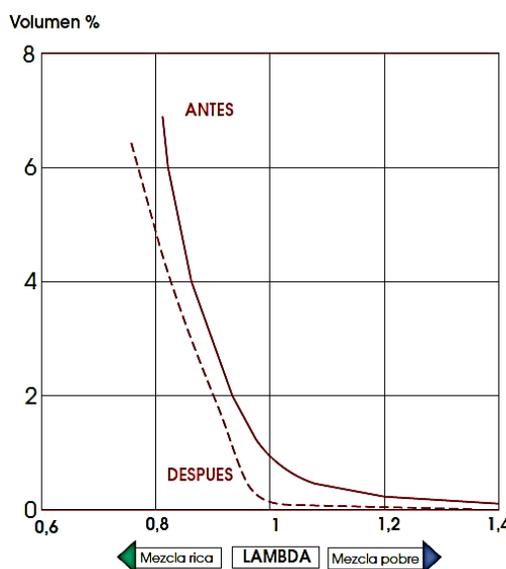
Los catalizadores tienen una ventaja de efectuar una transformación química, de estos gases en otros de menor daño para la salud, la producción de compuestos contaminantes en el motor depende principalmente de la relación aire- combustible.

Las concentraciones de estos catalizadores están alrededor de 0.1 – 0.15 por ciento, con una relación de Pt: Pd = 2.5: 1 y la relación Pt: Rh = 5:1. Por regla general, hay aproximadamente 1 a 2 gramos de metales preciosos en cada convertidor catalítico. A los convertidores que tienen el catalizador constituido por los tres metales se los llama convertidores de tres vías, en cambio cuando un convertidor contiene únicamente Pt y Pd se denomina de dos vías. La capa delgada de óxido de cerio contiene trazas de platino, paladio y rodio; estos metales preciosos actúan como elementos activos catalizadores, es decir, inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las cuales entran en contacto, sin participar ellos mismos en estas reacciones. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador son transformados parcialmente en elementos inócuos no polucionantes. Los metales preciosos que por sus

propiedades físicas de alta estabilidad actúan en el estado metálico. La tabla I.6, muestra los coeficientes de ionización de estos tres metales.

A medida de la mezcla se vuelve más rica de oxígeno, los productos que no sufrieron una combustión completa disminuyen y también la concentración de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), cuando el gas de hidrocarburo (HC), monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son calentados en oxígeno a  $500^\circ\text{C}$  en el múltiple de admisión del motor, no hay prácticamente ninguna reacción química entre estos gases. Sin embargo, cuando pasan por un catalizador, ocurre una reacción química y estos gases son convertidos en compuestos inofensivos de dióxido de carbono, ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

La falta de oxígeno en la combustión hace que ésta no se origine completamente y se forme CO en lugar de  $\text{CO}_2$ . En un vehículo, la mayor agrupación en el escape de CO indica una presencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno. La figura 8 muestra las emisiones de CO (gasolina parcialmente quemada) antes y después del catalizador; la gráfica permite evidenciar la actividad que realiza el catalizador, ya que después de este elemento y con una relación lambda próxima a 1, las emisiones de CO disminuyen.



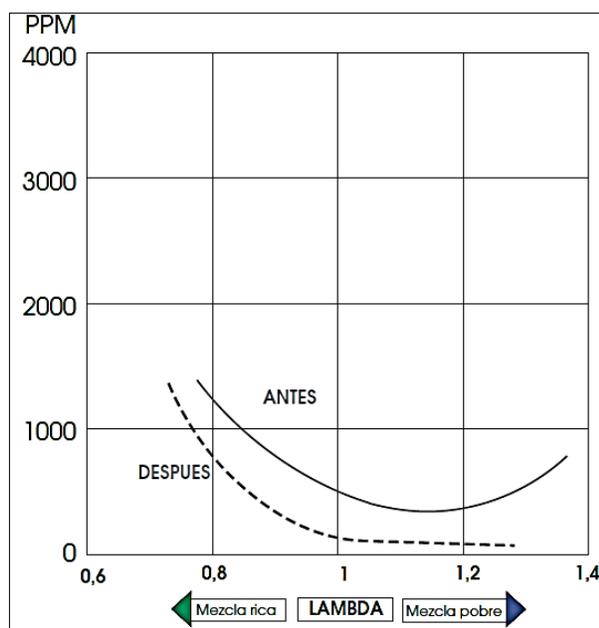
**Figura 8. Emisiones de CO antes y después del catalizador**

**Fuente:** (Pérez, 2016)

(Bosch R. , 2003) Los hidrocarburos, dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos como cancerígenos, “los HC oxidados en parte huelen de modo desagradable y forman bajo la influencia del sol productos secundarios que, con la acción duradera de determinadas concentraciones, se consideran asimismo cancerígenas”. (pág. 44)

El contacto directo provoca irritaciones de ojos, piel y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas.

La figura 9 indica las emisiones HC (gasolina sin quemar) antes y después del catalizador; la gráfica reconoce comprobar la actividad que realiza el catalizador, ya que después de este dispositivo y con una relación lambda próxima a 1, las partes por millón de hidrocarburos se reducen significativamente.



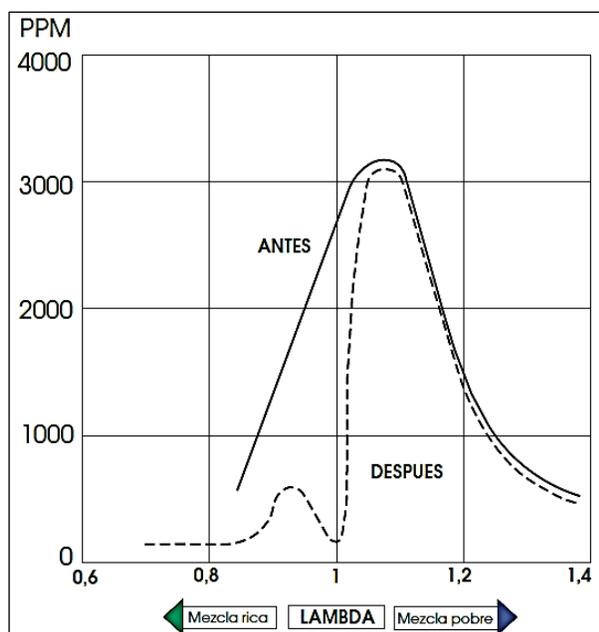
**Figura 9. Emisiones de HC antes y después del catalizador**

**Fuente:** (Pérez, 2016)

(Bosch R. , 2003) “Los óxidos de Nitrógeno es el concepto colectivo para compuestos de nitrógeno y oxígeno los cuales se forman como consecuencia de reacciones secundarias en todos los procesos de combustión con aire, que contiene nitrógeno.

En el motor de combustiones produce principalmente óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de carbono ( $\text{NO}_2$ ), y en reducida medida también óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el óxido de nitrógeno (NO) es sin olor e incoloro, en el aire se transforma lentamente en dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) el cual en su forma pura es un gas venenoso de olor permanente”. (pág. 45)

La figura 10 muestra las emisiones de NOx (óxido de nitrógeno) antes y después del catalizador; la gráfica permite comprobar la actividad que realiza el catalizador, ya que después de este dispositivo y con una relación lambda y con una relación lambda cercana a 1, las emisiones de NOx reducen.



**Figura 10. Emisiones de NOx antes y después del catalizador**

**Fuente:** (Pérez, 2016)

(replacement, 2000) Los catalizadores usados en convertidores usados en convertidores catalíticos de automóviles se diferencian dependiendo del tipo de gas, pero generalmente se usa el platino, paladio, iridio, radio, etc. El catalizador es aplicado a la superficie de muchos portadores para aumentar la superficie del área que es expuesto al gas de escape. (pág. 3)

- **Tipos de convertidores catalíticos en motores gasolina**

### 2.1.3 Catalizador de dos vías

Son llamados de oxidación, de doble cuerpo, o de doble efecto, son en contexto un doble catalizador de oxidación con toma intermedia de aire. El primer cuerpo opera sobre los gases ricos de escape, reduciendo el óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), mientras el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos ya que toma aire de la parte media del catalizador, reduciendo el óxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC). Los catalizadores de oxidación (figura 1.7) usan platino, paladio, o ambos para aumentar la premura de reacción entre el oxígeno, el monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados en el sistema de escape. Esta reacción se produce habitualmente en forma tardía. La eficiencia del catalizador depende de su temperatura, de la relación de la mezcla aire-combustible ( $\lambda$  lambda) y el conjunto de hidrocarburos. Elementos parafínicos como el metano, etano y propano están entre los hidrocarburos menos reactivos y son difíciles que tengan el proceso de oxidación.



**Figura 11. Catalizador de dos vías**

### 2.1.4 Convertidor catalítico de tres vías

En este convertidor catalítico se realizan las dos reacciones de oxidación y reducción, ha sido considerado como catalizador ideal, elimina los tres contaminantes principales (CO, HC y  $\text{NO}_x$ ) fruto de la combustión incompleta del equipan este motor, prácticamente todos los vehículos fabricados en la actualidad tipo de convertidor catalítico. Se requiere una regulación de la

mezcla aire combustible muy precisa (cercano y casi igual a la relación estequiometría) para de gestión su correcto funcionamiento, por lo que necesita sistemas electrónicos de combustible. Está constituido de dos catalizadores uno de oxidación y otro de reducción, ubicados en el mismo compartimiento uno a tras del otro. En este proceso ocurren las siguientes reacciones. (Hidalgo, 2010)

**Tabla 1**  
**Proceso de oxidación y reducción del catalizador de tres vías**

HC	OXIDACIÓN	CO <sub>2</sub>
CO	OXIDACIÓN	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
NO <sub>x</sub>	REDUCCIÓN	N <sub>2</sub>



**Figura 12. Convertidor Catalítico de Tres Vías, proceso de reacción**

**Fuente:** <http://blog.autingo.es/tag/mecanica/>

### 2.1.5 Catalizador acumulador de NOx

En los modos de funcionamiento con mezcla pobre el catalizador de tres vías no puede transformar por completo los óxidos de nitrógeno (NOx) que se producen durante la combustión. En este caso el oxígeno para el proceso de oxidación del monóxido de carbono y de los hidrocarburos no se disocia de los óxidos de carbono de otra manera.

El catalizador acumulador de NOx está estructurado de modo similar al catalizador de tres vías. Adicionalmente el recubrimiento con platino, paladio y

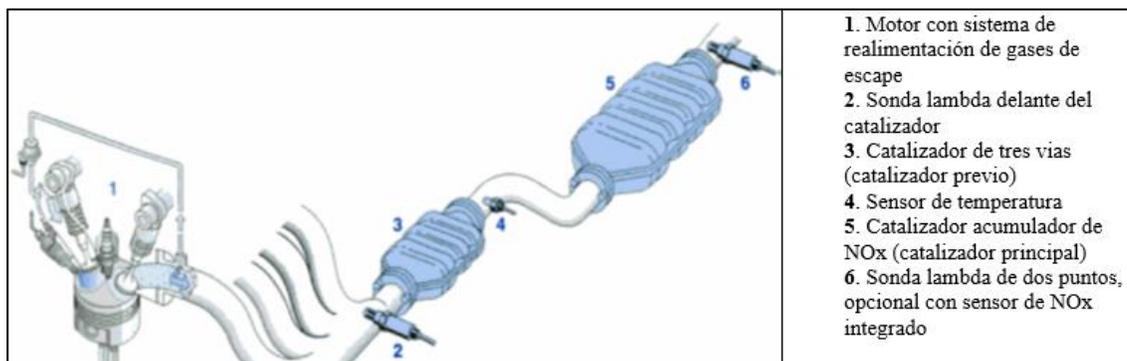
rodio, contiene aditamentos especiales que pueden acumular óxidos de nitrógeno.

Por razón del recubrimiento de metales preciosos, el catalizador acumulador de NOx en el funcionamiento con  $\lambda = 1$  actúa como un catalizador de tres vías. Adicionalmente transforma los óxidos de nitrógenos no reducidos en los gases de escape pobres. Esta transformación no se efectúa sin embargo de modo continuado como con el monóxido de carbono y los hidrocarburos, sino que transcurre en tres etapas:

1. Acumulación de NOx
2. Desacumulación de NOx
3. Transformación

(Bosch R. G., 2005) “Existen 2 posibilidades de reconocer cuando el catalizador está saturado y ha terminado la fase de acumulación:

- El procedimiento basado en un modelo calcula la cantidad de NOx acumulado, tomando en cuenta la temperatura del catalizador.
- Un sensor de NOx (6) dispuesto detrás del catalizador de NOx mide la concentración de NOx en los gases de escape”. (pág. 55)



**Figura 13. Sistema de escape con catalizador de tres vías**

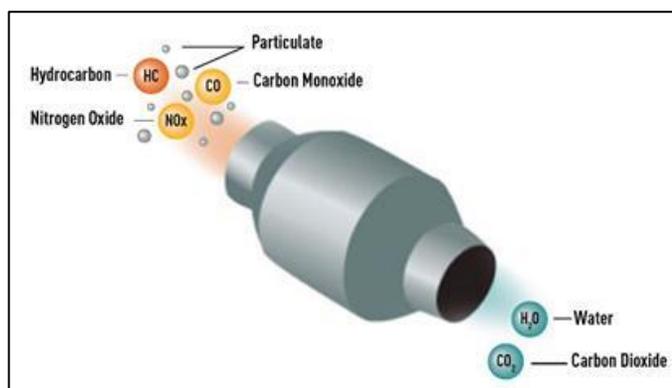
**Fuente.**(Bosch R. G., 2005, pág. 59)

### 2.1.6 Tipos de catalizadores en motores diésel

(Orbe, 2014) Los motores de combustión interna constituyen una de las principales causas de contaminación ambiental. En el caso particular de los motores diésel los principales contaminantes son las partículas de hollín o material particionado y los óxidos de nitrógeno. El desarrollo de materiales catalíticos activos para la eliminación de contaminantes de gases de escape de motores diésel, ha sido motivo de un intenso trabajo de investigación en los últimos años. La eliminación de hollín proveniente de escapes de motores diésel, es un problema para el cual aún no se ha encontrado una solución completamente satisfactoria. Se debe lograr un sistema de filtrado eficiente, que retenga las partículas de muy pequeño tamaño generadas en el motor, evitando aumentos en la pérdida de carga del sistema de exhaustión por taponamiento del filtro. Una de las opciones más adecuadas es que se auto regenere por combustión catalítica del hollín. Para esto, el catalizador debe tener actividad suficiente a la temperatura de los gases de escape.

### 2.1.7 Catalizador de oxidación para gasóleo (DOC)

El filtro está constituido por un monolito cerámico tipo panal de abeja con cubierta de acero inoxidable y se encuentra construido estructuralmente en acero. El monolito cerámico está recubierto con un agente oxidante.



**Figura 14. Catalizador de oxidación DOC**

**Fuente:** Oxidación catalítica diésel (DOC)

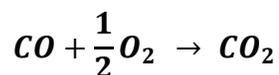
El catalizador reduce el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos ( $C_xH_y$ ) y parcialmente hidrocarburos oxidados ( $C_xH_yO$ ) y material particulado diésel. A

continuación, se presenta un esquema general del filtro, tanto de su estructura externa como interna.

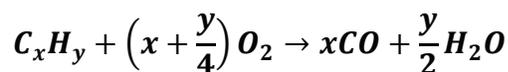
La remoción de los contaminantes por el catalizador, comienza cuando el motor opera de manera correcta, o con una temperatura superior a 160 °C. Si el motor se encuentra en ralentí o el catalizador está frío, la eliminación de contaminantes no se realizará con la mayor eficiencia.

Las principales reacciones químicas que se producen, son las que se muestran a continuación:

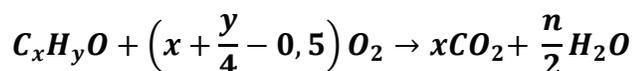
**Ecuación 1.** Reacción química que se produce en la catálisis



**Ecuación 2.** Reacción química que se produce en la catálisis



**Ecuación 3.** Reacción química que se produce en la catálisis



### 2.1.8 Catalizador acumulador de NOx para Diésel

El catalizador acumulador de NOx (NSC: NOx Storage catalyst) elimina los óxidos de nitrógeno en dos etapas:

- **Fase de carga:** acumulación continuada de NOx en los componentes de acumulación del catalizador con gases de escape pobre.
- **Regeneración:** Desacumulación periódica de NOx y conversión en gases de escape ricos. La fase de carga dura de 30 a 300 segundos, en función del momento de servicio, la regeneración del acumulador de 2 a 10 segundos.

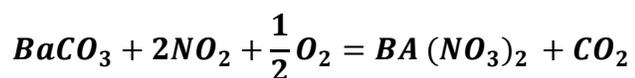
El catalizador acumulador de  $NO_x$  está recubierto de compuestos de compuestos químicos, los cuales tienen una elevada tendencia a establecer un enlace químico fijo, aunque químicamente reversible, con el  $NO_2$ .

Ejemplos de ello son los óxidos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos; se utiliza predominantemente nitrato de bario debido al comportamiento de la temperatura.

Debido a que solo puede acumularse directamente el  $NO_2$ , pero no el  $NO$ , las partes de  $NO$  de los gases de escape se oxidan y se transforman en  $NO_2$ . en un catalizador de oxidación pre acoplado o integrado, en la superficie de una capa de platino. Esta reacción se efectúa en varias etapas, ya que durante la acumulación se reduce la concentración de  $NO_2$ . libre en los gases de escape, oxidándose a continuación el  $NO$  para convertirse en  $NO_2$ .

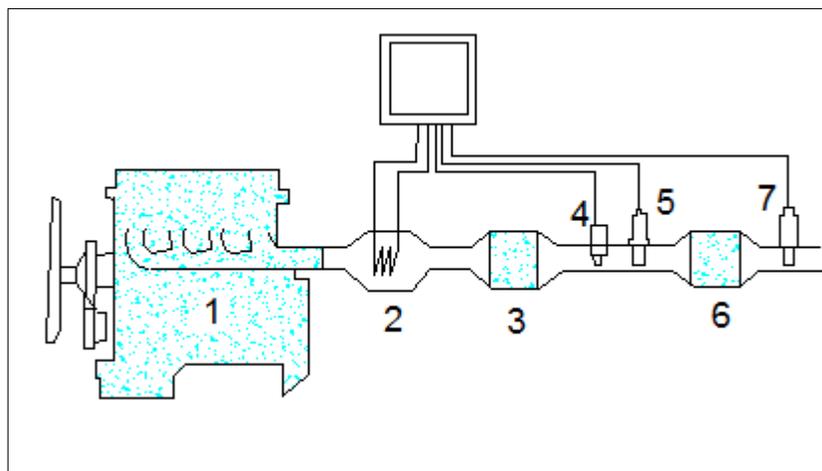
En el catalizador acumulador de  $NO_x$  reacciona el  $NO_2$ . con los compuestos químicos de la superficie del catalizador por ejemplo carbonato de bario,  $BaCO_3$  como material acumulador) y el oxígeno ( $O_2$ ) de los gases de escape pobres originados por la combustión del gasóleo para convertirse en nitratos:

**Ecuación 4.** Reacción química de los gases de escape



El catalizador acumulador de  $NO_x$  acula así los óxidos de nitrógeno. La acumulación es óptima solo en un intervalo de temperaturas de los gases de escape de entre 250 a 450°C, en función del material. La oxidación del  $NO$  a  $NO_2$  es muy lenta a temperaturas inferiores al intervalo citado y el  $NO_2$  no es posible a temperaturas superiores al mismo. Los catalizadores acumuladores poseen sin embargo una pequeña capacidad de acumulación (acumulación superficial) en el margen de bajas temperaturas, que es suficiente para acumular una cantidad suficiente para acumular una cantidad suficiente de los óxidos de nitrógeno

generados durante el proceso de arranque en el margen bajo de temperaturas.(Bosch R. , 2005, págs. 57-59)



**Figura 15.** Catalizador Acumulador de NOx

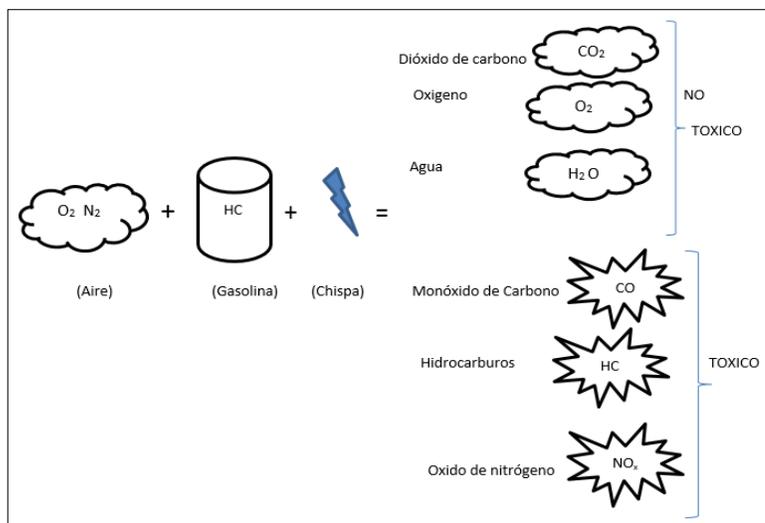
**Fuente:** Técnica de gases de escape para motores diésel. Bosch R. (2005) pág. 57

**Dónde:**

- 1.- Motor diésel
- 2.- Calefacción de los gases de escape
- 3.- Catalizador de oxidación
- 4.- sensor de temperatura
- 5.- sonda lambda de banda ancha
- 6.- catalizador acumulador de NOx
- 7.- Sensor de NOx
- 8.- Unidad de control

### 2.1.9 Emisiones de gases contaminantes

(Bosch R. G., 2005) En los motores que utilizan como combustible la gasolina, durante la combustión del combustible con el aire se forman los gases de escape, estos contienen diferentes productos de la combustión, algunos de los cuales están considerados como sustancias nocivas para el ser humano por la toxicidad que estos representan al ser inhalados.

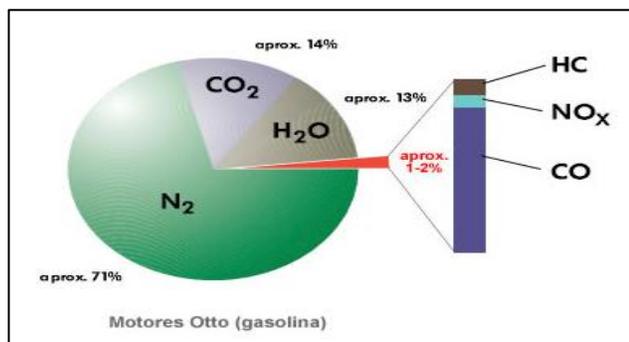


**Figura 16. Combustión de la mezcla y emisiones de escape**  
**Fuente:** Mecánica, Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación

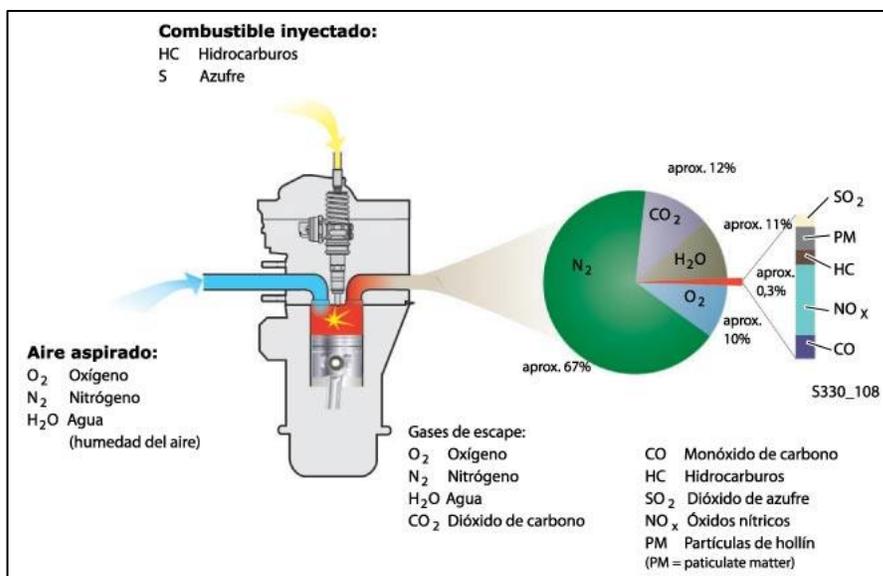
### 2.1.10 Combustión completa e incompleta

(Bosch R. G., 2005). En una combustión completa e ideal de combustible puro con oxígeno sin reacciones secundarias indeseadas se forma solo agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Debido a que las situaciones de combustión no son ideales, por ejemplo residuos de combustible no evaporadas en la pared de la cámara de combustión, constitución del combustible y la presencia de nitrógeno en el aire atmosférico hacen que se generen efectos secundarios de combustión no deseados como: hidrocarburos no quemados o quemados parcialmente.

### 2.1.11 Productos derivados de la combustión



**Figura 17. Composición de gases de escape MOTORES GASOLINA**  
**Fuente:** Mecánica, Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación



**Figura 18. Composición de gases de escape motores diésel**  
**Fuente:** Mecánica, Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación

### 2.1.12 Normativas de emisiones vehiculares.

Las normas de emisiones vehiculares son un programa de medidas reglamentarias creadas por organismos por el que se establecen requisitos técnicos para la homologación de vehículos de motor en el campo de las emisiones vehiculares, creadas para evitar que difieran de un estado a otro, aplicable a países según el requerimiento, además, sirven para determinan los límites máximos autorizados de emisiones contaminantes para vehículos móviles.

Son aplicables además a los vehículos que se encuentran ya en circulación.

Los gases de escape que regulan estas normas son:

- Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>.
- Monóxido de carbono CO.
- Hidrocarburos no combustionados HC.
- Material particulado.

## 2.2 Gestión electrónica en los gases de escape

Con la introducción del DIAGNOSTICO DE A BORDO (OBD), el elemento esencial del mismo consiste en la vigilancia por parte del sistema electrónico del

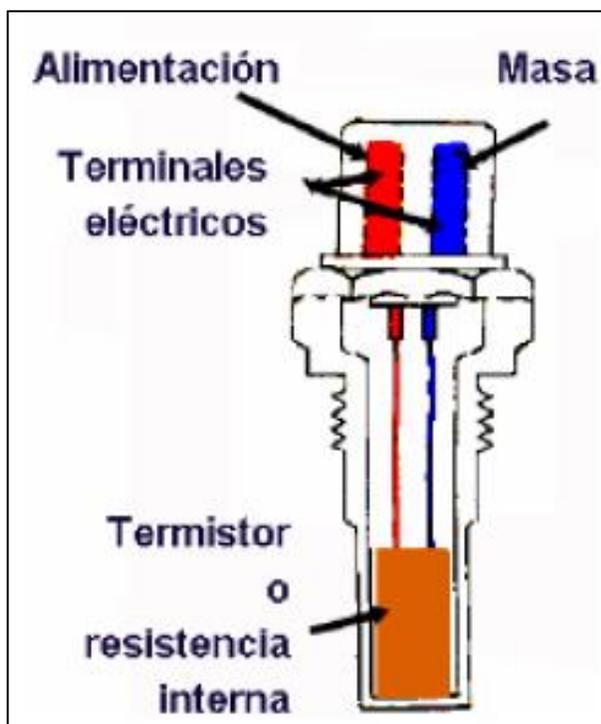
motor de los componentes eléctricos influyentes en los gases de escape, y la emisión de una señal óptica de advertencia en caso de fallo de funcionamiento relevante.

- **Detección de fallos en la combustión**

Dentro de la detección de fallos en la combustión existen varios componentes los cuales influyen en la gestión de gases de escape

### 2.2.1 Sensor de temperatura ECT

(Augeri, 2015) El sensor de temperatura ECT es una resistencia variable que cambia de valor de acuerdo a la temperatura, el PCM coloca un valor de voltaje y de acuerdo al valor de resistencia del sensor, cambiara el voltaje sobre el PCM que coloca este voltaje a través de una resistencia de valor fijo. Este principio se basa en la ley de OHM a través de 2 resistencias en serie. (pág. 12)



**Figura 19. Sensor ECT**  
**Fuente:** (Augeri, 2015)

- Temperatura alta resistencia baja, voltaje en el multímetro bajo

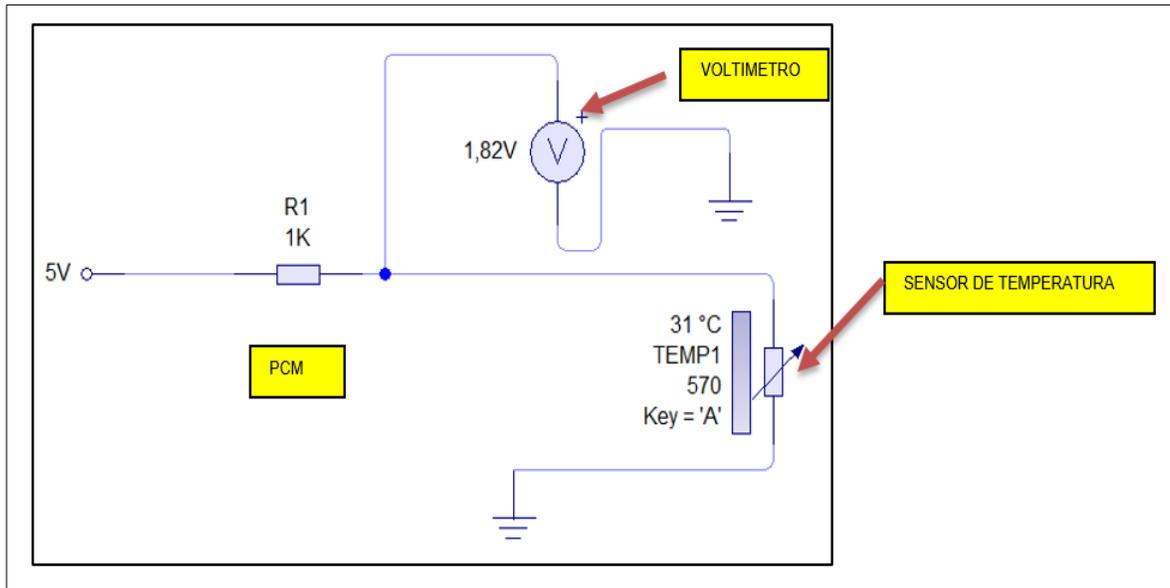


Figura 20. Sensor ECT en condiciones temperatura alta

- Temperatura baja, resistencia alta, voltaje alto.

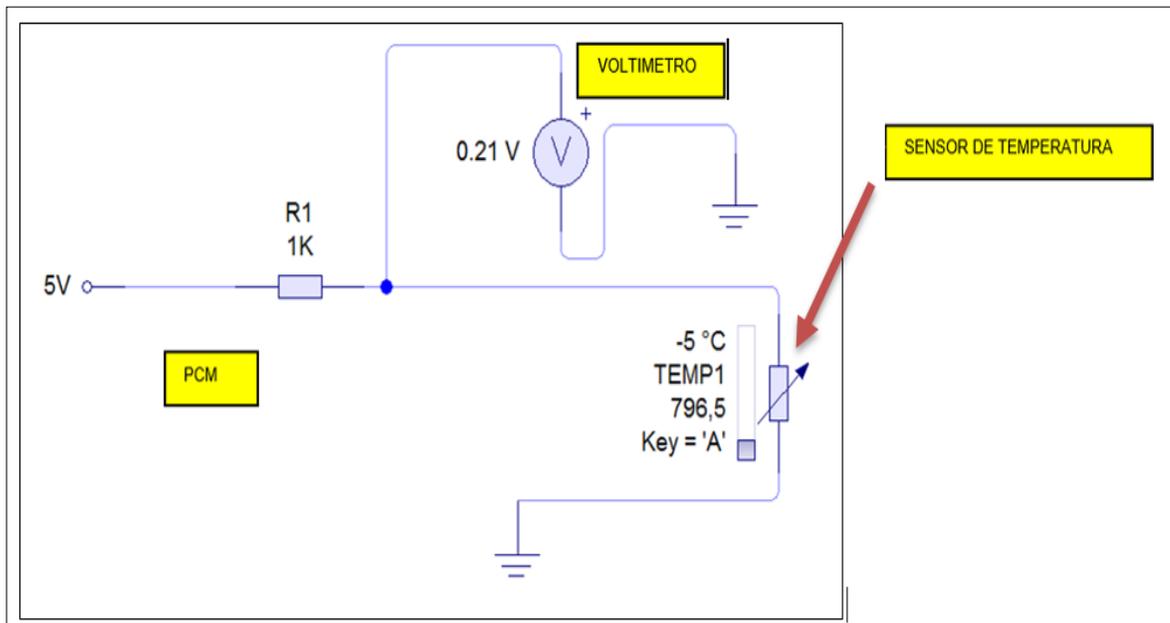


Figura 21. Sensor ECT en condiciones temperatura baja

- **Circuito del sensor de temperatura ECT**

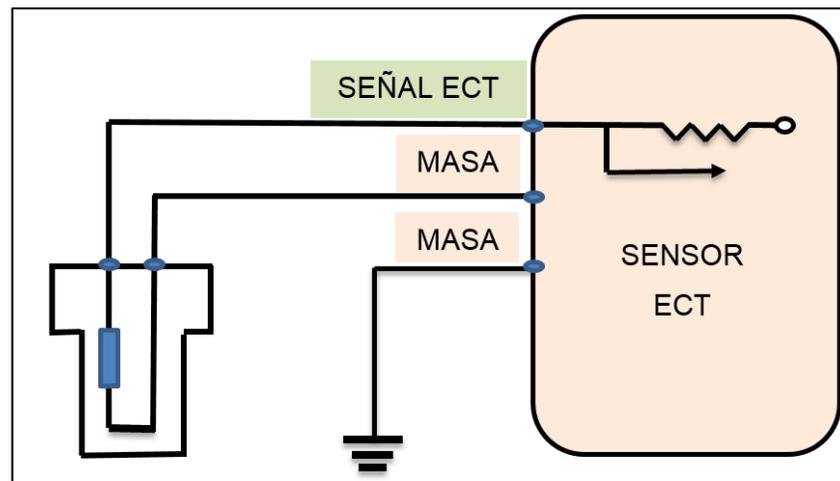
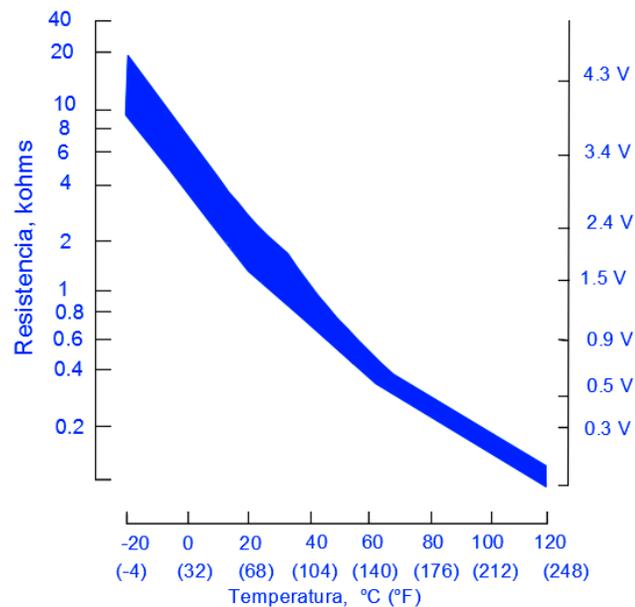


Figura 22. Circuito del Sensor ECT

- **Gráfica de señal del sensor de temperatura ECT**



- **Acondicionamiento de la señal del sensor ECT**

(VITERI, 2014) Para determinar la cantidad de combustible necesaria a inyectar, es de suma importancia, la señal del sensor de temperatura ECT ya que nos proporciona la temperatura del combustible, inicialmente el sensor ECT

(termistor de tipo NTC) se encuentra en un valor de alto voltaje (4.1V motor frío aproximadamente) y hasta que el motor llegue a su temperatura óptima de funcionamiento, el aumento de la temperatura hace que el voltaje disminuya, esta variación de tensión tiene una directa relación con el ancho de pulso de inyección.

La relación entre la variación de la temperatura y la resistencia interna del sensor ECT se muestra en la ecuación:

$$R_T = R_0 \cdot e^{[B \cdot (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})]}$$

**Dónde:**

$R_0$ : Es la resistencia a una temperatura de referencia.

$T_0$ : Dicha temperatura referencial expresada en Kelvins (K)

$R_T$ : Resistencia interna del sensor.

$B$ : Es la temperatura característica del material.

Si se despeja B de la ecuación anterior se lo puede encontrar midiendo la resistencia del termistor a dos temperaturas conocidas  $T_1$  y  $T_2$ .

Si la resistencia respectiva es  $R_{T1}$  y  $R_{T2}$  tenemos:

**Ecuación 5.** Temperatura característica del material

$$B = \frac{\ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

**Ecuación 6.** Resistencia interna del sensor

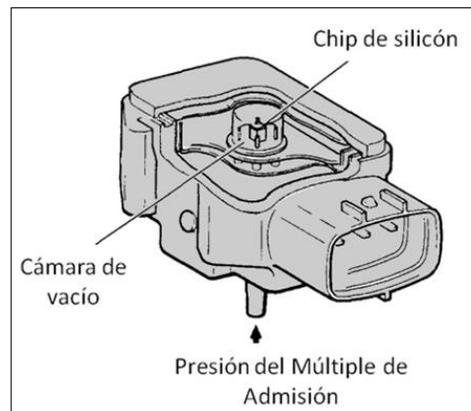
$$R_T = 2700 \Omega \cdot e^{[946.833 \cdot (\frac{1}{T} - \frac{1}{295K})]}$$

Para acondicionar la señal de temperatura se debe relacionar la resistencia obtenida por el sensor (termistor) con la variación de voltajes en los terminales del sensor, por lo que se implementó un potenciómetro de corte 3296W que actúa como divisor de tensión y convierte el valor de resistencia obtenido en la

ecuación (6) En un voltaje proporcional que lee la Unidad de Control para determinar la temperatura del sensor, con el fin de simular la variación de temperatura en el motor engañando a la ECU diciéndole que el motor se encuentra en diferentes condiciones de temperatura y así medir los gases de escape y la eficiencia del catalizador en dichas condiciones.

### 2.2.2 Sensor de presión de aire de admisión MAP

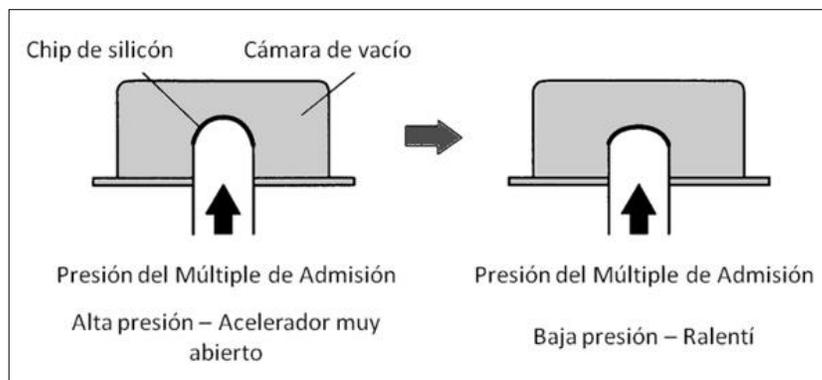
El sensor MAP envía una señal que puede ser analógica o digital, de acuerdo a la Presión Absoluta del Múltiple de Admisión, para informar sobre la carga del motor a la ECU, con el propósito de establecer la dosificación del combustible.



**Figura 23. Sensor MAP**

**Fuente:** (Augeri, 2015)

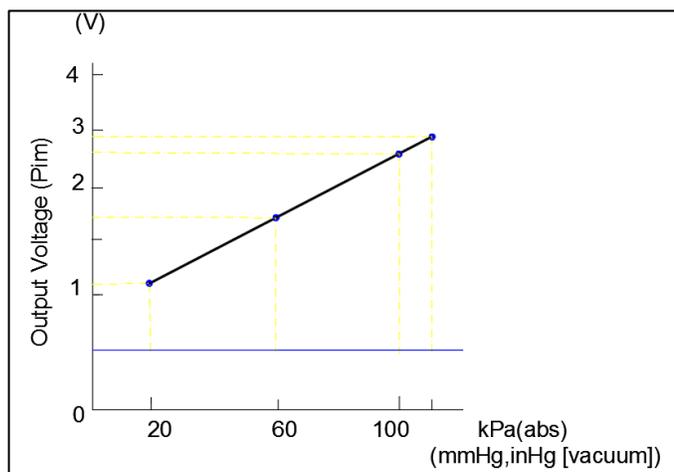
Cuando la presión en el múltiple incrementa, el voltaje de salida aumenta; las unidades de medición que debemos considerar para este sensor son *KPa, mmHg o Bar*.



**Figura 24. Funcionamiento del sensor MAP**

**Fuente:** (Augeri, 2015)

- **Comportamiento de la señal del sensor MAP**



**Figura 25. Comportamiento de la señal del sensor MAP**

**Fuente:** (Augeri, 2015)

(Fernando, 2007) Si se estudia en una escala en mili Voltios se puede ver una variación tipo senoidal en donde cada vez que abre una válvula en el tiempo de admisión el pistón genera una succión que baja rápidamente la presión del múltiple.

Luego esta presión sube un poco hasta que vuelve a abrir otra válvula, claro estas variaciones son tan pequeñas que un vacuo metro convencional no es capaz de captarlos, pero el transductor de presión en una escala graficada con el osciloscopio si las puede mostrar.

Es así como a través de esta grafica se podría identificar la succión de cada uno de los cilindros con respecto a los demás. En el momento que uno de ellos no succione o succione diferente a los otros será evidente esta falla.

Lo importante de esta prueba es que no depende ni del encendido ni de la inyección es más se podría realizar con el motor apagado y girando el arranque, porque lo que evidencia la gráfica es al motor como una especie de bomba de aspiración, semejante a un compresor de aire. (pág. 4)

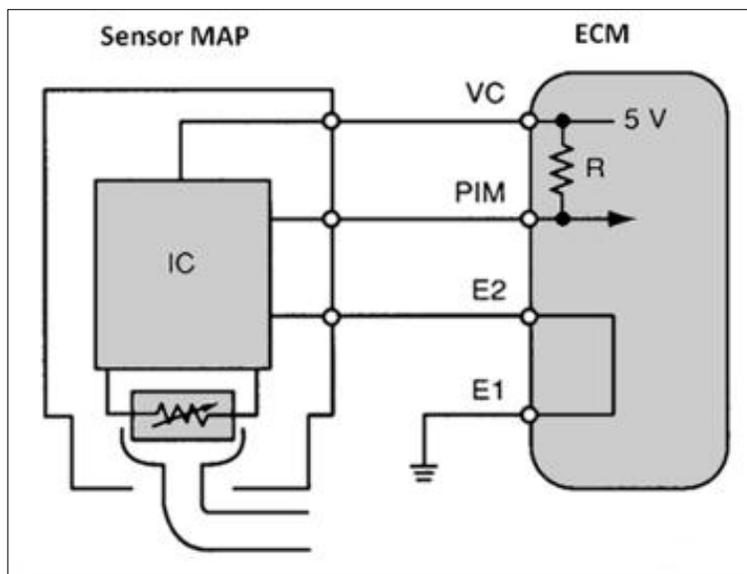
- **Ubicación del sensor MAP**

El sensor de presión absoluta MAP se puede ubicar en la carrocería, cuerpo de aceleración, múltiple de admisión y en la ECU.



**Figura 26. Ubicación del sensor MAP**

La señal de un MAP de tipo analógico presenta tres pines de conexión que son de alimentación, tierra y señal que observándolo en el circuito eléctrico es de muy fácil entendimiento.



**Figura 27. Circuito del sensor MAP**

Fuente: (Augeri, 2015)

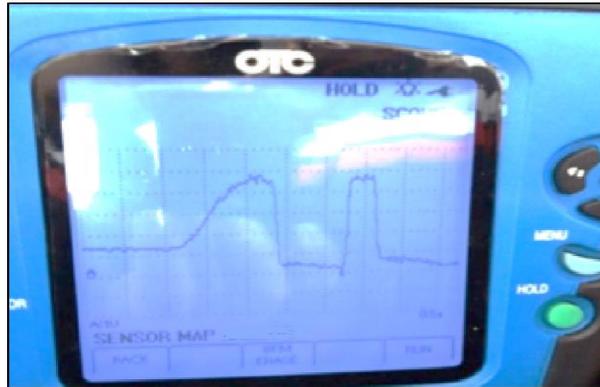
**Tabla 2**  
**Características del sensor MAP**

<b>CONECT OR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
E1	Masa a un rango $\leq 50\text{ mV}$ .
PIM	Señal del sensor MAP, variable de voltaje DC
VC	Voltaje de referencia (4,8 - 5 V) que ocupa del PCM

**Tabla 3**  
**Valores del señal del sensor MAP**

<b>CONDICIÓN DEL VEHÍCULO</b>	<b>SEÑAL DEL SENSOR MAP</b>
Vehículo apagado	3,8 a 4,8 V
Vehículo a ralentí	1,2 a 1,7 V.
Aceleración al máximo	3,7 y 4,7 V.
Desaceleración	0,5 y 1,2 V.
Crucero	1,2 a 1,7 V.

- **Señal del sensor MAP**



**Figura 28. Forma de onda del Sensor MAP**

- **Acondicionamiento de la señal del sensor MAP**

La señal que entrega este sensor nos indica cuanta presión de aire ingresa al múltiple de admisión, la presión en la admisión es baja (depresión alta) cuando la mariposa de aceleración está cerrada totalmente, sucede lo contrario cuando la mariposa de aceleración está abierta totalmente la presión de admisión es alta (depresión baja). La ECU se basa en estos datos para realizar los cálculos del avance de ignición y también de la cantidad de combustible que debe ser inyectado.

**Ecuación 7.** Relación entre el voltaje y la presión del sensor MAP

$$V = 0.0395 \cdot P + 0.1 \text{ [V]}$$

## CAPÍTULO III

### PROTOCOLO DE PRUEBAS

#### 3.1 Descripción de los equipos a utilizar en las distintas pruebas.

##### 3.1.1 Scanner automotriz profesional Delphi

Este es el equipo es una herramienta de diagnóstico, rápido y versátil para usar.



**Figura 29. Scanner automotriz Delphi**

La base de datos de Delphi ofrece una profunda cobertura OBD2 genérica y específica del fabricante de vehículo de Europa, como, BMW, Audi, VW, Volvo, Jaguar, Land Rover, etc.,

y muy buena cobertura de los vehículos japoneses (Mazda, Toyota, Nissan Honda, Mitsubishi, etc.) y del Norteamericanos (Chevrolet, Ford). Para el diagnóstico de vehículos anteriores al OBD2, Autocom suministra códigos específicos OBD1 y cables opcionales.

La base de datos Delphi está traducida a varios idiomas.

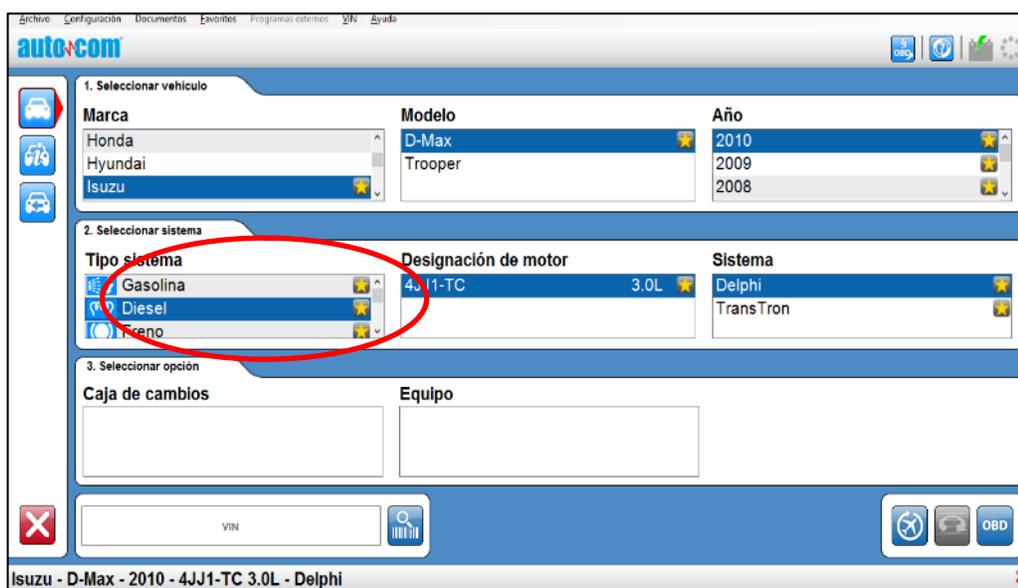
Delphi utiliza datos originales de los fabricantes de vehículos para garantizar la mejor calidad y funcionalidad al momento de realizar un diagnóstico automotriz

La comunicación inalámbrica está incluido en todos los productos de diagnóstico Autocom.

El usuario también puede añadir opciones adicionales, tales como información de reparación, horarios de servicio y esquemas eléctricos de proveedores externos, que pueden ser conectados al programa listo para usar los enlaces.

- **Características**

- El software es fácil e ilustrativo para una gama extensa de vehículos ligeros, comerciales, pesados, autobuses, vehículos diésel, etc.
- La identificación rápida y segura de los vehículos y diferentes sistemas como diésel, gasolina, frenos, airbag, etc



**Figura 30. Pantalla principal de scanner Delphi**

- Bluetooth y conectividad USB son estándar.
- Operación en idioma español.
- Fácil y rápida instalación.

- Manipula todos los estándares actuales de comunicación para el diagnóstico de vehículos.
- Los textos de ayuda para las funciones disponibles.
- Adaptaciones y reprogramaciones.
- Lectura y borrado de códigos de avería
- Lectura de datos en tiempo real.
- Restauración de mensajes de servicio.
- Software de interface a PC en tiempo real.

También cuenta con una amplia cobertura para autos tipo gasolina y diésel common rail

- **Acceso a:**

- Fabricación de serie específico diagnosticar
- Función de búsqueda
- EOBD/OBDII La comunicación
- Sistemas de serie
- Motor
- De ignición
- Clima
- ABS
- Servicio de reposición
- SRS
- Inmovilizador
- Instrumento
- Comodidad del sistema
- Caja de cambios.

### 3.1.2 Osciloscopio OTC

Este equipo contiene cuantioso información para la mayoría de vehículos americanos y algunos importados. Tiene agregado la misma pantalla los

procedimientos de conexión lo que facilita el diagnóstico. Con una velocidad de 25 *Mhz.* es el osciloscopio más versátil del medio automotriz, además nos facilita un multímetro gráfico.



**Figura 31. Osciloscopio OTC**

Comparación en tiempo real de las mediciones con las formas de onda de referencia.

Software para PC que permite observar las ondas en tiempo real tanto de las mediciones como las de referencia, puede recopilar infinito número de ondas y también almacenar una imagen de las mediciones y sus variaciones para su reproducción posterior.

- **Características**

- Analizador de 2 canales.
- Un cupo de muestreo de 25 *MHZ* por canal para rápidas actualizaciones de datos.
- Mediciones y gráficos reales de RMS y GMM (Multímetro gráfico).
- Una exclusiva “trampa de fallas” captura, despliega y ocasionalmente salva formas anormales de señal en el modo de analizador para la prueba de componentes.
- Comparación en tiempo real entre las formas de onda real y formas de onda de referencia en la misma pantalla para el ensayo de componentes.

- Pruebas preestablecidas permiten al usuario revisar en forma fácil y rápida la mayoría de sensores y actuadores.
  - La potente información de referencia unida para cada prueba preestablecida incluye procedimiento de prueba y modelo de señal normal de referencia, teoría operativa e indicios para la localización de averías.
  - Un menú de ayuda considerablemente potente y extenso le permitirá encontrar respuestas ágilmente.
  - La función simple de ignición secundaria muestra la forma de onda junto con el voltaje de chispa, RPM, tiempo de combustión y voltaje de combustión, todo al mismo tiempo.
  - La función diésel permite la regulación de las bombas de inyección y rpm, usando los accesorios opcionales diésel.
  - El interface USB actualiza códigos y datos enviados por Internet
- **Funciones**
    - **Captura de fallas**

Esta función crucial tiene su propio botón. El Percepción OTC efectivamente entiende la diferencia entre una forma de señal normal y de una inusual y automáticamente graba estos eventos para un diagnóstico rápido y exacto del problema.

- **Osciloscopio**

Es un potente osciloscopio de dos canales, capaz de la más sofisticada medición de componentes. Con la captura de fallas se obtiene el problema de funcionamiento en el *ms* que aparece.

- **Gráficos**

Cualquier lectura de medición puede ser desplegada en un gráfico que muestre los cambios en un determinado tiempo. Picos y averías y la mayoría de

cambios durante un minuto son claramente visibles e indican la manera de realizar reparaciones exactas.

- **Multímetro**

Tiene la capacidad de graficar, también puede desplegar hasta tres mediciones de la señal al mismo tiempo. Por ejemplo, se puede verificar el voltaje CD, voltaje pico del inyector, y anchura de la pulsación.

Pruebas de encendido: con el cable puesto. Casi cualquier sistema con cables de bujías puede ser probado con una sonda opcional de bajo amperaje, conectada al circuito primario de ignición.

- **Sistema de pantalla**

- **Tamaño**

3" x 3.3/4" (120 x 160 pixeles)

- **Contraste**

Ajustable al usuario, acceso a través del menú.

Despliegue de pantalla en modo Osciloscopio: Marcas verticales a 0%, 50% y 100% en escala completa.

- **Pantalla en modo dmm**

Consiste en mediciones selectivas y valores *min/máx* acumulativos. Despliega hasta 3 mediciones en una pantalla. Mide voltios, ohmios, ángulo de contacto, ciclo servicio, pico a pico, voltios pico, ancho pulsación del inyector, inyector en tiempo, *Kv* de encendido, *Kv* de combustión y tiempo de combustión.

- **Modo gráfico**

Realizables en todas las funciones del multímetro. Tiempo seleccionable a 5, 10 y 30 segundos, y 1, 5, 10 y 30 minutos a pantalla completa. Mediciones en vivo de min/max se despliegan con el gráfico.

### **3.1.3 Analizador de gases Brain Bee ags-688**

- **Descripción general**

El analizador de gases Brain Bee AGS – 688 es utilizado para determinar las diferentes concentraciones de gases emitidas en el escape de vehículos con encendido asistido; el equipo puede ser operado en modo estático o dinámico midiendo el gas del tubo de escape con la ayuda de la respectiva sonda; gracias al teclado del analizador, el operador puede disponer todas las funciones del mismo pasando desde las pruebas iniciales hasta las pruebas que rige la norma nacional requerida; posee seis unidades de display a cristales líquidos retro-iluminados los cuales muestran los datos relativos a las pruebas realizadas; al culminar las pruebas requeridas se puede imprimir los resultados directamente o guardarlos a un ordenador conectado al analizador.

Se lo considera un analizador de gases básico pero gracias a los accesorios varios que se le puede conectar se generan funciones adicionales como: es posible conectar un cuenta-revoluciones (MGT-300) el cual se integra con el módulo de radiofrecuencia; también es posible la conexión con el ordenador gracias al cable RS232, USB o con el módulo BT-100 Bluetooth; de igual manera se puede conectar el opacímetro mediante el puerto ómnibus, en este caso el equipo se convierte en un instrumento para medir los humo presente en motores Diésel.

○ **Vista frontal**



**Figura 32. Vista frontal del analizador**

1. Impresora térmica de 24 columnas
2. Panel de control 13 botones
3. Displays LCD retro-iluminados

○ **Vista posterior**

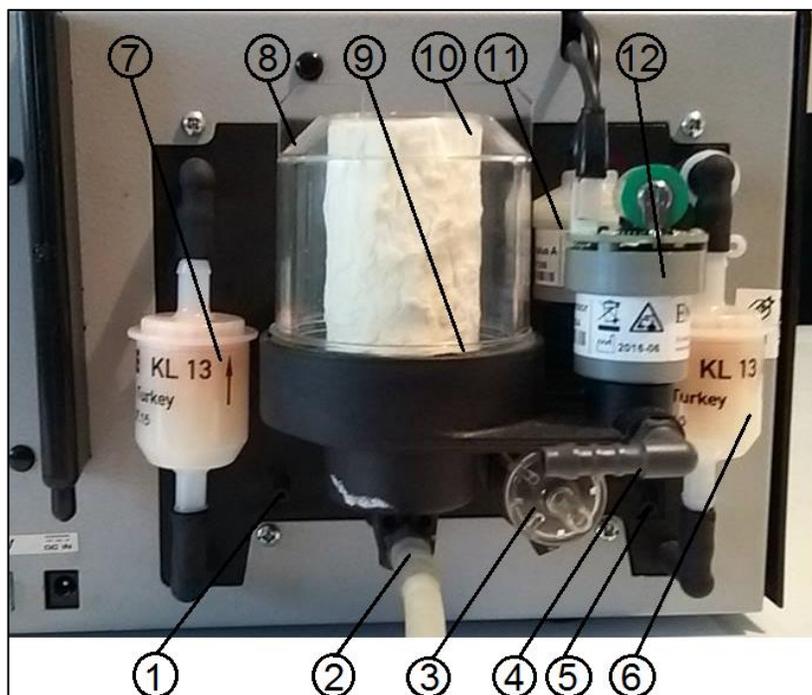


**Figura 33. Vista posterior del analizador**

1. Entrada de sonda de temperatura aceite ST-050
2. Entrada sensor de revoluciones de motor CPI-030
3. Puerto de comunicación serial RS-232
4. Puerto de comunicación USB (SLAVE)

5. Puerto de comunicación RS-485 omniBUS y alimentación 12VCC
6. Grupo neumático
7. Características adhesivo

○ **Detalles del grupo neumático**



**Figura 34. Detalle del grupo neumático del analizador**

1. Salida de agua condensada
2. Entrada de gas
3. Salida de gas
4. Filtro de carbones activos para entrada de aire AUTOCERO
5. Entrada de bombona de calibración
6. Filtro de circuito de gas
7. Filtro de circuito de agua
8. Contenedor de grupo separador de condensado
9. Filtro coalescente
10. Filtro red (interno)
11. Sensor de O<sub>2</sub>

## 12. Sensor de NOx (adicional)

○ **Panel de control**

Figura 35. Panel de control

1. Control manual AUTOCERO
2. Conmutación de visualización Lambda / NOx
3. Control de configuración de parámetros de prueba (SET)
4. Deslizamiento vertical
5. Deslizamiento horizontal
6. Control de confirmación
7. Deslizamiento horizontal
8. Control de encendido ON / OFF
9. Control para volver al menú aplicaciones
10. Control impresión de reporte
11. Conmutación de visualización revoluciones / temperatura
12. Comando para salir de la función o regresar al menú precedente
13. Deslizamiento vertical

- **Accesorios suministrados**
  - **Sonda de extracción de gas**



**Figura 36. Sonda de extracción de gas**

- **Tubo de sonda de extracción**



**Figura 37. Tubo de sonda de extracción**

- **Sensor de o2**



**Figura 38. Sensor de O2**

- **Sensor de NOx**



**Figura 39. Sensor de NOx**

- **Tubo de drenaje condensado y tubo de descarga de salida de gas**



**Figura 40. Tubo de drenaje condensado**

- **Características técnicas del equipo (Brain Bee, 2017)**

**Tabla 4**

**Características técnicas. Campos de medición**

<b>Parámetro</b>	<b>Escala</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resolución</b>
<b>CO</b>	0 – 9.99	% Vol	0.01
<b>CO2</b>	0 – 19.9	% Vol	0.1
<b>HC Hexano</b>	0 – 9999	PPM	1
<b>O2</b>	0 – 25	%	0.01
<b>NOx</b>	0 – 5000	PPM	10
<b>Lambda</b>	0.5 – 5.0		0.001
<b>Revoluciones motor</b>	300 – 9990	Min <sup>-1</sup>	10
<b>Temperatura Aceite</b>	20 – 150	°C	1

**Fuente:** (Brain Bee, 2017)

- Aspiración gas de medición 4 l/min.
- Drenaje condensado automático y continuo
- Prueba de estanqueidad semiautomática con cierre manual de la sonda de extracción de gas
- Control de flujo automático
- Control sensor de O2 acabado automático
- Compensación automática de la presión ambiente de 85.0 a 106.0 KPa
- Calibración automática (con bombona gas muestra)
- Autocero automático
- Tiempo de calentamiento de 20 °C 10 minutos máx.
- Tiempo de respuesta CO, CO2 y HC < 15 segundos
- Recepción impulsos contarrevoluciones externo vía cable o vía radio Wireless
- Entrada temperatura aceite por PT100, o vía radio Wireless
- Conexiones seriales: PC USB B (slave mode); PC RS 232 (8, N 1); PC en red RS485 (9600, 8, N 1)
- Visualización mediante 6 displays LCD con 4 dígitos alfanuméricos con retro-iluminación
- Impresora térmica con 24 columnas integrada
- Alimentación 12 Voltios DC típica (11 + 15 VDC)

- Consumo 1.5 A DC (3 A en impresión)
- Temperatura de funcionamiento de 5 a 40 °C
- Humedad relativa 10 – 95 %
- Temperatura de almacenamiento de -20 a 60 °C
- Dimensiones 434x190x291 mm
- Peso 5kg

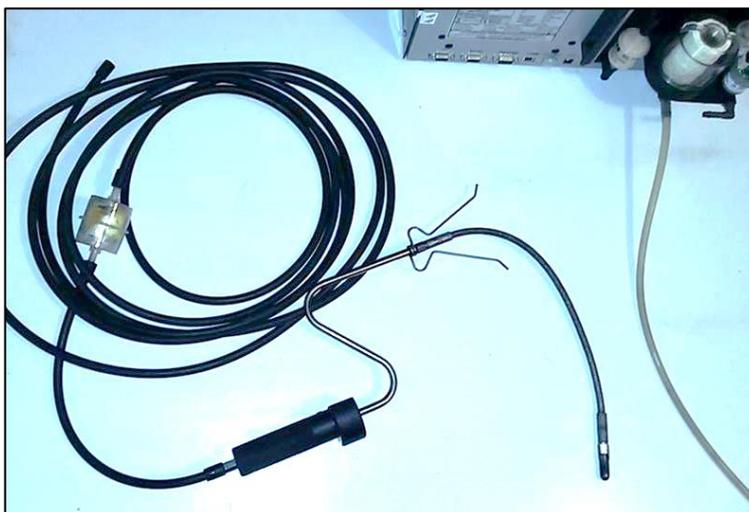
- **Instalación del equipo y accesorios**

- **Ubicación del equipo**

Ubicar el analizador en un área plana, estable y que se tenga acceso a la parte trasera del equipo, si se eligió el pedestal con ruedas se debe asegurar el analizador muy bien a éste ya que puede caerse.

- **Instalación de accesorios**

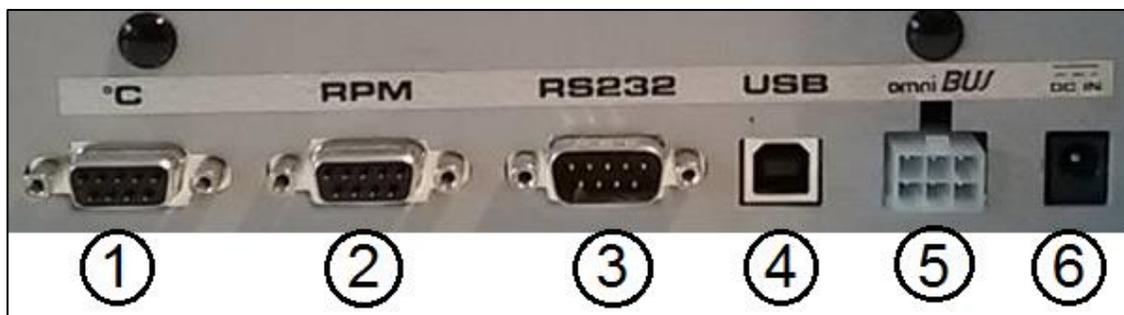
Instalar la sonda de extracción de gas en el respectivo tubo tomando en cuenta que el filtro tiene un sentido correcto de ubicación, seguido se debe conectar el tubo de la sonda de extracción de gas a la salida de gas del analizador.



**Figura 41. Instalación de la sonda**

- **Conexión con accesorios externos**

Se puede realizar las conexiones necesarias según se requiera dependiendo la actividad que se vaya a realizar utilizando los diferentes puertos a continuación detallados.



**Figura 42. Puertos para conexión de accesorios externos**

- **Conexiones de alimentación**

El equipo tiene dos entradas de alimentación la una con el uso de opacímetro es obligatorio la alimentación de 150 W con puerto ómnibus (5) y la otra como alimentación externa de 40 W con plug (6).

- **Conexiones a un ordenador**

De igual forma tiene dos entradas para conectar a un ordenador la primera por medio de un cable serial IF-030 (3) o la segunda por medio de cable USB conectores A – B (4).

- **Conexiones básicas**

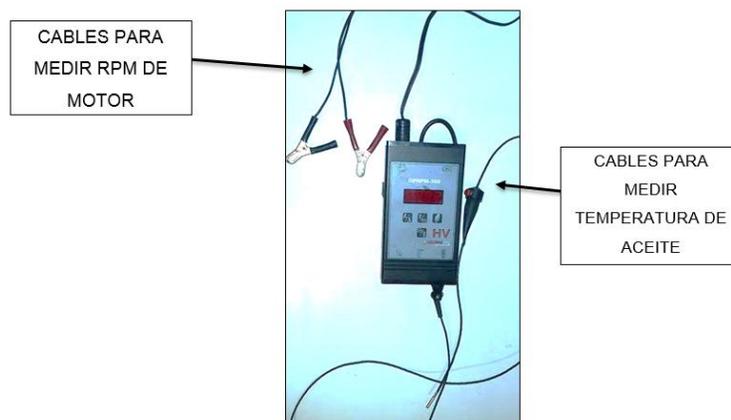
En el puerto (1) se conecta la sonda de temperatura del motor ST – 050, y en el puerto (2) se conecta la sonda de las revoluciones del motor CPI – 030.

- **Conexión con mgt – 300**

Por medio del cable de conexión serial IF – 021 se conecta el MG – 300 en el puerto ②.

- **Cuenta Revoluciones Brain Bee MGT-300**

Es un dispositivo el cual nos ayuda tomando datos de revoluciones de motor al conectar con la batería ya que la



**Figura 43. Cuenta revoluciones Brain Bee MGT - 300**

- **Instalación del software**

- Como primer paso ubicamos la carpeta de instalación provista por nuestro proveedor, se abre y ubica el programa que se llama Ómnibus – 800, le damos doble clic, se acepta la instalación, nos aparece una ventana donde se debe ingresar la clave de instalación para uso del software y presionamos el botón aceptar.
- Luego de ingresar la clave correcta, nos aparece una ventana con el menú donde se escoger el país en donde se desea que funcione nuestro analizador, de esta manera se instalará el software apropiado de acuerdo a las normas de cada región, de allí se selecciona el ícono de Sur América y seguido la bandera de Ecuador, damos clic en la flecha a la derecha, el programa nos indica, mediante una ventana, donde se va a instalar el software por defecto se instalara en el disco C en una carpeta

propia del software, acepta y espera a que automáticamente el programa se instale.

- Se puede apreciar que ya tenemos el ícono del software en el escritorio de nuestro ordenador, seguido se debe instalar los drivers del programa para lo cual regresamos a la carpeta de archivos de instalación, extraemos la carpeta comprimida con el nombre de Drivers, una vez descomprimida la carpeta la cual se abre y se da doble clic en el ícono de SET UP, damos clic en siguiente y esperamos que se instale automáticamente el Driver.

- **Procesos de calibración del equipo Brain Bee AGS-688 recomendado por el fabricante**

**NOTA:** Este es un explicativo del proceso de calibración oficial del equipo, no está destinado a que el dueño u operario del equipo lo realice, la calibración es válida únicamente cuando el dealer ingresa los códigos de verificación y realiza un proceso de re-flashing del archivo mediante pc el software online de dealers para poner el equipo en modo servicio.

- **Herramientas y equipos necesarios para la calibración**

Antes de ejecutar los procedimientos expuestos a continuación es indispensable disponer de estos componentes para realizar una correcta calibración del analizador de gases.

- Cilindro de gas patrón con manómetro regulador de presión y flujo metro de balón. El cilindro contiene la mezcla patrón la cual consta de CO, CO<sub>2</sub> y HC con los parámetros expuestos a continuación; el gas de relleno debe ser obligatoriamente DINITROGENO MOLECULAR conocido como N<sub>2</sub>. Esta mezcla debe ser certificada mediante trazabilidad:

**Tabla 5**  
**Parámetros de calibración de analizador Brain Bee AGS 688**

<b>CILINDRO DE CALIBRACIÓN</b>	C	<i>3,5 %vol.</i>
	C	<i>14 %vol.</i>
	H	<i>2000 ppmvol.</i>
	O	<i>0%vol</i>

- Mangueras para enviar el gas expulsado fuera del ambiente de calibración.

- **Condiciones y del ambiente de calibración**

Es importante cumplir con estos requerimientos antes de empezar la calibración, caso contrario podrían existir incoherencias en las medidas del equipo.

En primer lugar se debe comprobar que la temperatura ambiental del lugar de calibración se encuentre entre los 15°C a los 35°C y que la humedad relativa en el ambiente no sea mayor al 90%.

El cilindro de gas patrón es importante que se encuentre a la misma temperatura del ambiente de calibración ya que los gases tienden a cambia su composición a diferentes temperaturas.

- **Procedimiento de calibración del analizador ags-688**

Se expone a continuación los pasos para realizar el proceso de calibración:

- **Operaciones preliminares a la calibración oficial**
- Conecte el adaptador AC a la toma de corriente 110/220v con puesta a tierra OBLIGATORIA.
- Encienda el analizador, realice los pasos de pre-calentamiento,, prueba de fugas y el auto cero. Si el equipo pasa estas pruebas tendremos en pantalla el menú usual con la opción medición en pantalla.

- Se prepara el cilindro para expulsar los gases. Las conexiones del regulador de presión y flujo metro deber realizarse con teflón y ajustarse correctamente.
- Conectar una manguera de silicón del largo suficiente hasta la toma del analizador a la salida del cilindro, proceda a abrir salida del tanque hasta que el manómetro muestre NO MAS DE 10 BARES, si la presión del cilindro es inferior el cilindro debe ser reemplazado. La perilla del flujo metro debe permanecer cerrada en este punto, el gas no debe fluir por la manguera.

- **Procedimiento de calibración**

Una vez el equipo en MODO SERVICIO se procede a ingresar al sistema de calibración oficial.



**Figura 44. Interfaz inicial de calibración**

- El proceso en pantalla indicara los valores de gas a ser ingresados al sistema.
- El equipo realizara un AUTOCERO PRELIMINAR.

- Una vez se solicite en pantalla se conecta la manguera desde el cilindro a la toma de CALIBRACION del equipo, enseguida se deberá regular el flujometro a mínimo 2,5 l/min.



**Figura 45. Toma de calibración**

- La máquina medirá la concentración y si todo se encuentra en lo sugerido deberá indicar el mensaje de CALIBRACION EXITOSA.
- Por último se desconecta la manguera de gases del analizador y se cierra los aparatos en el cilindro de gas patrón.

Se puede llevar a cabo una medición de gases luego de calibrar para comprobar las medidas, esto se realiza con la misma mezcla patrón



**Figura 46. Interfaz de finalización de calibración**

- **Uso del analizador con el software instalado en un ordenador**

Una vez instalado correctamente el software, se abre el programa en el ícono correspondiente y se nos despliega la ventana de inicio del programa.



**Figura 47. Ventana de inicio del software omniBUS – 800.**

Presionamos la tecla ENTER y aparece la interface con las opciones del software



**Figura 48. Ventana de interface opciones del software omniBUS – 800.**

Se debe escoger la sección de análisis de gases de escape, seguido aparece una nueva ventana donde se indica las opciones de pruebas que se puede realizar como: prueba continua, prueba oficial y pruebas especiales.

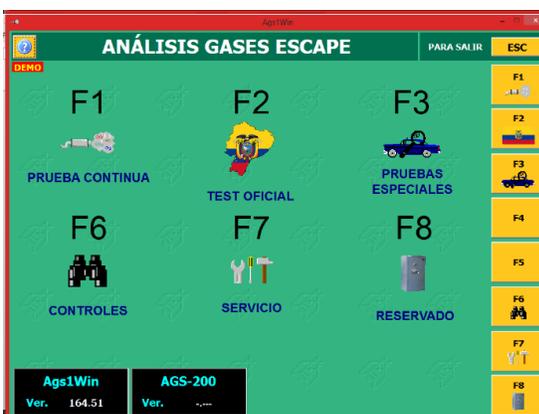


Figura 49. Ventana de tipos de pruebas en análisis de gases.

- **Prueba continua**

Para iniciar selecciona la prueba continua, automáticamente el analizador empieza a funcionar ya que el software comanda los botones del analizador, es decir, trabaja con el “mouse” de la computadora, insertamos la sonda al vehículo y en la pantalla se presentan los estados de la medición.



Figura 50. Ventana de datos de la prueba continua.

Se puede presentar la pantalla, de prueba continua, en distintos formatos dando clic o presionando la tecla F8 por ejemplo se puede presentar en formato de gráfico de líneas y en formato gráfico de barras.

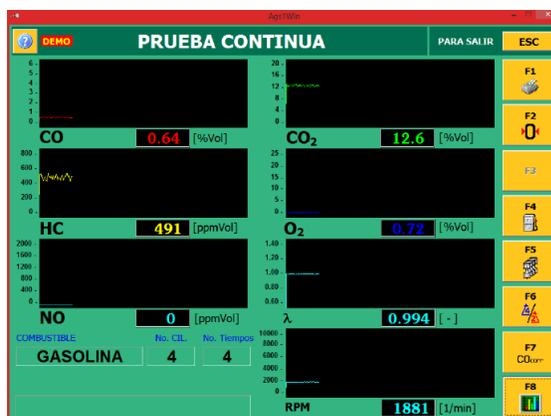


Figura 51. Resultados de prueba continua en líneas.



Figura 52. Resultados de prueba continua en barras.

- Presionando la tecla F3 o haciendo clic desde el software se puede configurar los datos del vehículo de prueba llenando los espacios en blanco.
- Presionando la tecla F4 se puede variar el tipo de combustible, al igual que presionando la tecla F5 se puede seleccionar el número de cilindros del motor, y presionando la tecla F6 se puede variar los tiempos del motor ya sea de 2 o 4 tiempos.
- Por último se puede generar el reporte del análisis presionando la tecla F1 o a su vez seleccionando la misma función desde el software.
- El reporte impreso es diferente en formato al que se genera desde el analizador ya que se lo puede imprimir en formato A4 y en el mismo se puede modificar el logotipo del taller de manera que quede personalizado.

- **Test oficial**

Al dar clic en la opción de Test oficial, el equipo, inicial la prueba de estanqueidad la cual verifica si existe alguna fuga en el sistema de succión.

En esa ventana se visualizarán los parámetros requeridos por la normativa en eficacia de cada país posee, una prueba oficial con parámetros distintos en función de las homologaciones vigentes; sigan las instrucciones que el software muestra en la pantalla.

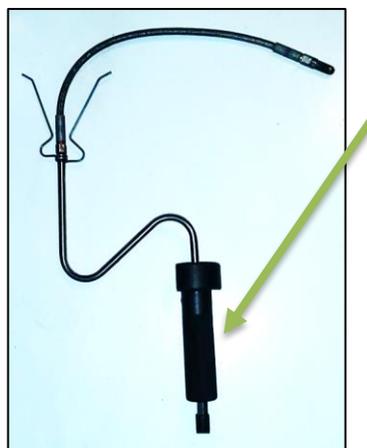
- **Prueba de estanqueidad**



**Figura 53. Ventana de inicio de la prueba de estanqueidad**

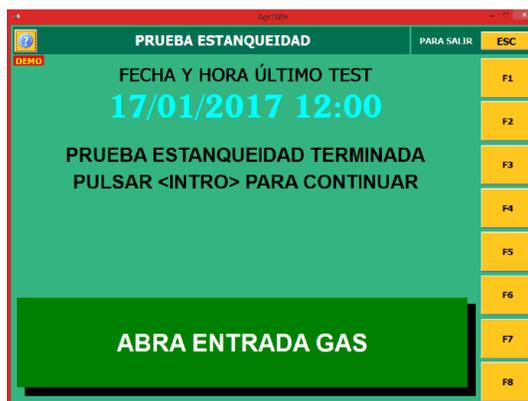
Desde el menú principal del ANALIZADOR GASES DE ESCAPE pulsar F6 "CONTROLES" y F5 "PRUEBA ESTANQUEIDAD"

Introducir el tubo de la sonda dentro del respectivo alojamiento como se muestra en la figura 53.



**Figura 54. Sonda de extracción de gas**

Finalizada la prueba, en caso de estanqueidad positiva, el programa de análisis proseguirá regularmente; de lo contrario, habrá la indicación de que el teste no tuvo éxito: verificar pues el circuito de la línea de extracción



**Figura 55. Ventana de fin de la prueba de estanqueidad**

Una vez terminada la prueba de estanqueidad aparece una nueva ventana la cual nos pide registrar los datos del vehículo a ser analizado.

TEST OFICIAL - DATOS DE VEHICULO		PARA SALIR	ESC
PLACA	: IBC-4734		F1
MARCA	: CHEVROLET		F2
MODELO	: D MAX CRDI		F3
No. CHASIS	:		F4
ODOMETRO	:		F5
PRIMER COMBUSTIBLE	:		F6
SEGUNDO COMBUSTIBLE	:		F7
No. TUBOS DE ESCAPE	: 1		F8
No. TIEMPOS	: 4		
No. CILINDROS	: 4		
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	:		

**Figura 56. Ventana de ingreso de datos del vehículo a ser analizado**

Seleccionamos F2 para continuar y nos aparece la ventana de los límites oficiales que son los valores permisibles según la norma local de los parámetros a medir de acuerdo a la región.

TEST OFICIAL - LIMITES DE PRUEBA		PARA SALIR	ESC
<u>LIMITES OFICIAL</u>			
TEMPERATURA MOTOR	80		F1
RÉGIMEN RALENTI			
CO max	1.0 [%Vol]		F2
HC max	200 [ppmVol]		F3
O2 max	5.0 [%Vol]		F4
RPM	500 min 1200 max		F5
RÉGIMEN RALENTI ACCELERADO			
CO max	1.0 [%Vol]		F6
HC max	200 [ppmVol]		F7
O2 max	5.0 [%Vol]		F8
RPM	2300 min 2700 max		

**Figura 57. Ventana de valores límites de prueba**

Presiona F2 o por medio del software damos clic en F2 (siguiente) y nos aparece la ventana de la prueba de HC restantes que es necesaria para toda revisión y sirve para comprobar que el analizador no tenga residuos demasiados altos de hidrocarburos en el circuito neumático como es la manguera y filtros, la misma que se debe realizar sin insertar la manguera ni la sonda al tubo de escape.



**Figura 58. Ventana de fin de la prueba de HC restantes.**

Seguido aparece una ventana en donde nos indica la temperatura actual del motor y si esta no ha alcanzado su valor de funcionamiento pues nos indica que se debe esperar para que lo alcance.

El test de los HC residuales se activa automáticamente durante el test oficial, o bien puede ser activado desde el menú CONTROLES (F6) y sucesivamente pulsando F4.

Durante la prueba aparecerá la pantalla que sigue con la indicación ESPERAR POR FAVOR, para dar tiempo al analizador de realizar el "autocero", sucesivamente en la ventana se indicará el valor de HC presente.

Si ese valor excede las 20 PPM vol. para motores de 4 tiempos y de 400 PPM vol. para motores de 2 tiempos, la prueba no habrá tenido éxito de lo contrario, el programa proseguirá regularmente.

Si la prueba no ha arrojado resultado positivo es posible repetirla para purgar los tubos y los filtros de la sonda; si tampoco repitiéndola arrojará resultado positivo será necesario cambiar los filtros y limpiar bien los tubos y la sonda de toma.

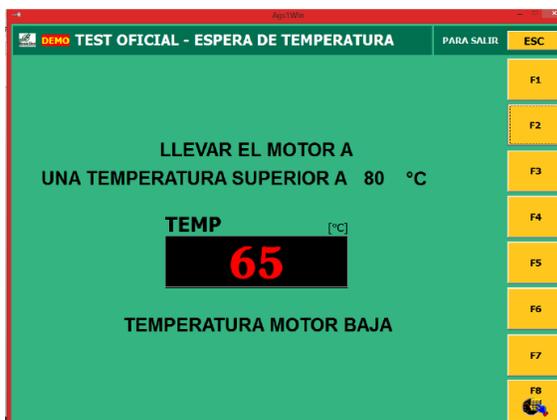


Figura 59. Ventana de temperatura baja del motor.



Figura 60. Ventana de temperatura correcta de motor.

Una vez finalizadas estas pruebas, inmediatamente aparece la interfaz de análisis de gases, se debe insertar la sonda para que nuestro analizador empiece a medir, en primer lugar, en un régimen de ralenti o prueba al mínimo.

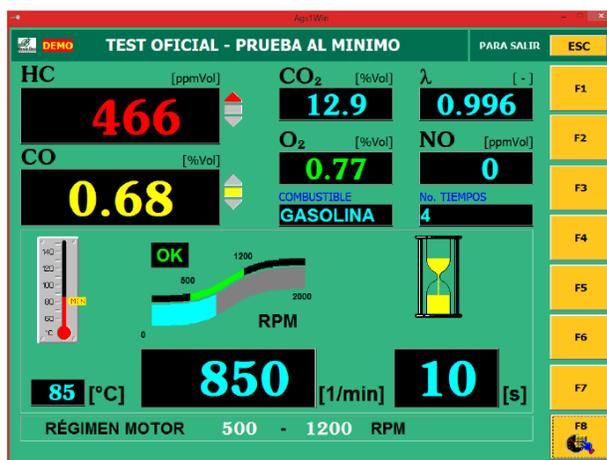


Figura 61. Ventana de prueba oficial en régimen de ralentí

Una vez transcurrido el tiempo necesario (20 s) para generar las medidas correctas procedemos a realizar la medición en el régimen de revoluciones que nos indica el software en este caso entre 2300 y 2700 revoluciones.

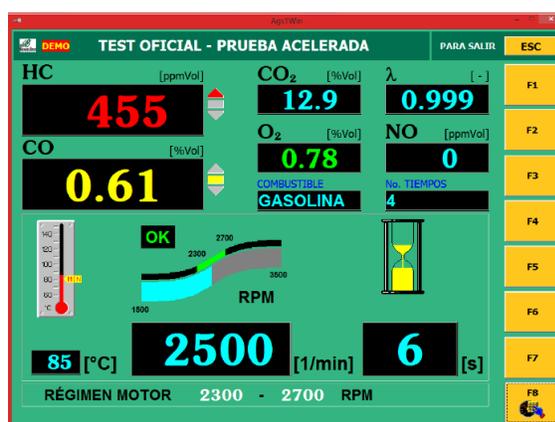


Figura 62. Ventana de prueba oficial a un régimen acelerado

Una vez finalizado el tiempo de la prueba acelerada se indica ya los resultados de la medición y se genera un mensaje en donde se indica si queremos realizar una copia de los datos aceptamos y ya se puede visualizar los resultados en la pantalla y verificar si esta aceptado o rechazado el vehículo.



Figura 63. Ventana de mensaje de copia de seguridad de resultados.



Figura 64. Ventana de resultados de la medición.

- **Pruebas especiales**

Dentro de las pruebas especiales tenemos varias pruebas importantes que se las pueden realizar como son:



Figura 65. Ventana de menú de pruebas especiales.

- Prueba de carburación

Esta prueba, como nos indica el software, debe realizarse en vehículos no catalizados o se debe colocar la sonda antes del catalizador en vehículos catalizados, dentro de la misma prueba nos pide llevar el motor a un régimen de revoluciones, variando cada vez, partiendo en 1000 luego a 1500, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 y por ultimo a 5000 RPM por un lapso de 8 segundos cada una hasta tener el resultado final del análisis en la parte derecha mediante gráficos de líneas.



Figura 66. Ventana de la prueba de carburación régimen 1000 RPM



Figura 67. Ventana de la prueba de carburación régimen 1500 RPM



Figura 68. Ventana de la prueba de carburación régimen 2500 RPM



Figura 69. Ventana de la prueba de carburación régimen 3000 RPM



Figura 70. Ventana de la prueba de carburación régimen 4000 RPM



Figura 71. Ventana de la prueba de carburación régimen 4500 RPM

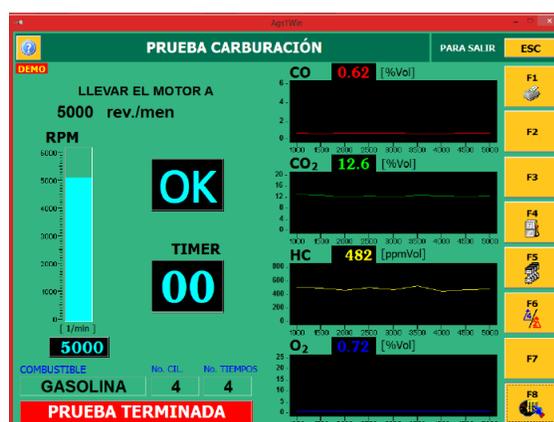


Figura 72. Ventana de la prueba de carburación régimen 5000 RPM

- **Diagnóstico de gases**

Al ingresar al diagnóstico de gases nos aparece una ventana con opciones de vehículos de prueba si son estos catalizados o no, a carburador o inyección.



**Figura 73. Ventana de diagnóstico de gases opciones de vehículos**

Selecciona una opción anterior y presiona la tecla ENTER inmediatamente aparece una nueva ventana donde nos pide que inserte la sonda en el tubo de escape y se lleve el motor a un régimen de 2000 a 2500 RPM durante un cierto tiempo y se memorizaran los resultados.



**Figura 74. Diagnóstico de gases a un régimen de 2000 y 2500 RPM**

A continuación se pide que se lleve el motor a un régimen de ralentí durante un cierto tiempo y se memorizaran los resultados



Figura 75. Diagnóstico de gases a un régimen de ralentí

Seguido a esto se analiza los resultados de la medición de gases y en la parte inferior derecha se indicara las posibles fallas de acuerdo al análisis de las mediciones realizado y al tipo de vehículo seleccionado al inicio y concluye la prueba.



Figura 76. Diagnóstico de gases para vehículo catalizado

Se puede seguir el mismo proceso anterior seleccionando esta vez para vehículo no catalizado de inyección si es el caso y se obtiene los resultados siguientes.



Figura 77. Diagnóstico de gases para vehículo no catalizado a inyección

Se puede seguir el mismo proceso anterior seleccionando esta vez para vehículo no catalizado de carburador si es el caso y se obtiene los resultados siguientes.

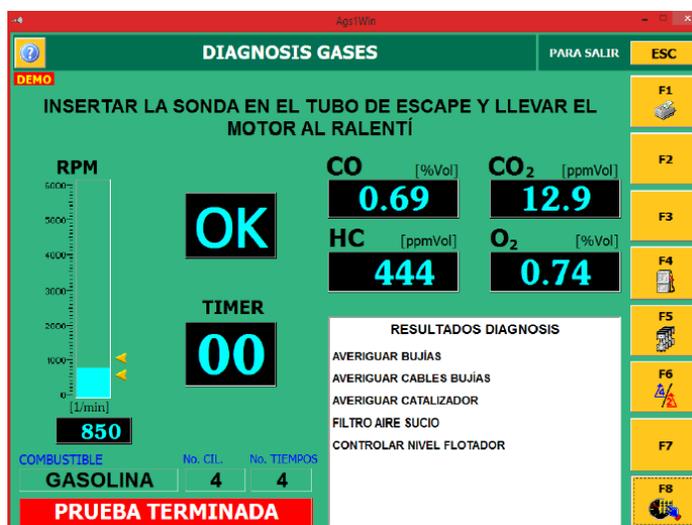


Figura 78. Diagnosis gases para vehículo no catalizado

- **Eficiencia del catalizador**

Esta prueba de eficiencia de catalizador se la debe realizar con el motor frío y esperar que se vaya calentando, instalar la sonda después del catalizador y llevar el motor a un régimen entre 2000 y 2500 RPM, de esta manera el analizador tomara en cuenta la variación de los datos y verificara si está dentro de los parámetros de eficiencia del catalizador.

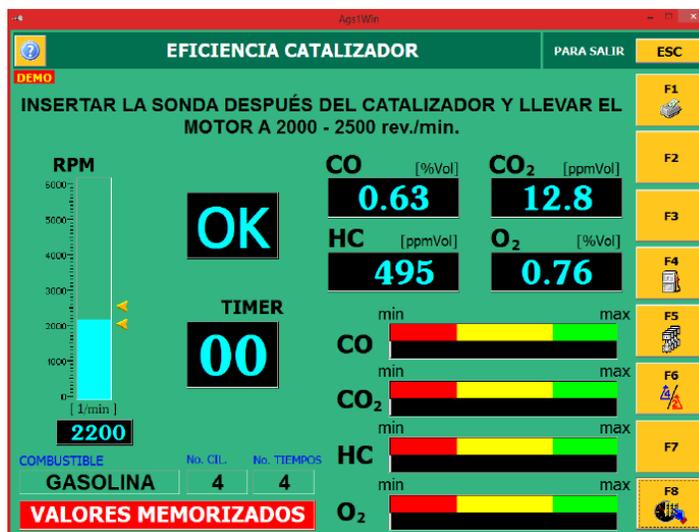


Figura 79. Eficiencia del catalizador.

- **Estanqueidad de junta de culata**

Para realizar esta prueba debemos poner la sonda en el vapor del depósito del líquido refrigerante del vehículo y llevar al motor a un régimen de 2500 RPM durante un tiempo determinado, de esta manera el analizador nos informa si hay gases contaminantes lo cual nos indicara si hay fugas por el empaque de culata o fisuras en el motor que permiten que pasen gases al sistema de refrigeración del vehículo.



Figura 80. Final de la prueba de estanqueidad de junta de culata

- **Eficiencia de calentamiento de motor**

Similar a la prueba de eficiencia del catalizador, consiste en el muestreo de las emisiones a intervalos regulares del encendido del motor con un régimen mínimo. Al término de la prueba, que dura 15 minutos, el operador deberá verificar visualmente la disminución de las emisiones de los 4 gases entre el momento en el que se ha encendido el motor y cuando se ha alcanzado la temperatura correcta para su funcionamiento.

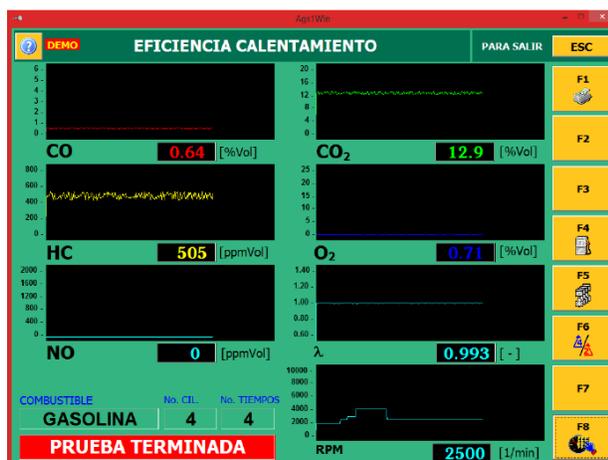


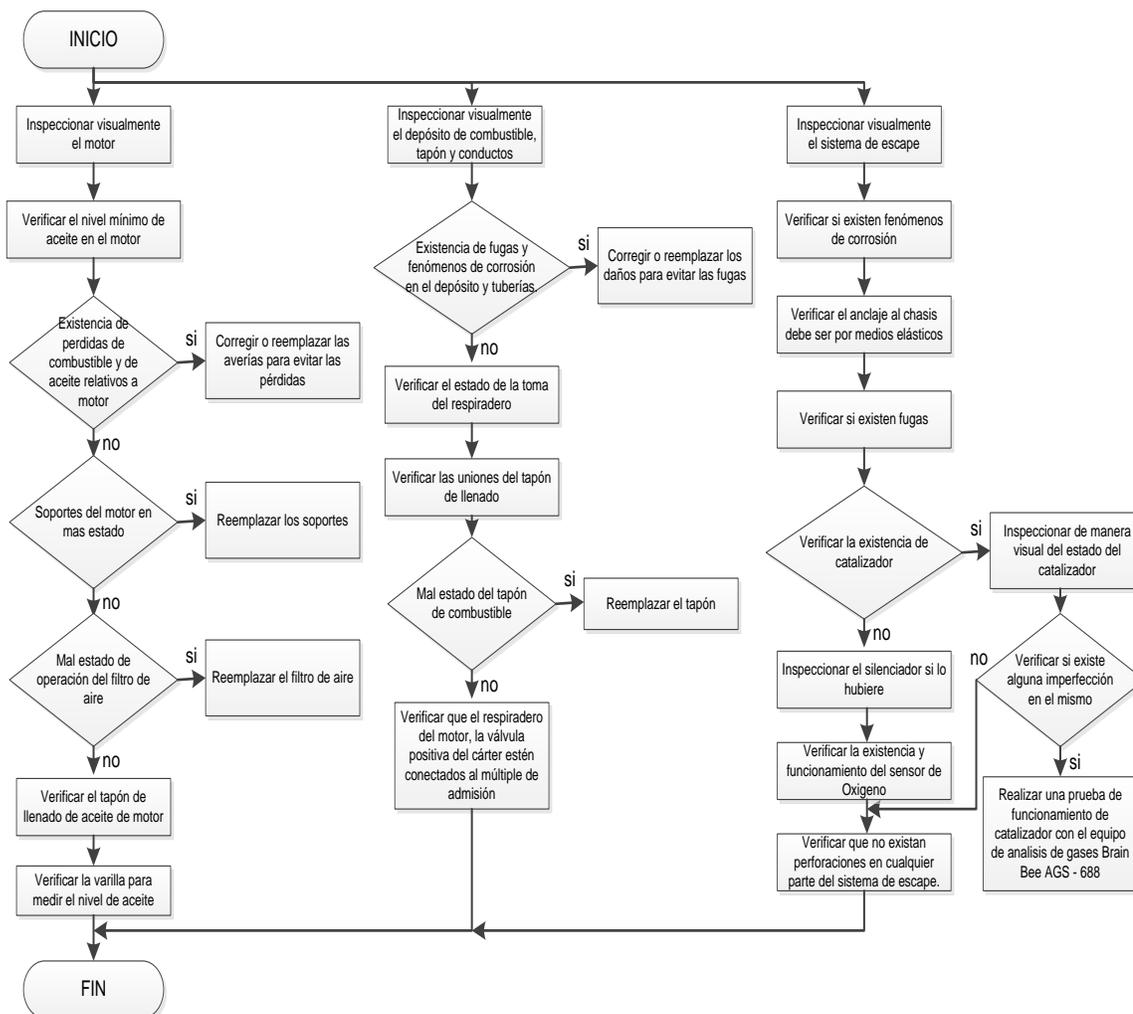
Figura 81. Fin de prueba de eficiencia del calentamiento.

- **Pruebas**

- **Prueba en condiciones normales del vehículo**

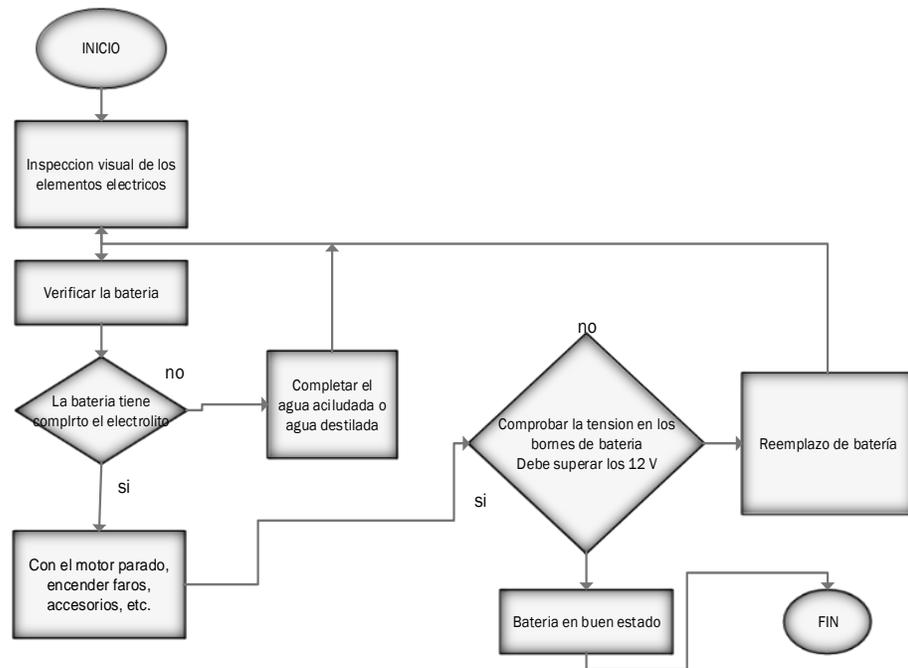
Se debe poner el vehículo en óptimas condiciones de funcionamiento para que al realizar las mediciones con el equipo Brain Bee AGS – 688 no existan alteraciones en las mismas, por lo que se realizó inspecciones en la parte mecánica, eléctrica, electrónica detalladas a continuación.

• **Revisión y calibración mecánica**

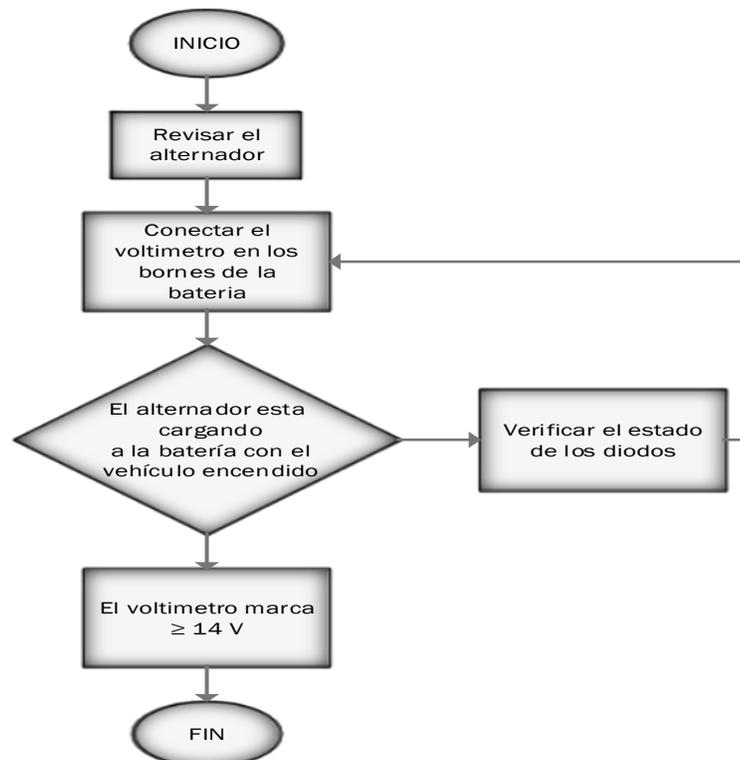


**Figura 82. Diagrama de proceso de revisión y calibración mecánica**

- **Revisión y calibración eléctrica.**

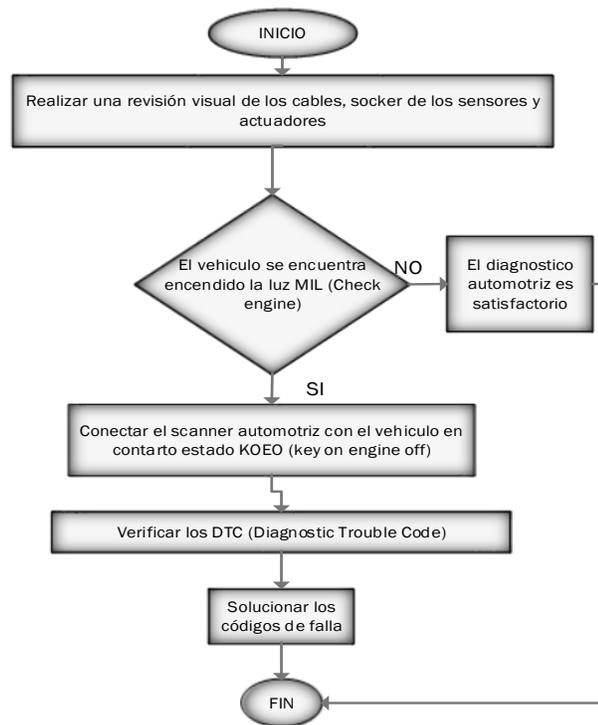


**Figura 83. Diagrama de procesos de revisión de elementos eléctricos**

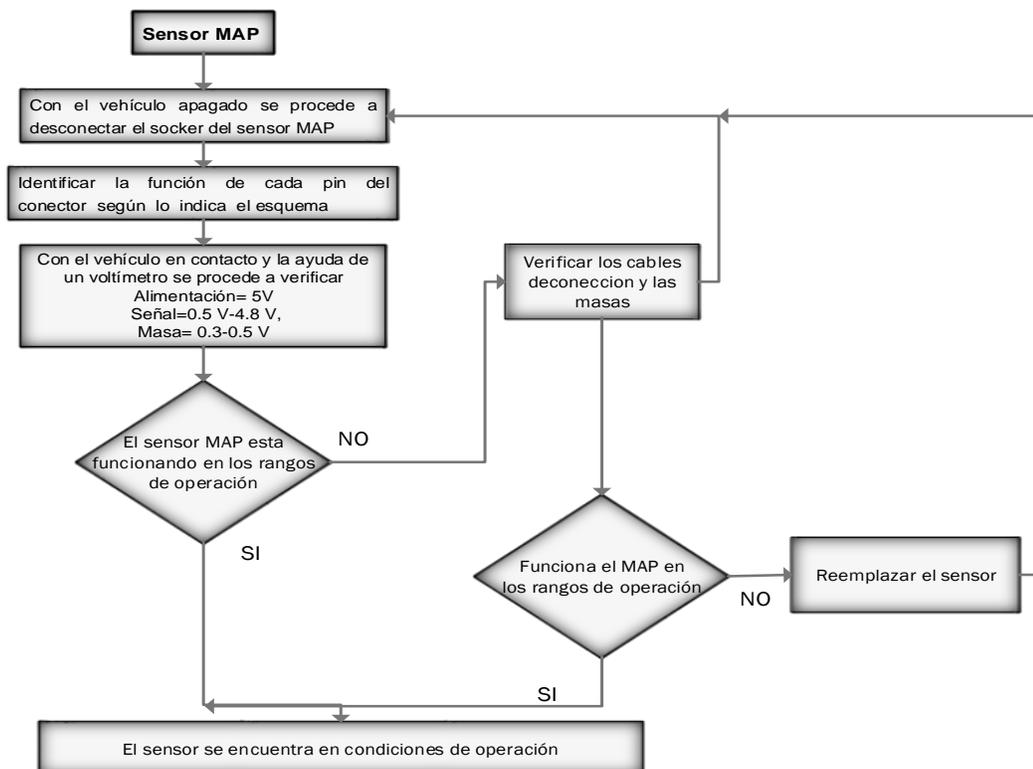


**Figura 84. Diagrama de procesos de revisión del alternador**

- **Revisión y calibración electrónica**



**Figura 85. Diagrama de procesos de revisión electrónica**



**Figura 86. Diagrama de procesos de revisión del sensor MAP**

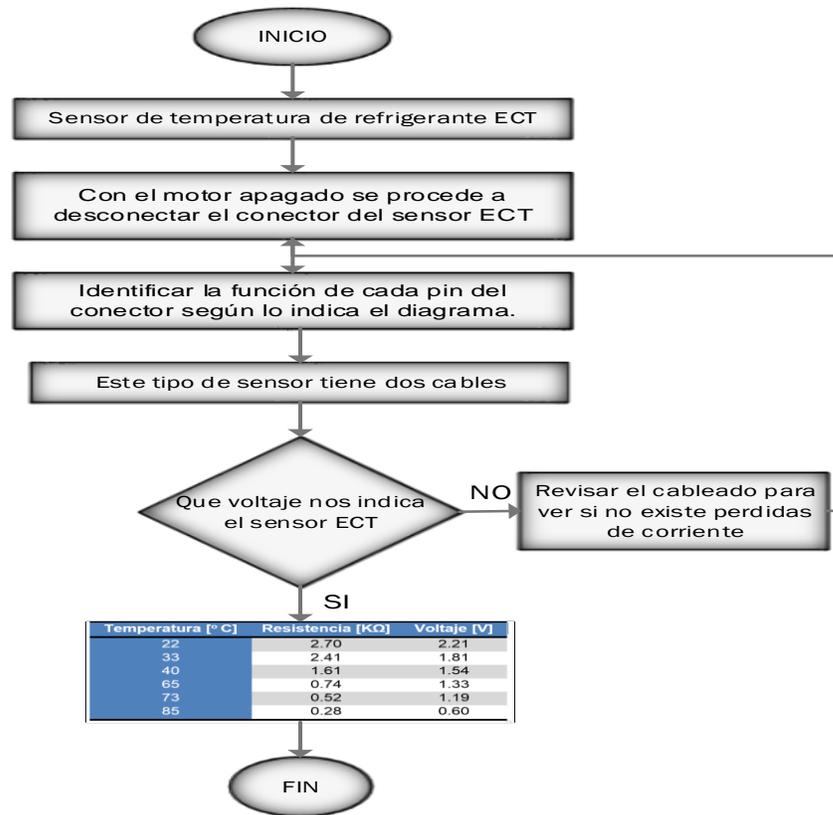


Figura 87. Diagrama de procesos de revisión del sensor ECT

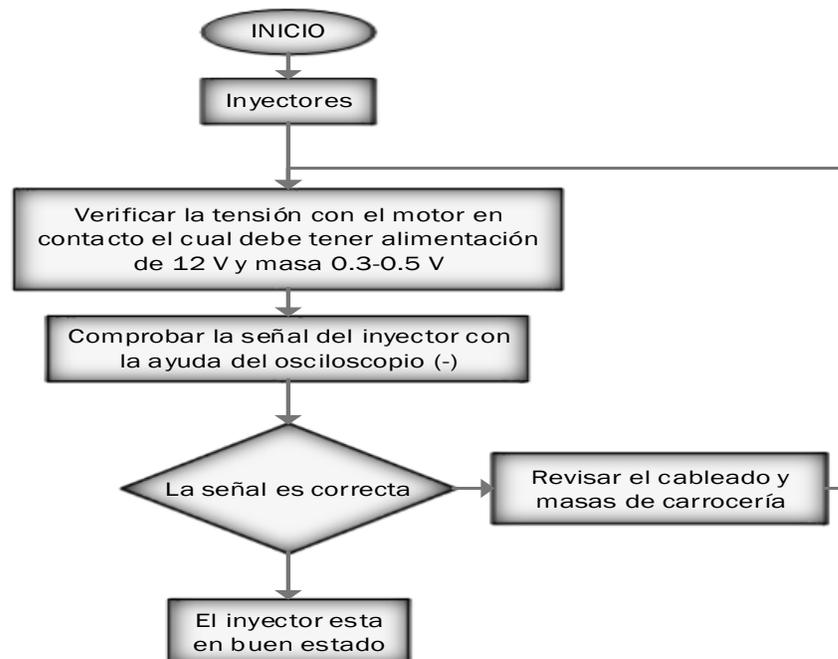


Figura 88. Diagrama de procesos de revisión de inyectores.

## CAPÍTULO IV

### MEDICIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Medición en el vehículo gasolina

En el vehículo de prueba a gasolina se realizaron las mediciones en condiciones estáticas, a diferente régimen de revoluciones, con variaciones en 2 tipos de sensores y utilizando 3 tipos diferentes de catalizadores.

##### 4.1.1 Acondicionamiento de señal de sensores

###### Sensor ECT

Para determinar la cantidad de combustible necesaria a inyectar, es de suma importancia, la señal del sensor de temperatura ECT ya que nos proporciona la temperatura del combustible, inicialmente el sensor ECT (termistor de tipo NTC) se encuentra en un valor de alto voltaje (4.1V motor frio aproximadamente) y hasta que el motor llegue a su temperatura óptima de funcionamiento, el aumento de la temperatura hace que el voltaje disminuya, esta variación de tensión tiene una directa relación con el ancho de pulso de inyección.

Se realizó la simulación de condiciones en éste sensor engañando a la ECU de tal manera que se le proporcionó diferentes valores de voltaje con el fin de simular que el motor estaba extremadamente frio y extremadamente caliente.

Para el diseño del circuito de simulación se tomó en cuenta las relaciones matemáticas que simulan su comportamiento, las cuales tenemos a continuación:

**Tabla 6**  
**Temperatura, Resistencia y Voltaje del Sensor ECT**

Temperatura [°C]	Resistencia [KΩ]	Voltaje [V]
22	2.70	2.21
33	2.41	1.81
40	1.61	1.54
65	0.74	1.33
73	0.52	1.19
85	0.28	0.60

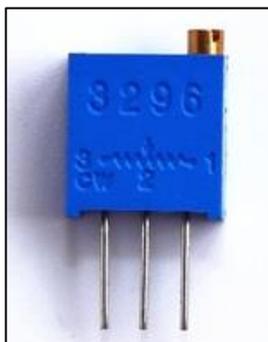
**Fuente:** (VITERI, 2014)

(VITERI, 2014) La relación entre la variación de la temperatura y la resistencia interna del sensor ECT se muestra en la ecuación:

**Ecuación 8. Relación Temp. Vs. R int. Sensor ECT**

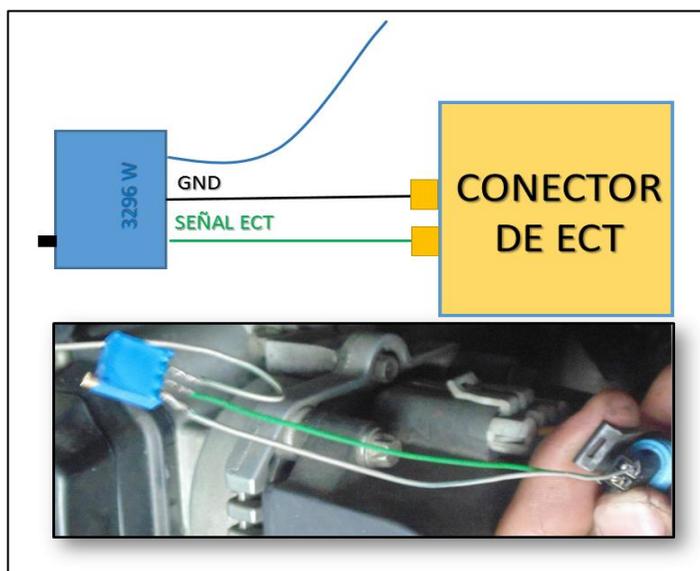
$$R_T = 2700 \Omega \cdot e^{\left[946.833 \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{295K}\right)\right]}$$

Para acondicionar la señal de temperatura se debe relacionar la resistencia obtenida por el sensor (termistor) con la variación de voltajes en los terminales del sensor, por lo que se implementó un potenciómetro de corte 3296W que actúa como divisor de tensión y convierte el valor de resistencia obtenido en la ecuación en un voltaje proporcional que lee la Unidad de Control para determinar la temperatura del sensor, con el fin de simular la variación de temperatura en el motor engañando a la ECU diciéndole que el motor se encuentra en diferentes condiciones de temperatura y así medir los gases de escape y la eficiencia del catalizador en dichas condiciones.



**Figura 89. Potenciómetro de corte 3296W**

**Fuente:** <http://spanish.alibaba.com>



**Figura 90. Acondicionamiento de la señal del sensor ECT**

**Ecuación 9. Relación voltaje - temperatura del sensor.**

$$T = \frac{946.833}{3.4393 - \ln\left(\frac{5V}{V_1} - 1\right)} - 273$$

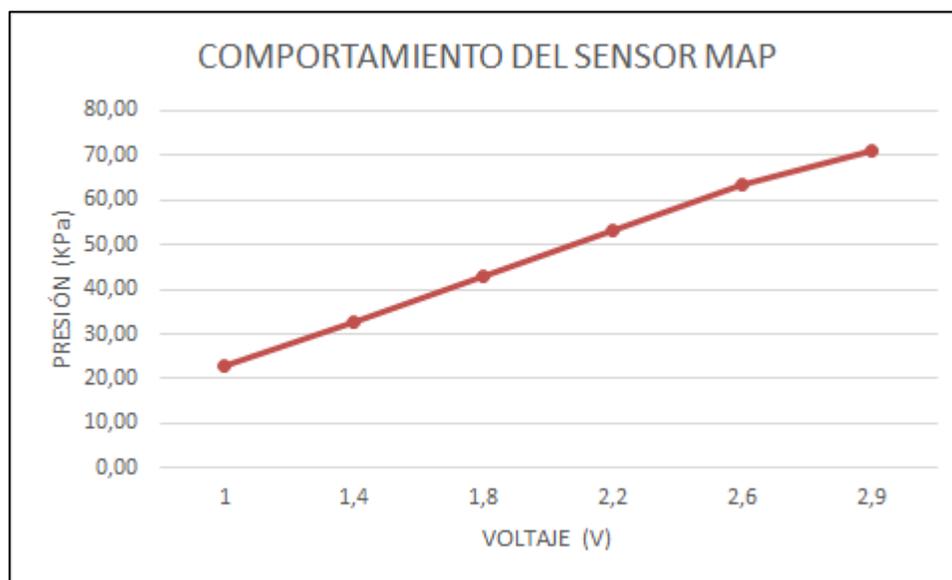
**Sensor MAP**

(VITERI, 2014) La señal que entrega este sensor nos indica cuanta presión de aire ingresa al múltiple de admisión, la presión en la admisión es baja (depresión alta) cuando la mariposa de aceleración está cerrada totalmente, sucede lo contrario cuando la mariposa de aceleración está abierta totalmente la presión de admisión es alta (depresión baja). La ECU se basa en estos datos para realizar los cálculos del avance de ignición y también de la cantidad de combustible que debe ser inyectado.

En el rango entre 1 y 1,5 V, el sensor MAP, genera la señal de voltaje en un régimen de ralentí. Éste voltaje alcanza un valor de aproximadamente 4,5 V con una aceleración lenta, y el voltaje llega al valor de aproximadamente 0,7 V con una desaceleración rápida.

**Tabla 7****Relación de voltajes y presiones Obtenidas para el Sensor MAP**

Presión [KPa]	Voltaje [V]
71	2.9
61	2.6
51	2.2
41	1.8
32	1.4
23	1.0

**Fuente:** (VITERI, 2014)**Figura 91. Comportamiento del sensor MAP**

Los valores de la tabla anterior relacionan la presión que muestra el sensor MAP respecto al comportamiento del voltaje cuya ecuación es la siguiente:

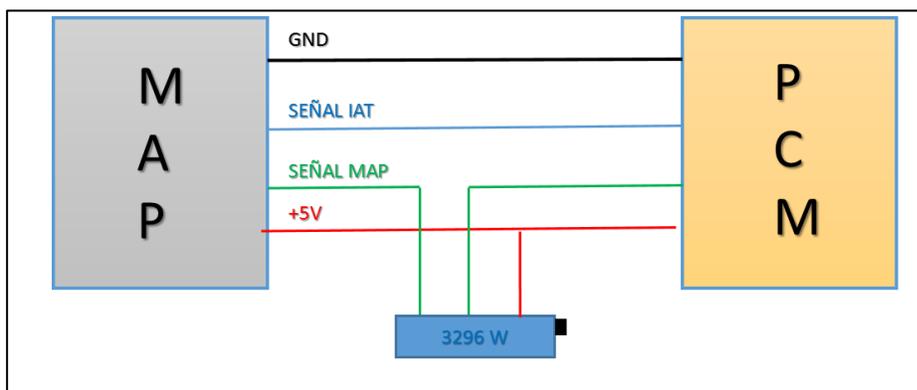
$$V = 0.0395 \cdot P + 0.1$$

Si se despeja la presión  $P$  que viene dada en KPa se obtiene una nueva relación en la que indica la presión existente en la admisión, cuando varía el voltaje en el sensor MAP.

**Ecuación 10. Relación entre presión y voltaje sensor MAP**

$$P = \frac{V - 0.1}{0.0395}$$

Para acondicionar la señal de presión se implementó un potenciómetro de corte 3296W que actúa como divisor de tensión que por medio de su resistencia genera un voltaje proporcional que lee la Unidad de Control con el fin de simular la variación de presión en el motor engañando a la ECU diciéndole que el motor se encuentra en diferentes condiciones de carga y así medir los gases de escape y la eficiencia del catalizador en dichas condiciones.



**Figura 92. Acondicionamiento de la señal del sensor MAP**

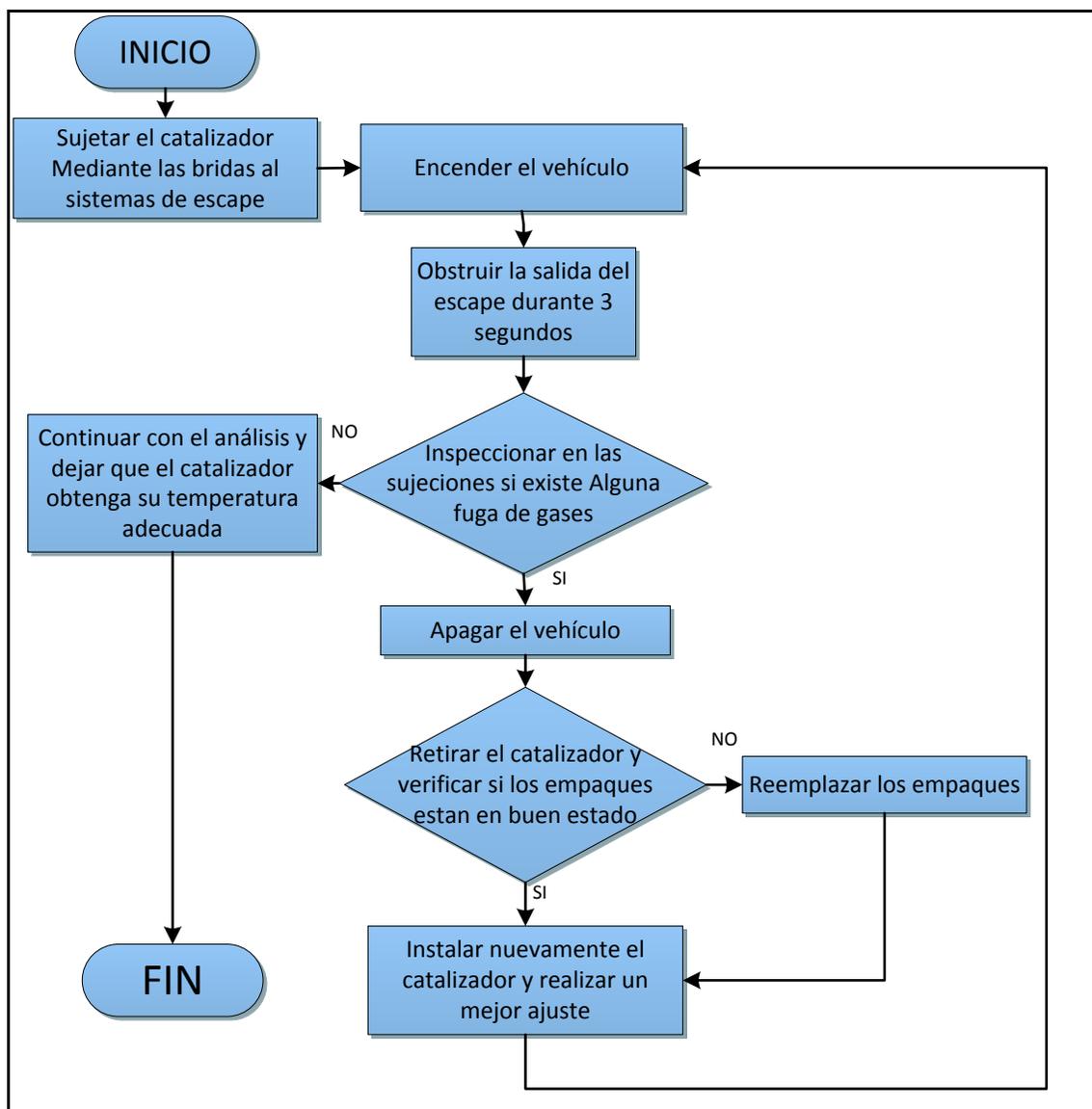
#### 4.1.2 Medición sin catalizador

En el sistema de escape se adaptó un método que permite el intercambio de un catalizador a otro de manera cómoda y rápida, este método consistió en instalar bridas de sujeción en los extremos donde se ubica el catalizador mediante las cuales se logró una sujeción perfecta de la sección de tubo que reemplaza al catalizador como es el caso de la figura .



**Figura 93. Vehículo gasolina sin catalizador**

Se realizó una prueba de fugas que constó en encender el vehículo, seguido se obstruyó la salida del escape durante 3 segundos aproximadamente para retener los gases y de esta manera inspeccionar en las sujeciones si existe alguna fuga o pérdida de gases.



**Figura 94. Prueba de fugas en el sistema de escape**

- **Test oficial**

Con el vehículo en condición normal, sin catalizador y realizado el mantenimiento respectivo se sometió al test oficial en donde se observó los parámetros requeridos por la norma vigente en nuestro país obteniendo los siguientes resultados de emisiones contaminantes.

**Tabla 8**  
**Test oficial vehículo gasolina, sin catalizador**

LÍMITES PRESCRITOS		
Temperatura Motor: 80 [°C]		
Régimen Motor al Mínimo: 500 – 1200 [1/min]	Régimen Motor en Aceleración: 2300 – 2700 [1/min]	
O2: 5.0 [%Vol]	CO: 1.0 [%Vol]	HC: 200 [ppm Vol]
VALORES MEDIDOS		
PRUEBA AL MÍNIMO	PRUEBA EN ACELERACIONES	
Temp. Motor: 80 [°C]	Temp. Motor: 80 [°C]	
RPM: 1170 [1/min]	RPM: 2580 [1/min]	
CO: 0.76 [% Vol]	CO: 0.79 [% Vol]	
CO2: 12.5 [% Vol]	CO2: 13.0 [% Vol]	
O2: 4.56 [% Vol]	O2: 1.06 [% Vol]	
HC: 349 [ppm Vol]	HC: 181 [ppm Vol]	
Lambda: 1.197 [-]	Lambda: 1.012 [-]	
RESULTADO DEL TEST: <b>RECHAZADO</b>		

- **Análisis del test oficial**

Partiendo de los límites que nos prescribe el equipo analizador de gases observamos que el vehículo fue rechazado debido a la emisión de hidrocarburos que supera el límite de 200 ppm en prueba al mínimo, las mezclas muy pobres con  $\lambda > 1,1$  aumentan los HC debido a que existen encendidos fallidos, mezcla pobre o rica y los valores de hidrocarburos también dependerán de la gestión motor, es decir, en vehículos sin catalizador  $HC \leq 350$  ppm como es en este caso.

Se observó que en la prueba en aceleraciones existe una corrección de lambda por lo que los HC bajaron.

- **Prueba continua**

Con el vehículo en condición normal, sin catalizador y previamente realizado el mantenimiento respectivo, en esta prueba se muestran los datos generados en forma continua sin límite de tiempo en la cual se visualizó, aparte de los gases medidos en el test oficial, los Óxidos de Nitrógeno (NOx).

- Régimen de ralentí

**Tabla 9**  
**Medición en gasolina, sin catalizador, a ralentí**

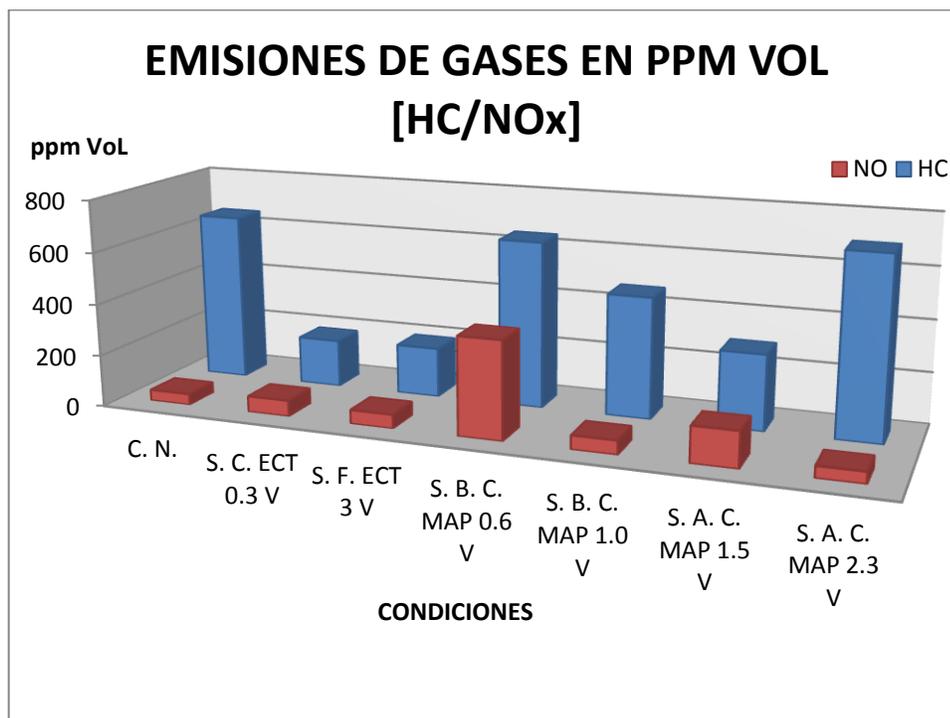
CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	99	800	0,9	654	42	1,65	12,5	0,987
S. C. ECT 0.3 V	80	770	0.64	185	61	1,08	13,6	1.025
S. F. ECT 3 V	82	720	0.62	193	53	2,17	13,5	1.080
S. B. C. MAP 0.6 V	104	780	0.81	644	376	4,70	13,1	1,196
S. B. C. MAP 1.0 V	98	720	0.72	468	53	2,91	13,2	0,979
S. A. C. MAP 1.5 V	77	710	0.66	292	137	2,15	13,7	0,989
S. A. C. MAP 2.3 V	104	790	7.86	696	44	1,78	13,1	0,968

**GLOSARIO:**

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

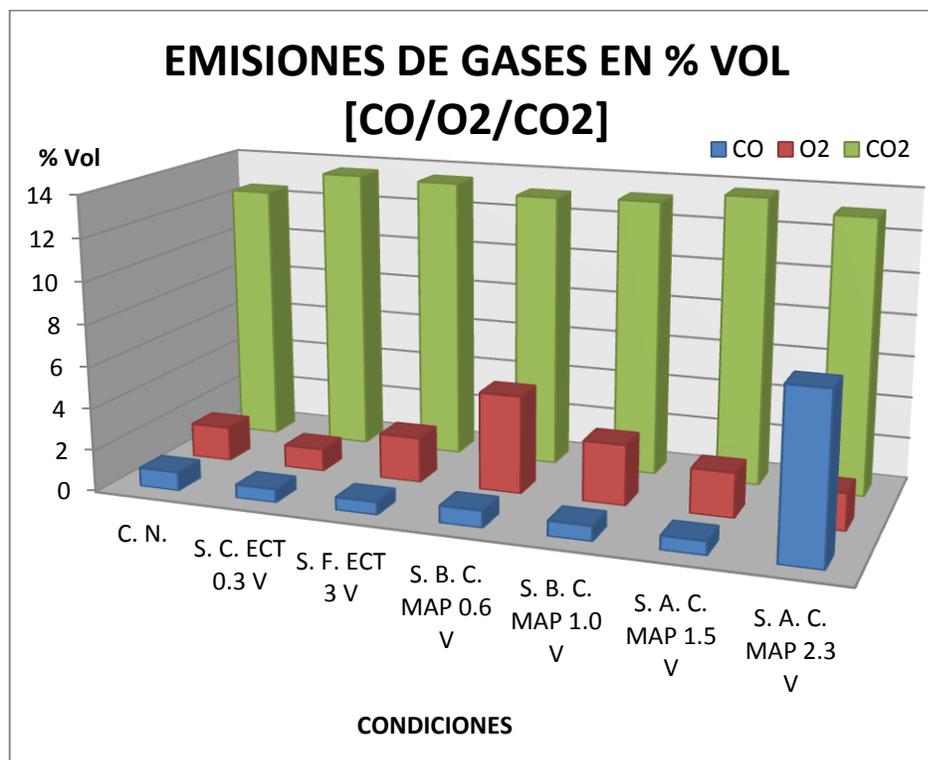


**Figura 95. HC y NOx en ppm, vehículo gasolina, sin catalizador, ralentí**

Tomando en cuenta que el vehículo se encuentra sin catalizador y en las condiciones de alta y baja carga se observó que los hidrocarburos se elevaron a 696 y 644 ppm respectivamente lo que indica que sobrepasaron el límite permitido, de 200 ppm, en un 350 % debido a que al variar el voltaje del sensor MAP a 2.3 V (7,5 psi) se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1$ ) (exceso de combustible)

al igual que al variar el voltaje del sensor MAP a 0.6 V (3,3 psi) se produjo que la mezcla sea pobre ( $\lambda > 1$ ) (exceso de aire).

En cuanto a los NOx variaron de 42 ppm en condición normal a 376 en la condición de simulación de baja carga (MAP a 0,6 V – 3,3 psi), en donde, se pudo observar un incremento del 376 % debido al exceso de oxígeno en esta condición.



**Figura 96. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, gasolina, sin catalizador, ralentí**

En este caso se observó un contenido elevado de los CO en la condición de simulación de carga alta con MAP 2,3 V debido a que se generó una mezcla rica ( $\lambda < 1$ ), es decir, existe exceso de combustible por lo que la falta de oxígeno provoca una combustión incompleta. Por otro lado en la condición de simulación de baja carga con MAP a 0,6 V el oxígeno (O<sub>2</sub>) libre de los gases de escape se produce por exceso de aire en la mezcla siempre que se supere  $\lambda = 1$ .

- Régimen de 2500 rpm

Tabla 10

## Medición en gasolina, sin catalizador, a 2500 RPM

CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	104	2500	0,78	137	229	0,88	13,3	1.014
S. C. ECT 0.3 V	81	2590	0.69	217	59	1,08	13,5	1.023
S. F. ECT 3 V	83	2590	0.68	234	58	1,21	13,5	1.030
S. B. C. MAP 0.6 V	99	2260	0.82	254	263	4,34	13,3	1,178
S. B. C. MAP 1.0 V	104	2550	0.74	179	375	2,22	13,7	1.079
S. A. C. MAP 1.5 V	84	2520	0.75	152	104	1,28	13,6	1.033
S. A. C. MAP 2.3 V	103	2650	0,85	670	45	1,65	13	1,027

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

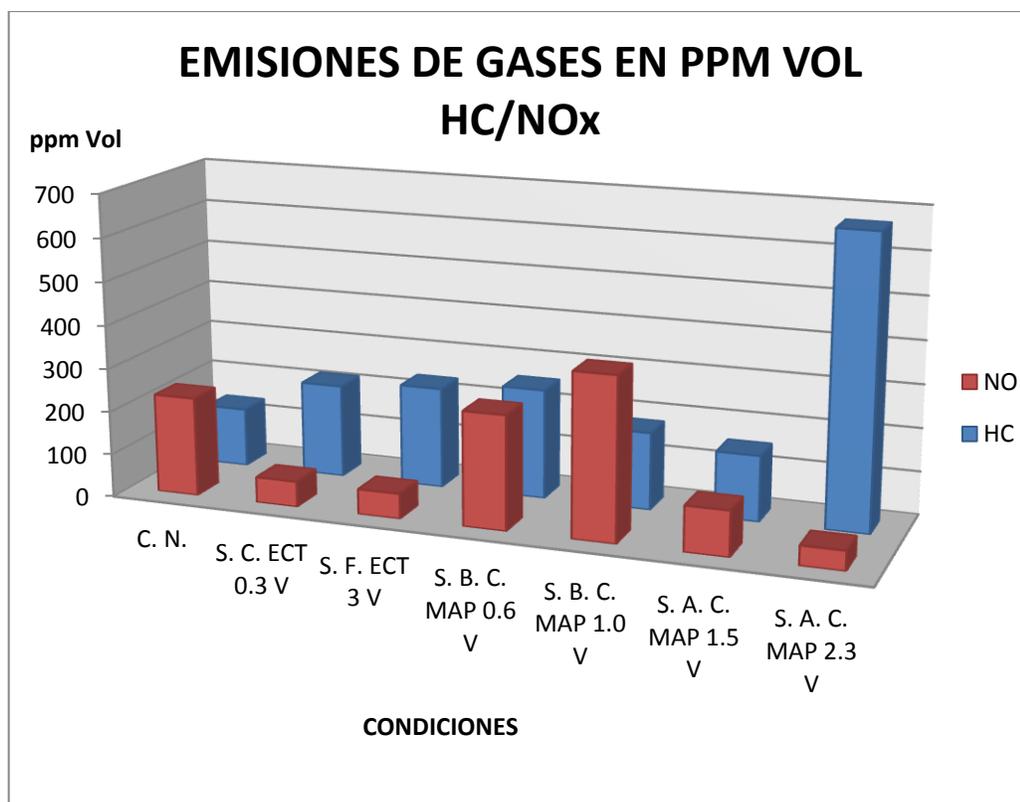
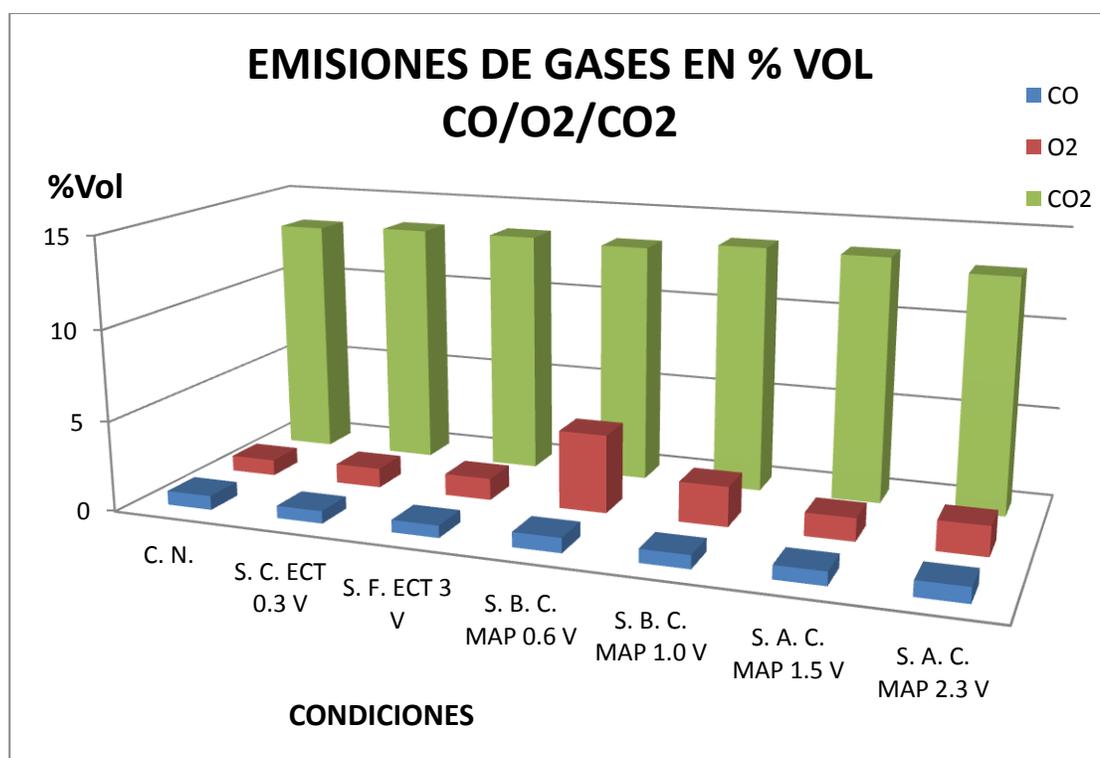


Figura 97. HC y NOx en ppm, sin catalizador, a 2500 rpm

Tomando en cuenta que el vehículo se encuentra sin catalizador y en las condiciones de alta y baja carga se observó una variación respecto a las

medidas en ralentí ya que los hidrocarburos disminuyeron excepto en el caso de la condición de simulación de alta carga ya que al variar el voltaje del sensor MAP a 2.3 V se produjo que la mezcla sea rica ( $\lambda < 1$ ) (exceso de combustible); de igual forma se incrementó los hidrocarburos en las condiciones de simulación de frío y caliente con el sensor ECT. En cuanto a los NOx se observó cierta variación debido a que la temperatura del vehículo empezó a elevarse teniendo un valor máximo de 375 ppm.



**Figura 98. CO, O2, CO2 en %Vol, sin catalizador, a 2500 rpm**

En este caso se observó que el CO en la condición de simulación de carga alta con MAP 2,3 V se estabilizó, es decir, disminuyó. Por otro lado en la condición de simulación de baja carga con MAP a 0,6 V el oxígeno (O2) libre de los gases de escape se mantiene y se produce por exceso de aire en la mezcla siempre que se supere  $\lambda=1$ .

- Régimen de 3500 rpm

Tabla 11

## Medición en gasolina, sin catalizador, a 3500 RPM

CONDICIONES	PARAMETROS			GASES DE ESCAPE				
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	104	3500	0,81	127	175	1,05	13,3	1.014
S. C. ECT 0.3 V	82	3570	0,75	317	78	3,06	13,4	1.023
S. F. ECT 3 V	84	3580	0,74	271	62	1,35	13,5	1.032
S. B. C. MAP 0.6 V	100	3800	0,89	598	207	1,98	12,1	1,048
S. B. C. MAP 1.0 V	104	3480	0,70	280	304	1,83	13,7	1.056
S. A. C. MAP 1.5 V	92	3560	0,84	520	69	1,53	13,4	1.027
S. A. C. MAP 2.3 V	103	3610	0,92	642	46	1,77	13,1	1,031

## GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

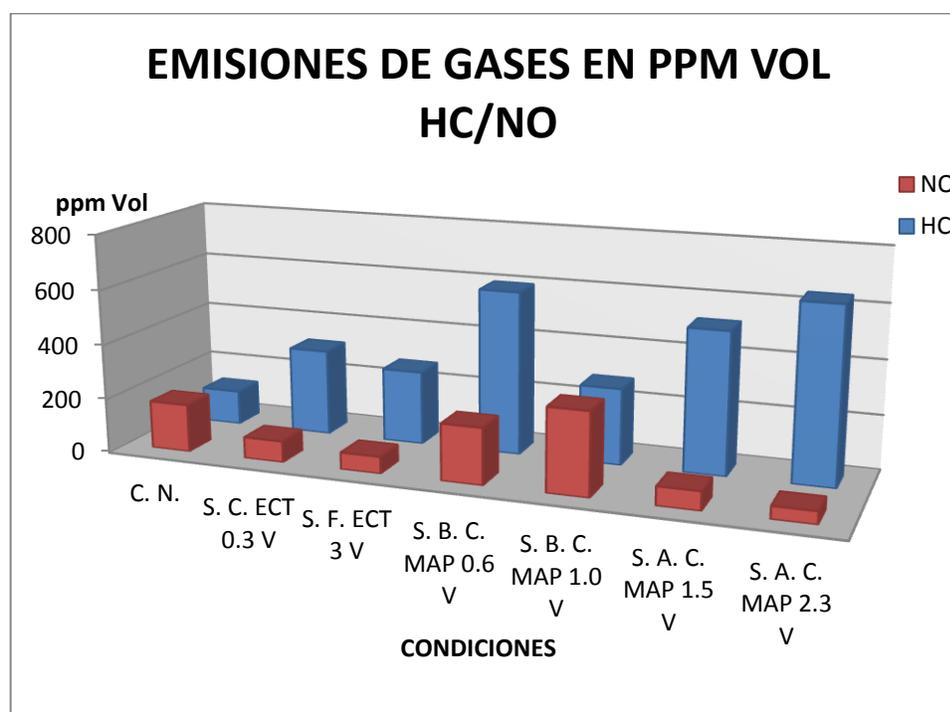
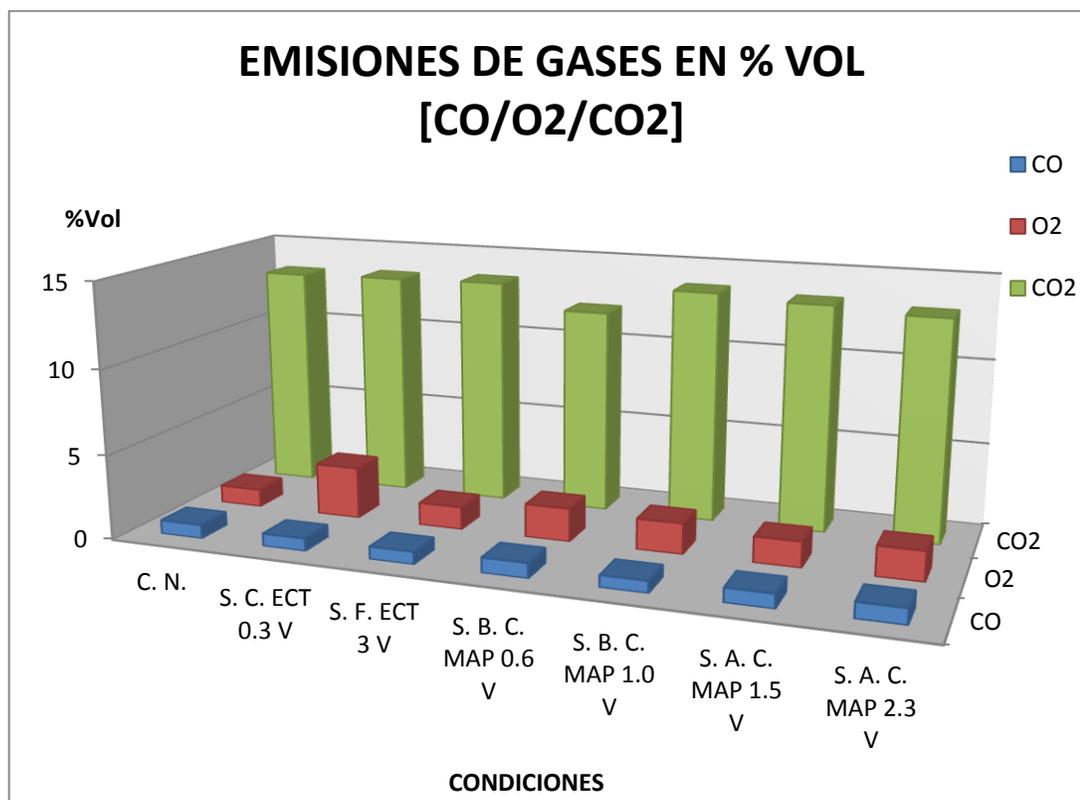


Figura 99. HC y NOx en ppm, gasolina, sin catalizador, 3500 rpm

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación en frío y en caliente con el ECT a 3V y 0,3V respectivamente, ya que los hidrocarburos aumentaron. En cuanto a los NOx se observó que se mantuvo constante debido a que la temperatura del vehículo también se mantuvo teniendo un valor máximo de 304 ppm.



**Figura 100. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, sin catalizador, gasolina, 3500 rpm**

En este caso se observó que tanto el CO, el O<sub>2</sub> como el CO<sub>2</sub> en las condición impuestas se estabilizaron.

- **Medición obtenida con la utilización de un agente reductor de polución.**

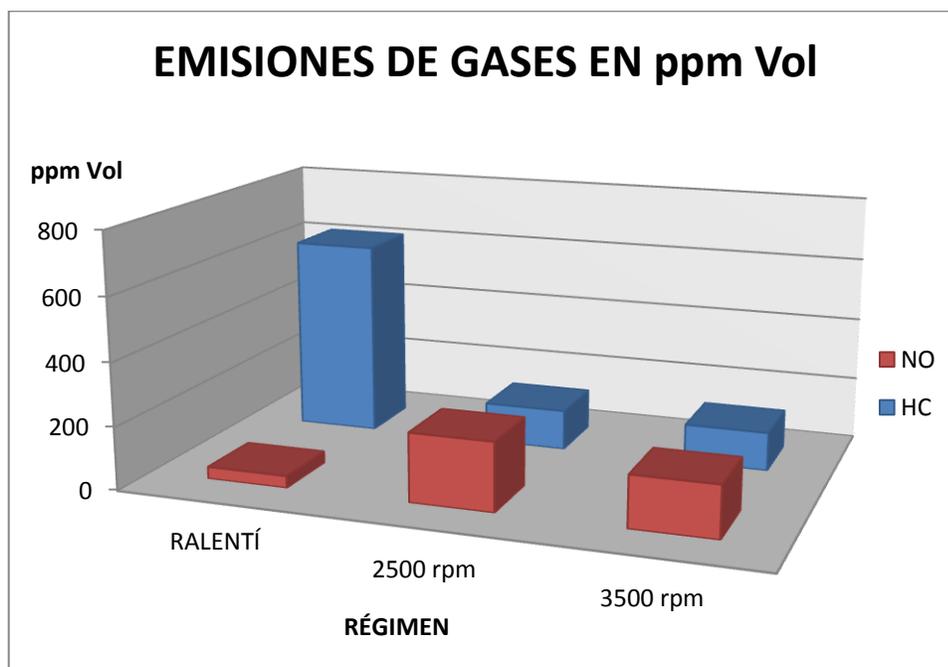
Para esta medición se utilizó el aditivo.... para aceite como agente reductor de polución, tomando en cuenta de que elementos está fabricado, que áreas del motor ataca y de qué forma lo hace.

- **Condiciones normales**

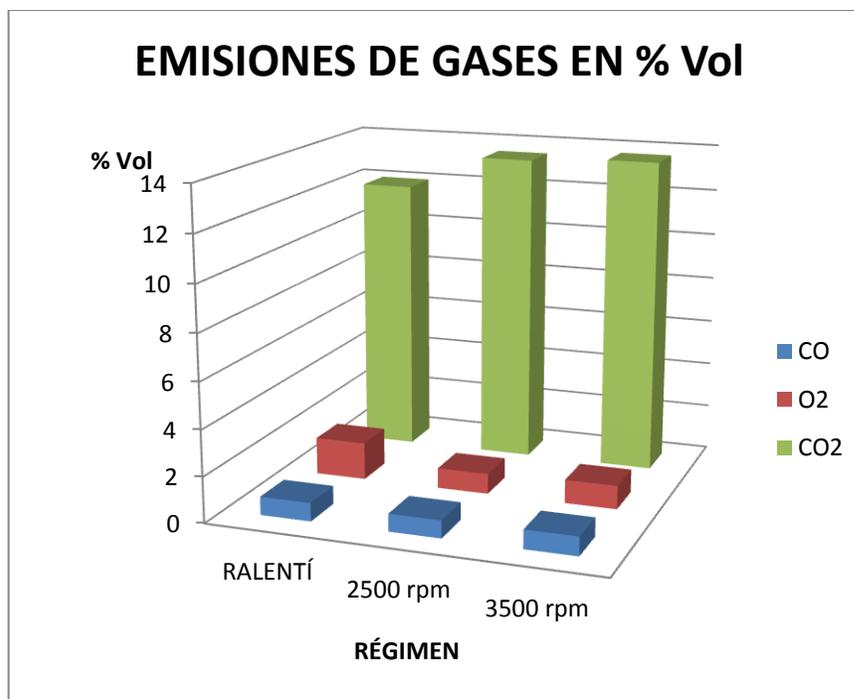
**Tabla 12**

**Medición en gasolina, sin catalizador, condiciones normales.**

CONDICIONES	PARAMETROS			GASES DE ESCAPE				
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
RALENTÍ	98	820	0,8	620	38	1,64	12,0	0,979
2500 rpm	100	2500	0,77	128	218	0,89	13,5	1.004
3500 rpm	101	3500	0,83	123	164	1,03	13,7	1.004



**Figura 101. Emisiones de gases en ppm Vol, gasolina, agente reductor**



**Figura 102. Emisiones de gases en ppm Vol, agente reductor, gasolina**

#### 4.1.3 Medición realizada con un catalizador de 2 vías

Para este caso, se implementó el catalizador de 2 vías mediante las sujeciones en las bridas mencionadas anteriormente, con los empaques respectivos y se realizó una prueba para verificar si existe alguna fuga.



**Figura 103. Vehículo con catalizador de 2 vías**

- **Test oficial**

Con el vehículo en condición normal, sin catalizador y realizado el mantenimiento respectivo se sometió al test oficial en donde se observaron los parámetros requeridos por la normativa vigente en nuestro país obteniendo los siguientes resultados de emisiones contaminantes.

**Tabla 13**  
**Test oficial vehículo gasolina, con catalizador de dos vías**

LÍMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor: 80 [°C]		Régimen Motor en Aceleración: 2300 – 2700 [1/min]	
Régimen Motor al Mínimo: 500 – 1200 [1/min]		Régimen Motor en Aceleración: 2300 – 2700 [1/min]	
O2: 5.0 [%Vol]	CO: 1.0 [%Vol]	HC: 200 [ppm Vol]	
VALORES MEDIDOS			
PRUEBA AL MÍNIMO		PRUEBA EN ACELERACIONES	
Temp. Motor:	100 [°C]	Temp. Motor:	100 [°C]
RPM:	1010 [1/min]	RPM:	2610 [1/min]
CO:	0.91 [% Vol]	CO:	0.02 [% Vol]
CO2:	13.9 [% Vol]	CO2:	14.4 [% Vol]
O2:	0.66 [% Vol]	O2:	0.09 [% Vol]
HC:	188 [ppm Vol]	HC:	47 [ppm Vol]
Lambda:	0.997 [-]	Lambda:	1.012 [-]
RESULTADO DEL TEST:		APROVADO CON FALTA TIPO 2	

Partiendo de los rangos de medición que nos prescribe el equipo analizador de gases observamos que el vehículo ha sido aprobado tanto en la prueba al mínimo como en la prueba en aceleración debido a que todas las medidas se encuentran dentro del límite establecido por la normativa salvo dos valores que se encuentran muy cerca del límite.

- **Prueba continua**

Con el vehículo en condición normal, sin catalizador y previamente realizado el mantenimiento respectivo, en esta prueba se muestran los datos generados en forma continua sin límite de tiempo en la cual se visualizó, aparte de los gases medidos en el test oficial, los Óxidos de Nitrógeno (NOx).

- Régimen de ralentí

Tabla 14

Medición, gasolina, con catalizador de dos vías, a ralentí

CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	86	800	0,05	74	0	0,15	14,6	1.003
S. C. ECT 0.3 V	93	740	0,00	23	0	0,11	14,6	1.004
S. F. ECT 3 V	94	810	0,01	55	0	0,11	14,6	1.003
S. B. C. MAP 0.6 V	97	770	0,15	263	0	0,23	14,4	0.996
S. B. C. MAP 1.0 V	94	740	0,00	59	0	0,11	14,7	1.003
S. A. C. MAP 1.5 V	80	750	0,64	312	55	3,81	13,4	1.155
S. A. C. MAP 2.3 V	89	790	7,54	1605	14	0,93	9,0	0.776

## GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

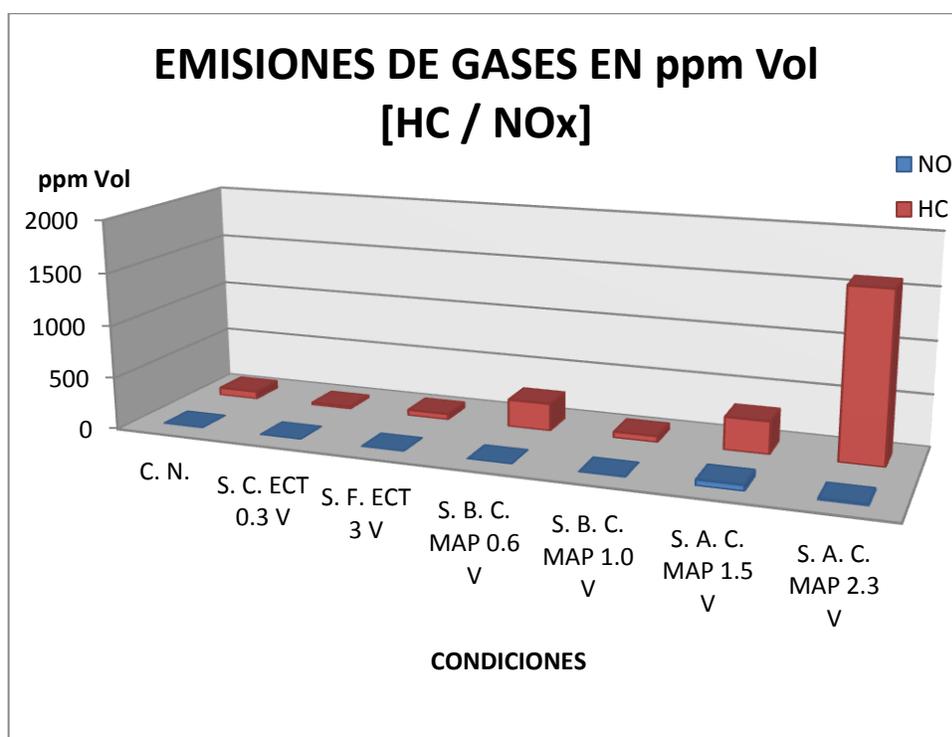


Figura 104. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, ralentí

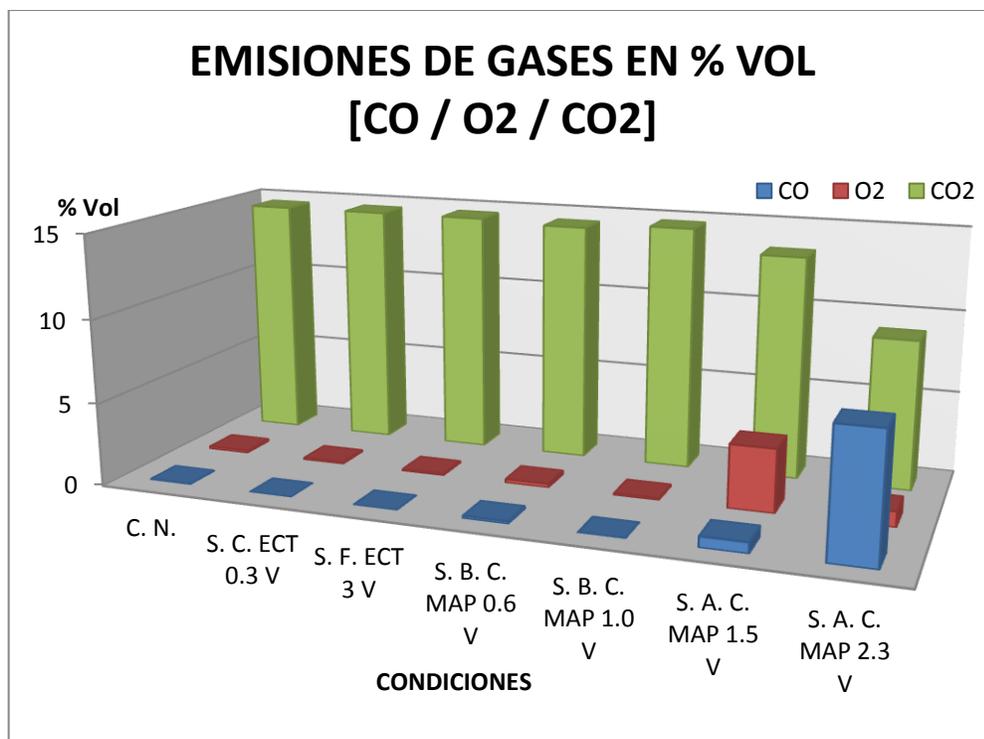
Tomando en cuenta que el vehículo se encuentra con un catalizador de dos vías y en las condiciones de alta carga se observó una variación respecto a las medidas en ralentí ya que los hidrocarburos disminuyeron excepto en el caso

de la condición de simulación de alta carga ya que al variar el voltaje del sensor MAP a 2.3 V se produjo que la mezcla sea rica ( $\lambda < 1$ ) (exceso de combustible).

En el gráfico se puede apreciar que en condiciones normales, es decir, sin alterar ningún elemento del motor, los HC se encuentran dentro del rango normal al igual que al simular la temperatura elevada del motor, manipulando el voltaje de señal del sensor ECT hasta 0,3 V (110°C), de igual forma simulando la temperatura baja del motor, manipulando el voltaje de señal del sensor ECT hasta 3 V (20°C).

Los HC varían fuera del rango permitido al simular baja carga de motor, manipulando el sensor MAP hasta 0,6 V con un valor de 263 ppm, de igual forma al simular la carga alta del motor, manipulando el sensor MAP hasta 2,3 V lo cual provoca que los HC se disparen hasta el valor de 1600 ppm.

En cuanto a los Óxidos de Nitrógeno, se puede observar en el gráfico, que solo en las condiciones de simulación de alta carga de motor, manipulando el sensor MAP hasta 2,3V, se genera una producción de NO de 55 y 14 respectivamente, de igual forma se observó cierta variación debido a que la temperatura del vehículo empezó a elevarse teniendo un valor máximo de 375 ppm.



**Figura 105. CO, O2, CO2 en %Vol, con catalizador de dos vías, ralentí**

En este gráfico se puede observar que existe una medición constante en los tres gases de escape en cada una de las condiciones variadas que se le dio al vehículo excepto en la de carga alta, que se manipuló el sensor MAP hasta tener un voltaje de 2,3 V en donde el CO2 disminuye exponencialmente en un 6% contrario a esto se puede observar que el CO aumenta exponencialmente en un 7%.

- Régimen de 2500 rpm

**Tabla 15**

**Medición gasolina, catalizador de 2 vías, a 2500 rpm.**

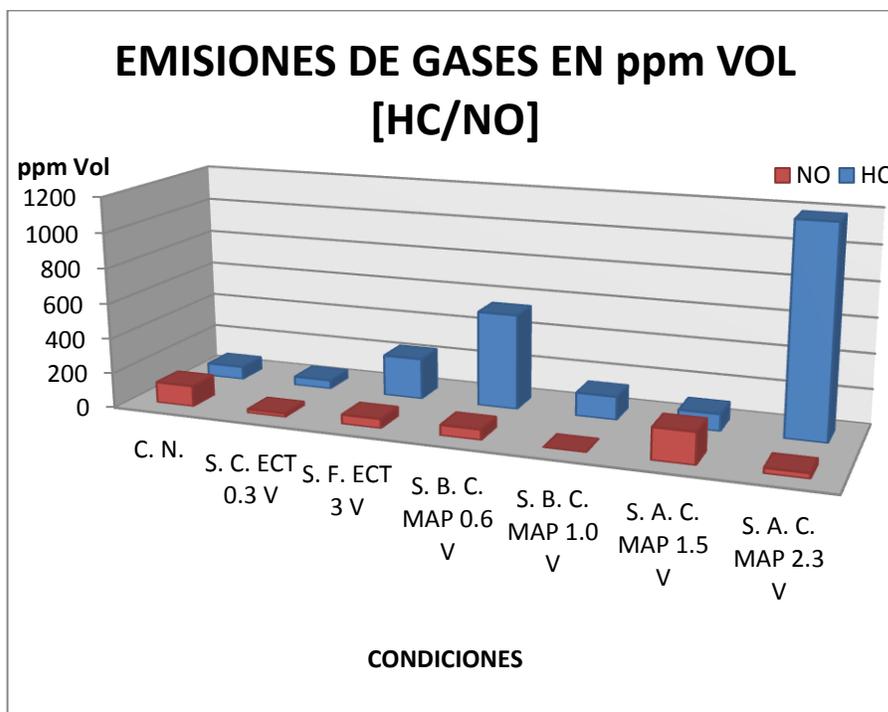
PARAMETROS			GASES DE ESCAPE					
CONDICIONES	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	83	2490	0,21	75	119	0,28	14,3	1.004
S. C. ECT 0.3 V	93	2700	0,62	50	21	0,11	14,2	0,985
S. F. ECT 3 V	97	2420	0,85	235	53	1,72	13,4	1.003
S. B. C. MAP 0.6 V	100	2620	1,52	543	59	5,46	11,5	1,212
S. B. C. MAP 1.0 V	92	2570	0,02	133	0	0,22	14,6	1.004
S. A. C. MAP 1.5 V	94	2610	0,55	97	178	0,57	14	1.007
S. A. C. MAP 2.3 V	94	2640	5,43	1184	30	1,30	10	0.776

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

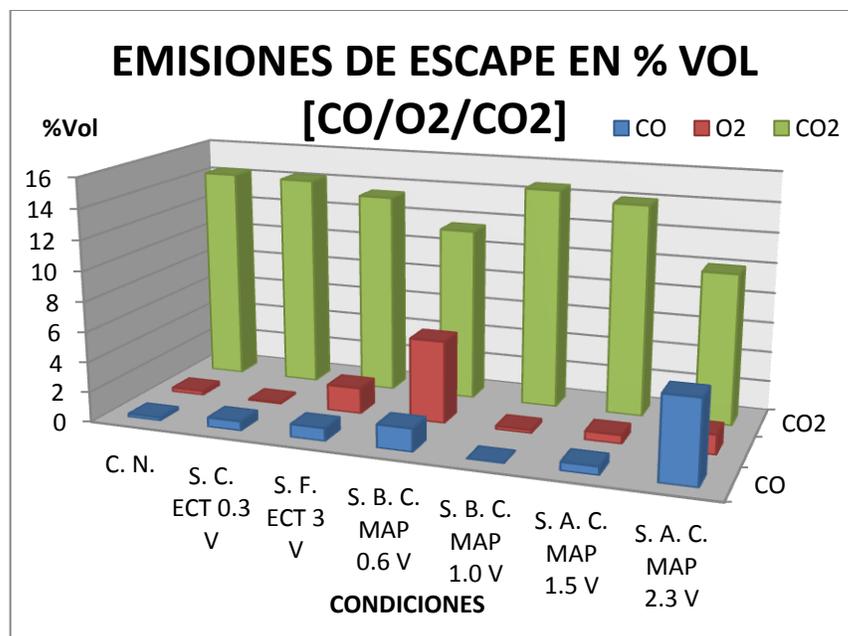
S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga



**Figura 106. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, 2500 rpm**

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación a carga alta con el MAP a 2.3 V en donde nos dio un valor de 1184 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,776$ ) (exceso de combustible), también se observó variación a las mediciones de la condición de simulación a carga baja con el MAP a 0.6 V en donde nos dio un valor de 543 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla pobre ( $\lambda > 1 \approx \lambda = 1,212$ ) (exceso de aire), los valores obtenidos de HC sobrepasan los permitidos por la norma mexicana en donde el valor máximo permitido es 200 ppm.



**Figura 107. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, sin catalizador, 2500 rpm**

Al mismo tiempo la falta de oxígeno no completa la combustión por lo que el contenido de CO es elevado está en el valor de 5,43 % vol teniendo en cuenta que en la norma ecuatoriana el valor máximo es 1% vol., en cuanto al O<sub>2</sub> y al CO<sub>2</sub> están dentro de los valores permitidos.

- **Régimen de 3500 rpm**

**Tabla 16**

**Medición, gasolina, catalizador de 2 vías, a 3500 rpm**

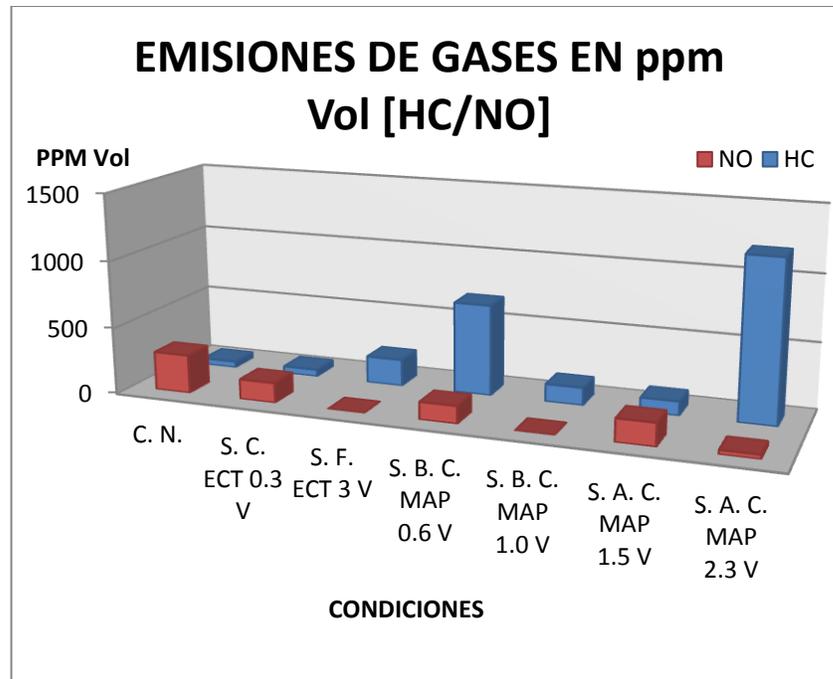
CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	91	3500	0,10	46	288	0,18	14,5	1.004
S. C. ECT 0.3 V	94	3550	0,15	52	150	0,39	14,4	1,012
S. F. ECT 3 V	97	3580	0,13	201	0	0,11	14,6	0,993
S. B. C. MAP 0.6 V	103	3600	0,08	682	132	5,78	9,9	1,348
S. B. C. MAP 1.0 V	103	3570	0,02	133	0	0,22	14,6	1.004
S. A. C. MAP 1.5 V	96	3390	0,49	107	172	0,22	14,5	0,992
S. A. C. MAP 2.3 V	94	3680	5,94	1203	32	1,45	10	0.850

**GLOSARIO:**

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

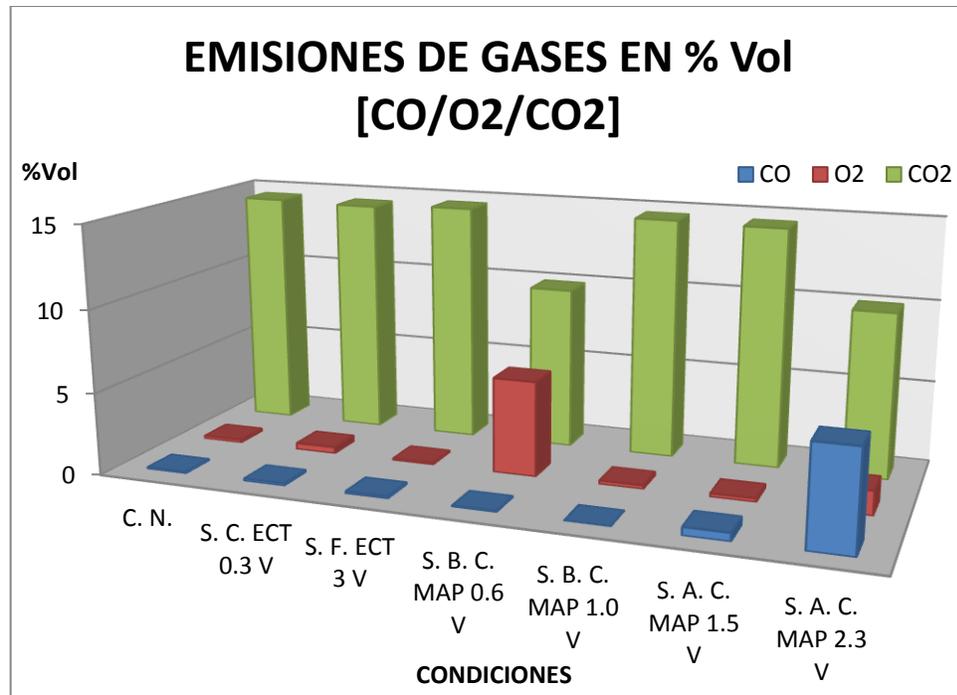
S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja

Carga  
S.A.C. = Simulado Alta Carga



**Figura 108. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, 3500 rpm**

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación a carga alta con el MAP a 2.3 V en donde nos dio un valor de 1203 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,850$ ) (exceso de combustible), también se observó variación a las mediciones de la condición de simulación a carga baja con el MAP a 0.6 V en donde nos dio un valor de 682 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla pobre ( $\lambda > 1 \approx \lambda = 1,348$ ) (exceso de aire), los valores obtenidos de HC sobrepasan los permitidos por la norma mexicana en donde el valor máximo permitido es 200 ppm.



**Figura 109. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, sin catalizador, 3500 rpm**

Al mismo tiempo la falta de oxígeno no completa la combustión por lo que el contenido de CO es elevado está en el valor de 5,43 % vol teniendo en cuenta que en la norma ecuatoriana el valor máximo es 1% vol., en cuanto al O<sub>2</sub> y al CO<sub>2</sub> están dentro de los valores permitidos.

#### **4.1.4 Medición realizada con un catalizador de 3 vías**

Para este caso, se implementó el catalizador de 3 vías mediante las sujeciones en las bridas mencionadas anteriormente, con los empaques respectivos y se realizó una prueba para verificar si existe alguna fuga.



**Figura 110. Vehículo gasolina con catalizador de 3 vías**

- **Test oficial**

Con el vehículo en condición normal, con catalizador de tres vías y realizado el mantenimiento respectivo se sometió al test oficial en donde se observaron los parámetros requeridos por la norma vigente en nuestro país obteniendo los siguientes resultados de emisiones contaminantes.

**Tabla 17**

**Test oficial vehículo gasolina, con catalizador de tres vías**

LÍMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor: 80 [°C]		Régimen Motor en Aceleración: 2300 – 2700 [1/min]	
Régimen Motor al Mínimo: 500 – 1200 [1/min]			
O2: 5.0 [%Vol]	CO: 1.0 [%Vol]	HC: 200 [ppm Vol]	
VALORES MEDIDOS			
PRUEBA AL MÍNIMO		PRUEBA EN ACELERACIONES	
Temp. Motor:	100 [°C]	Temp. Motor:	100 [°C]
RPM:	790 [1/min]	RPM:	2400 [1/min]
CO:	0.00 [% Vol]	CO:	0.15 [% Vol]
CO2:	14.7 [% Vol]	CO2:	14.7 [% Vol]
O2:	0.60 [% Vol]	O2:	0.09 [% Vol]
HC:	101 [ppm Vol]	HC:	54 [ppm Vol]
Lambda:	1.024 [-]	Lambda:	0.998 [-]
RESULTADO DEL TEST:		APROVADO SIN FALTAS	

Partiendo de los rangos de medición que nos prescribe el equipo analizador de gases observamos que el vehículo ha sido aprobado tanto en la prueba al mínimo como en la prueba en aceleración debido a que todas las medidas se encuentran dentro del límite establecido por la normativa.

- **Prueba continua**

Con el vehículo en condición normal, con catalizador de 3 vías y previamente realizado el mantenimiento respectivo, en esta prueba se muestran los datos generados en forma continua sin límite de tiempo en la cual se visualizó, aparte de los gases medidos en el test oficial, los Óxidos de Nitrógeno (NOx).

- **Régimen de ralentí**

**Tabla 18**

**Medición en gasolina, con catalizador de 3 vías, a ralentí.**

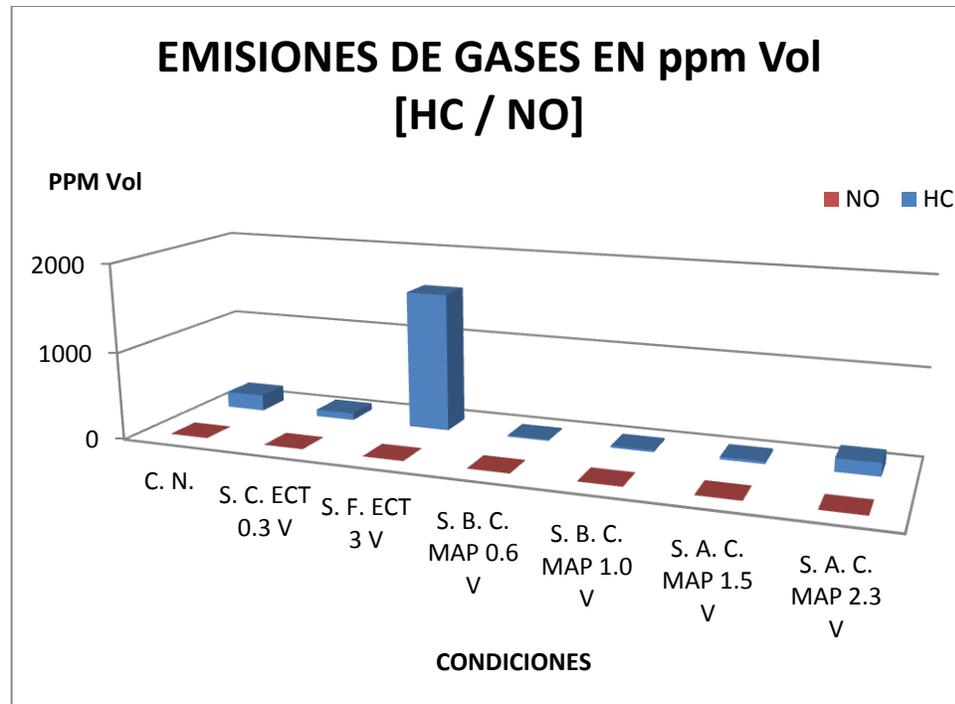
PARAMETROS			GASES DE ESCAPE					
ESTADO	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	100	820	0,03	187	0	0,45	14,7	1,013
S. C. ECT 0.3 V	94	790	0,01	79	0	0,58	14,5	1,024
S. F. ECT 3 V	94	1070	6,43	1583	0	0,08	10,2	0,777
S. B. C. MAP 0.6 V	99	780	0,01	14	0	0,10	14,7	1,004
S. B. C. MAP 1.0 V	97	760	0,01	22	0	0,11	14,7	1,004
S. A. C. MAP 1.5 V	91	770	0,02	30	0	0,15	14,6	1,005
S. A. C. MAP 2.3 V	95	770	0,04	151	0	0,13	14,5	0,999

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

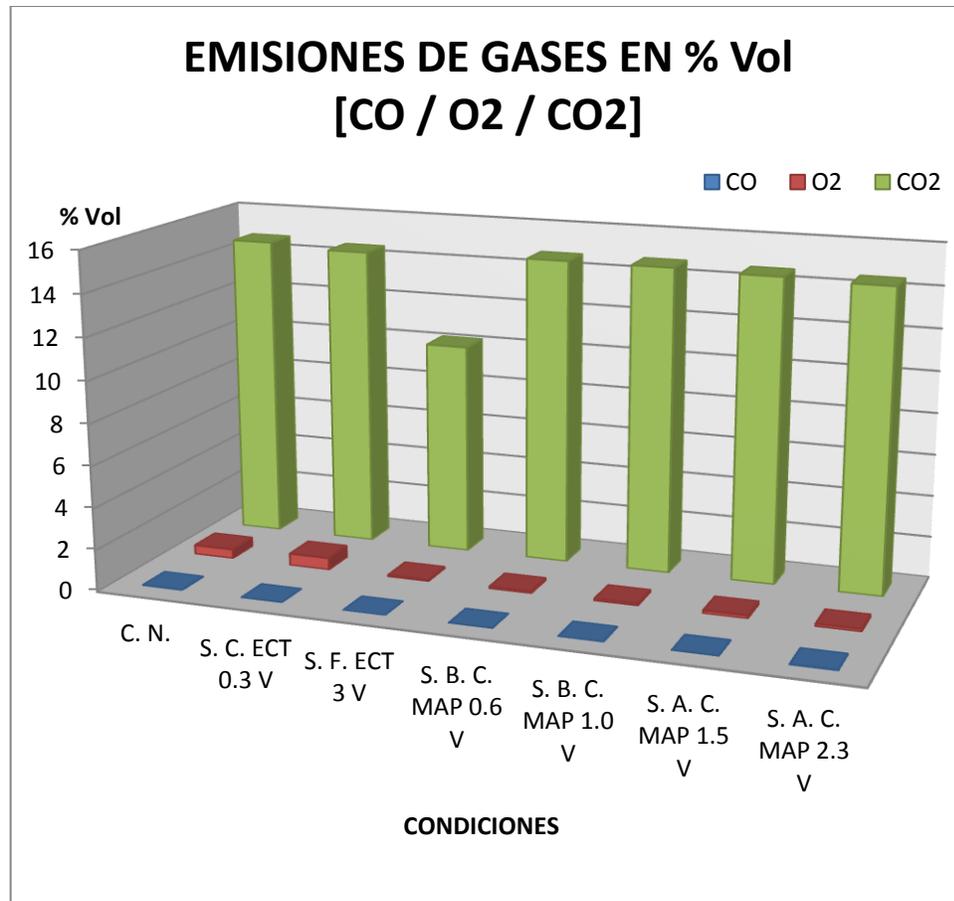
S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga



**Figura 111. HC y NOx en ppm, con catalizador de tres vías, ralentí**

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación a frío con el ECT a 3 V en donde nos dio un valor de 1583 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,777$ ) (exceso de combustible), también se observó variación a las mediciones de la condición de simulación a carga baja con el MAP a 0.6 V en donde nos dio un valor de 682 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla pobre ( $\lambda > 1 \approx \lambda = 1,348$ ) (exceso de aire), los valores obtenidos de HC sobrepasan los permitidos por la norma mexicana en donde el valor máximo permitido es 200 ppm.



**Figura 112. CO /O2 / CO2 en ppm, con catalizador de 3 vías, ralenti**

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación a frio con el ECT a 3 V en donde nos dio un valor de 1583 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,777$ ) (exceso de combustible), también se observó variación a las mediciones de la condición de simulación a carga baja con el MAP a 0.6 V en donde nos dio un valor de 682 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla pobre ( $\lambda > 1 \approx \lambda = 1,348$ ) (exceso de aire), los valores obtenidos de HC sobrepasan los permitidos por la norma mexicana en donde el valor máximo permitido es 200 ppm.

- Régimen de 2500 ppm

Tabla 19

Medición gasolina, catalizador de 3 vías, a 2500 rpm.

CONDICIONES	PARAMETROS			GASES DE ESCAPE				
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	104	2530	0,01	34	0	0,06	14,7	1.001
S. C. ECT 0.3 V	94	2550	0,01	74	0	0,15	14,6	1,004
S. F. ECT 3 V	97	2480	6,13	340	0	0,07	10,9	0,825
S. B. C. MAP 0.6 V	103	2690	0,01	19	134	5,40	12,2	1,309
S. B. C. MAP 1.0 V	98	2650	0,01	20	0	0,10	14,7	1.004
S. A. C. MAP 1.5 V	94	2550	0,01	35	0	0,11	14,7	1.004
S. A. C. MAP 2.3 V	95	2680	4,35	826	0	0,12	11,4	0.852

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

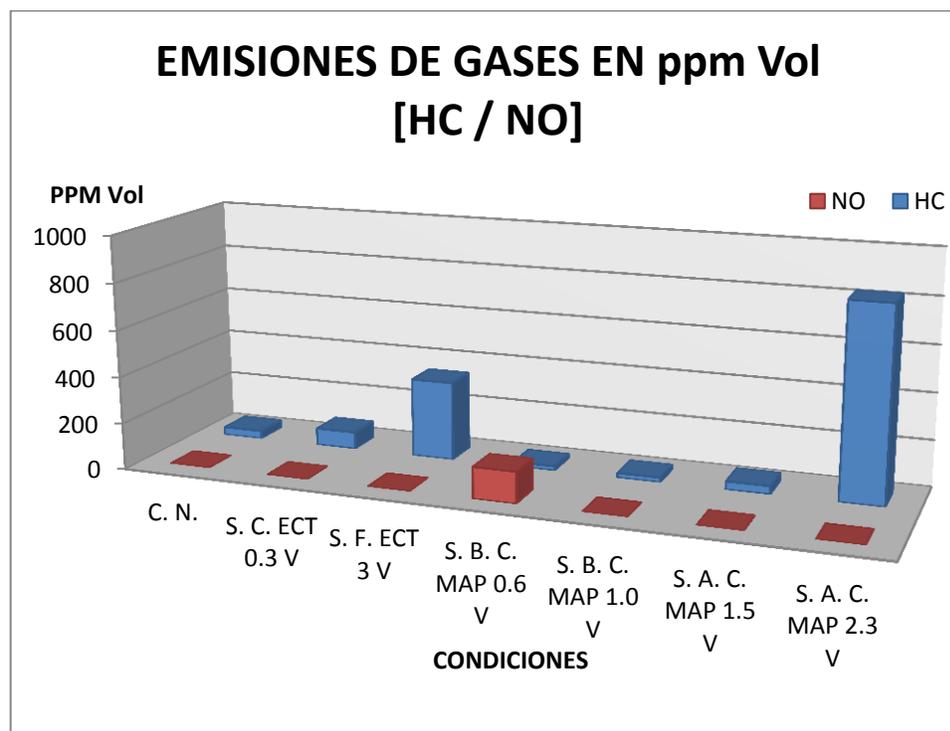
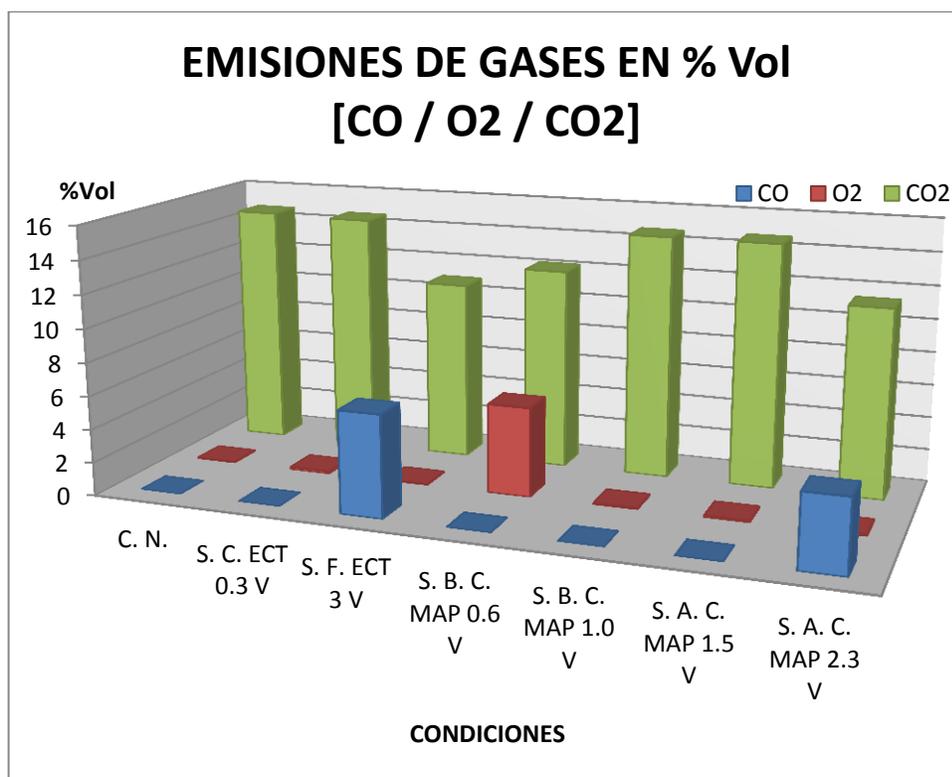


Figura 113. HC y NOx en ppm, con catalizador de tres vías, 2500 rpm

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación a carga alta con el MAP a 2.3 V en donde nos dio un valor de 826 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,852$ ) (exceso de combustible), también se observó variación a las mediciones

de la condición de simulación de frío con el ECT a 3 V en donde nos dio un valor de 340 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,825$ ) (exceso de combustible), los valores obtenidos de HC sobrepasan los permitidos por la norma ecuatoriana en donde el valor máximo permitido es 200 ppm. En cuanto a los NOx existe una evidencia en 134 ppm Vol en la condición de simulado baja carga con el sensor MAP a 0,6 V lo que significa que existe mayor presión por ende exceso de aire en el sistema con una mezcla rica ( $\lambda > 1 \approx \lambda = 1,309$ ).



**Figura 114. CO /O2 / CO2 en ppm, con catalizador de 3 vías, 2500 rpm**

Existe un incremento de CO en la condición de simulado frío con el ECT a 3 V y al dar la condición de simulado alta carga con el sensor MAP a 2,3 V lo que nos indica que estos valores se encontraban fuera del límite permitido por la norma que es 1% y, como se puede comprobar, al realizar la medición en la condición de simulado baja carga con el MAP a 0,6 V (exceso de aire al existir

mayor presión) existe un exceso de aire con un 5.4 % que se sobrepasa del límite, establecido en la norma, en un 3 % aproximadamente.

- Régimen de 3500 rpm

**Tabla 20**

**Medición gasolina, catalizador de 3 vías, a 3500 rpm**

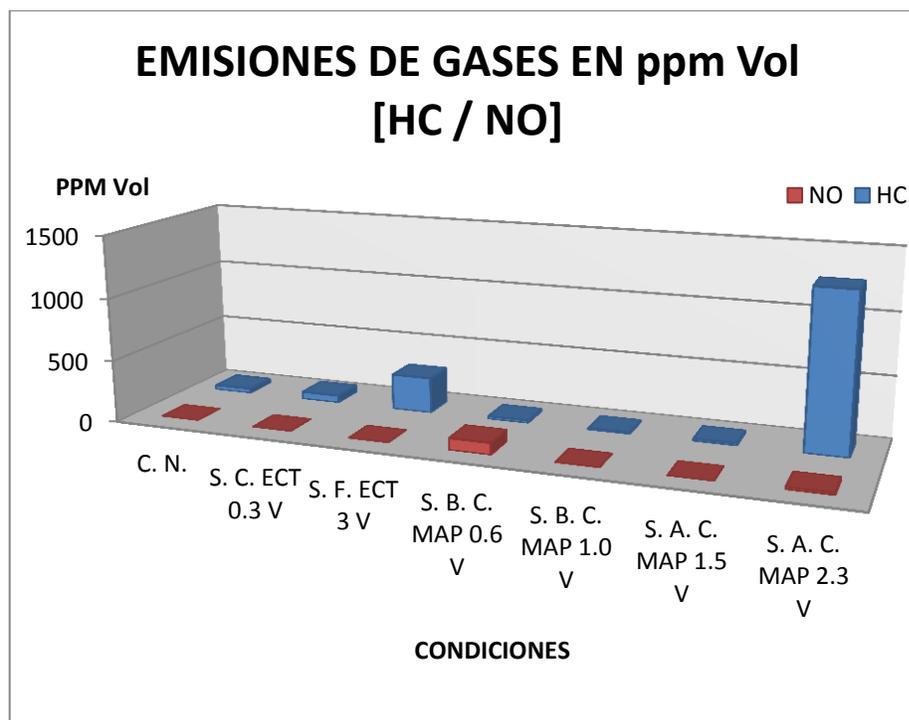
CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	103	3580	0,00	38	0	0,05	14,8	1,001
S. C. ECT 0.3 V	93	3540	0,00	60	0	0,14	14,7	1,004
S. F. ECT 3 V	102	3520	6,06	290	0	0,05	10,8	0,825
S. B. C. MAP 0.6 V	103	3640	0,02	23	94	1,34	13,6	1,067
S. B. C. MAP 1.0 V	102	3480	0,01	14	0	0,10	14,7	1,004
S. A. C. MAP 1.5 V	99	3540	0,02	20	0	0,06	14,8	1,001
S. A. C. MAP 2.3 V	97	3560	6,23	1268	19	0,06	10,8	0,795

**GLOSARIO:**

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

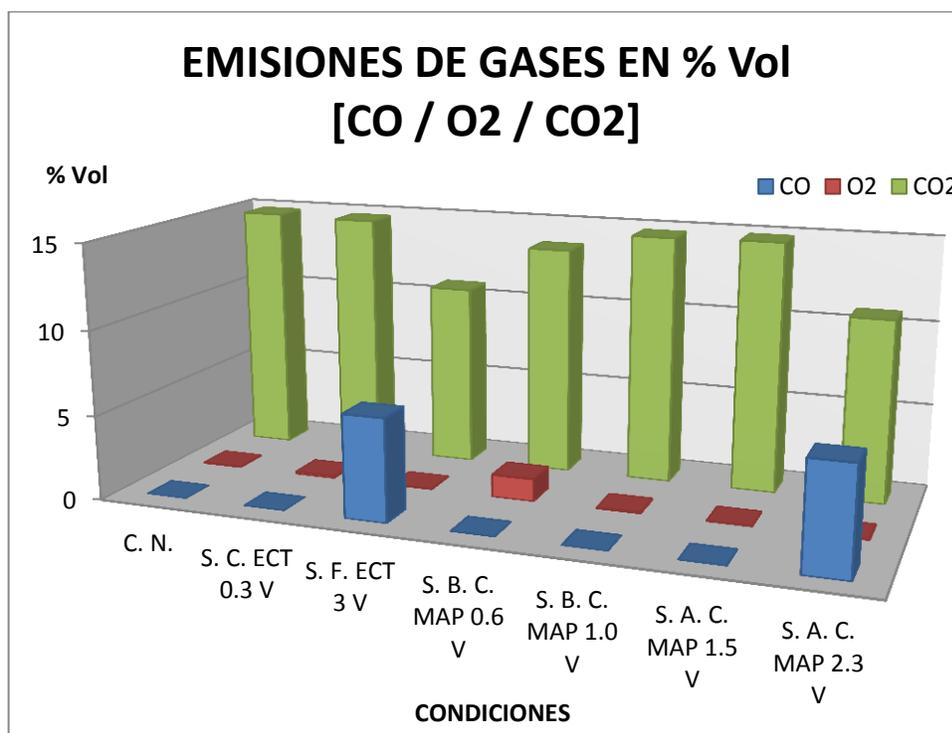
S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga



**Figura 115. HC y NOx en ppm, con catalizador de dos vías, a 3500 rpm**

En este caso se observó una variación respecto a las medidas en la condición de simulación a carga alta con el MAP a 2.3 V en donde nos dio un valor de 1268 ppm de HC debido a que se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1 \approx \lambda = 0,795$ ) (exceso de combustible), también se observó variación a las mediciones de la condición de simulación en frío con ECT a 3V en donde nos dio un valor de 290 ppm de HC los valores obtenidos de HC sobrepasan los permitidos por la norma ecuatoriana en donde el valor máximo permitido es 200 ppm este exceso es de un 40 % aproximadamente.



**Figura 116. CO, CO2, O2 en ppm, con catalizador de dos vías, 3500 rpm**

La falta de oxígeno no completa la combustión, en los casos de simulación en frío con el ECT a 3V y en simulación de alta carga con el MAP a 2.3 V, por lo que el contenido de CO es elevado está en los valores de 6,06% y 6,23% respectivamente lo que significa un incremento del 20 % en ambos casos teniendo en cuenta que en la norma ecuatoriana el valor máximo es 1% vol., en cuanto al O2 y al CO2 están dentro de los valores permitidos.

## 4.2 Medición en el vehículo diésel

### 4.2.1 Acondicionamiento de la señal de sensores en diésel

- **Sensor ECT**

Al igual que en gasolina se realizó la simulación de condiciones en éste sensor engañando a la ECU de tal manera que se le proporcionó diferentes valores de voltaje con el fin de simular que el motor estaba extremadamente frío y extremadamente caliente.

Para el diseño del circuito de simulación se tomó en cuenta las relaciones matemáticas que simulan su comportamiento, las cuales tenemos a continuación:

**Tabla 21**  
**Temperatura, Resistencia y Voltaje del Sensor ECT**

Temperatura [°C]	Resistencia [KΩ]	Voltaje [V]
22	2.70	2.21
33	2.41	1.81
40	1.61	1.54
65	0.74	1.33
73	0.52	1.19
85	0.28	0.60

**Fuente:** (VITERI, 2014)

La relación entre la variación de la temperatura y la resistencia interna del sensor ECT se muestra en la ecuación:

$$R_T = 2700 \Omega \cdot e^{\left[946.833 \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{295K}\right)\right]}$$

(VITERI, 2014) Para acondicionar la señal de temperatura se debe relacionar la resistencia obtenida por el sensor (termistor) con la variación de voltajes en los terminales del sensor, por lo que se implementó un potenciómetro de corte 3296W que actúa como divisor de tensión y convierte el valor de resistencia obtenido en la ecuación [] en un voltaje proporcional que lee la Unidad de Control para determinar la temperatura del sensor, con el fin de

simular la variación de temperatura en el motor engañando a la ECU diciéndole que el motor se encuentra en diferentes condiciones de temperatura y así medir los gases de escape y la eficiencia del catalizador en dichas condiciones.

- **Sensor BARO**

La señal que entrega este sensor nos indica cuanta presión de aire ingresa al múltiple de admisión, la presión en la admisión es baja (depresión alta) cuando la mariposa de aceleración está cerrada totalmente, sucede lo contrario cuando la mariposa de aceleración está abierta totalmente la presión de admisión es alta (depresión baja). La ECU se basa en estos datos para realizar los cálculos del avance de ignición y también de la cantidad de combustible que debe ser inyectado.

En el rango entre 1 y 1,5 V, el sensor MAP, genera la señal de voltaje en un régimen de ralentí. Éste voltaje alcanza un valor de aproximadamente 4,5 V con una aceleración lenta, y el voltaje llega al valor de aproximadamente 0,7 V con una desaceleración rápida.

$$V = 0.0395 \cdot P + 0.1$$

Si se despeja la presión P que viene dada en KPa se obtiene una nueva relación en la que indica la presión existente en la admisión, cuando varía el voltaje en el sensor MAP.

$$P = \frac{V - 0.1}{0.0395}$$

Para acondicionar la señal de presión se implementó un potenciómetro de corte 3296W que actúa como divisor de tensión que por medio de su resistencia genera un voltaje proporcional que lee la Unidad de Control con el fin de simular la variación de presión en el motor engañando a la ECU diciéndole que el motor se encuentra en diferentes condiciones de carga y así medir los gases de escape y la eficiencia del catalizador en dichas condiciones.

#### 4.2.2 Mediciones sin catalizador

Al igual que en el vehículo gasolina, en el sistema de escape se adaptó un método que permite el intercambio de un catalizador a otro de manera cómoda y rápida, este método consistió en instalar bridas de sujeción en los extremos donde se ubica el catalizador mediante las cuales se logró una sujeción perfecta de la sección de tubo que reemplaza al catalizador como es el caso de la figura 117.



**Figura 117. Mediciones sin catalizador**

- **Prueba continua**

Con el vehículo en condición normal, sin catalizador y previamente realizado el mantenimiento respectivo, en esta prueba se muestran los datos generados en forma continua sin límite de tiempo atendiendo al comportamiento de los Óxidos de Nitrógeno (NOx).

- Régimen de ralentí

Tabla 22

Medición en diesel a ralentí sin el uso de catalizador.

CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NOx [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	λ [-]
C. N.	64	770	0,02	0	156	18,6	1,5	-
S. C. ECT 0.21 V	74	780	0,02	0	189	19,3	1,5	-
S. F. ECT 4 V	47	970	0,05	0	122	18,3	1,7	-
S. B. C. BARO 1.5 V	77	880	0,02	0	197	19,4	1,5	-
S. B. C. BARO 1.98 V	61	740	0,02	0	207	19,4	2,0	-
S. A. C. BARO 3,6 V	73	1000	0,02	0	104	18,1	2,1	-

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

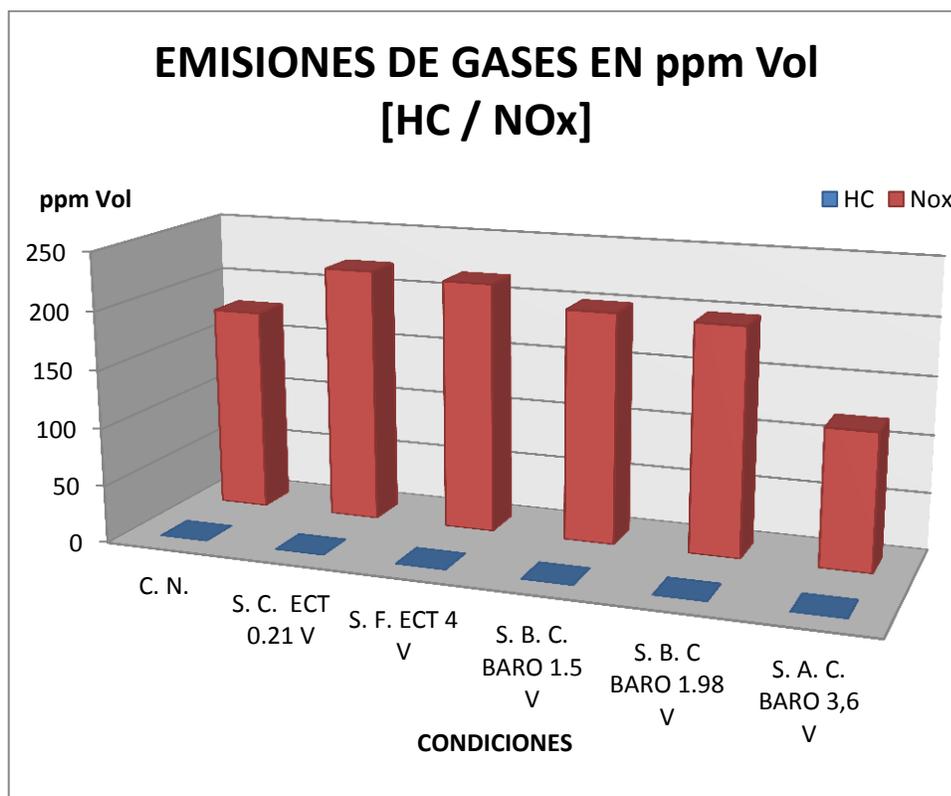
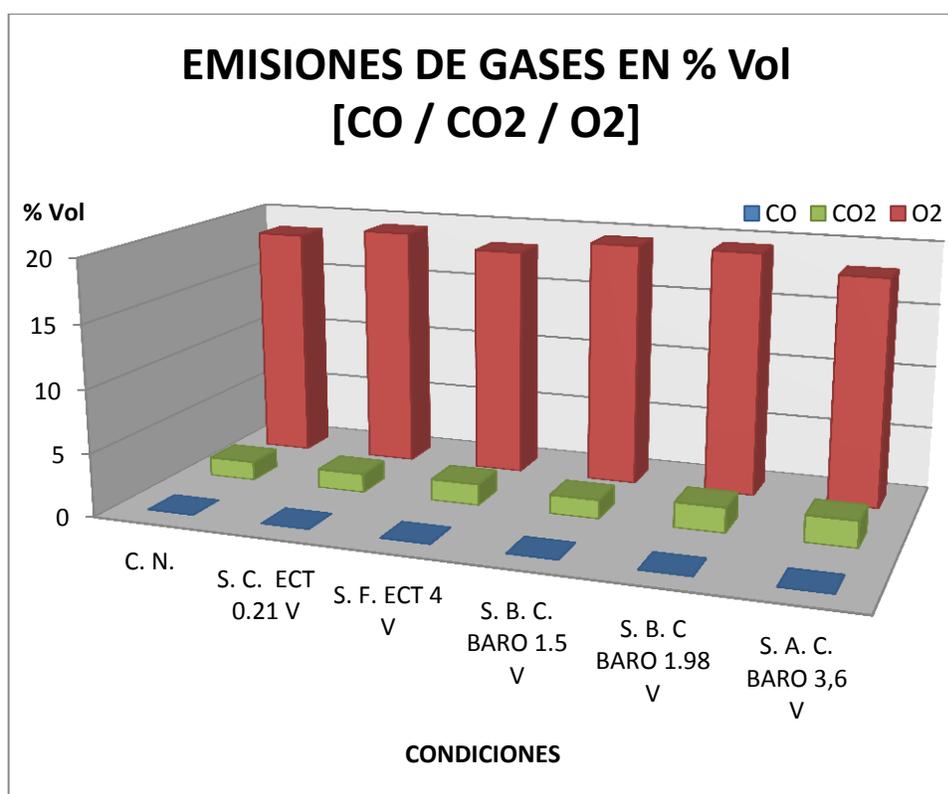


Figura 118. HC y NOx en ppm, vehículo diesel, sin catalizador, a ralentí.

En este caso se observó una evidente variación respecto a las medidas realizadas en el motor a gasolina (en las mismas condiciones) debido a que existió mayor producción de NOx ya que se tiene una mezcla pobre ( $\lambda > 1$ ) por

ende se tiene exceso de aire. Los valores que sobrepasan la norma en cuanto a NOx son los que se realizó en la medición simulado baja carga MAF 1.5 V con un resultado de 215 ppm vol lo cual nos indica un aumento del 5.5 % de acuerdo a la norma, y los que se realizó en la medición simulado a mayor altura menor carga BARO 1.98 V en donde se obtuvo un resultado de 207 ppm vol lo cual es un aumento aproximado del 4% de acuerdo a la norma. En este caso no se obtuvo evidencia de HC.



**Figura 119. CO, O2, CO2 en %Vol, diesel, sin catalizador, a ralentí**

En este caso se pudo evidenciar la presencia de aire en exceso por lo que afecto a la variación de otros parámetros, se pudo medir un aumento de aire en casi el 300% en relación a lo que establece la norma.

- Régimen de 2000 rpm

Tabla 23

Medición en diesel a 2000 rpm sin el uso de catalizador.

CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NOx [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	59	1980	0,01	0	68	20,5	1,4	
S. C. ECT 0.21 V	74	1980	0,02	0	131	20,4	1,4	
S. F. ECT 4 V	47	2000	0,34	0	59	20,4	1,3	
S. B. C. BARO 1.5 V	77	2040	0,02	0	211	18,7	1,6	
S. B. C. BARO 1.98 V	62	2080	0,02	0	219	18,2	1,8	
S. A. C. BARO 3,6 V	74	2030	0,02	0	107	17,9	2,1	

## GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

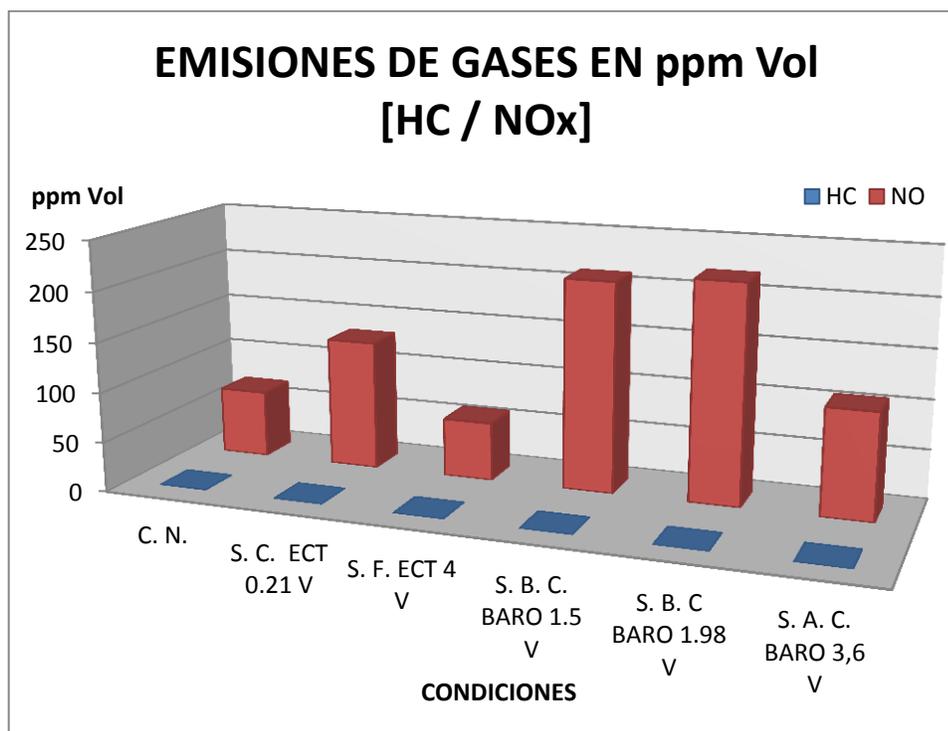


Figura 120. HC y NOx en ppm, diesel, sin catalizador, a 2000 rpm.

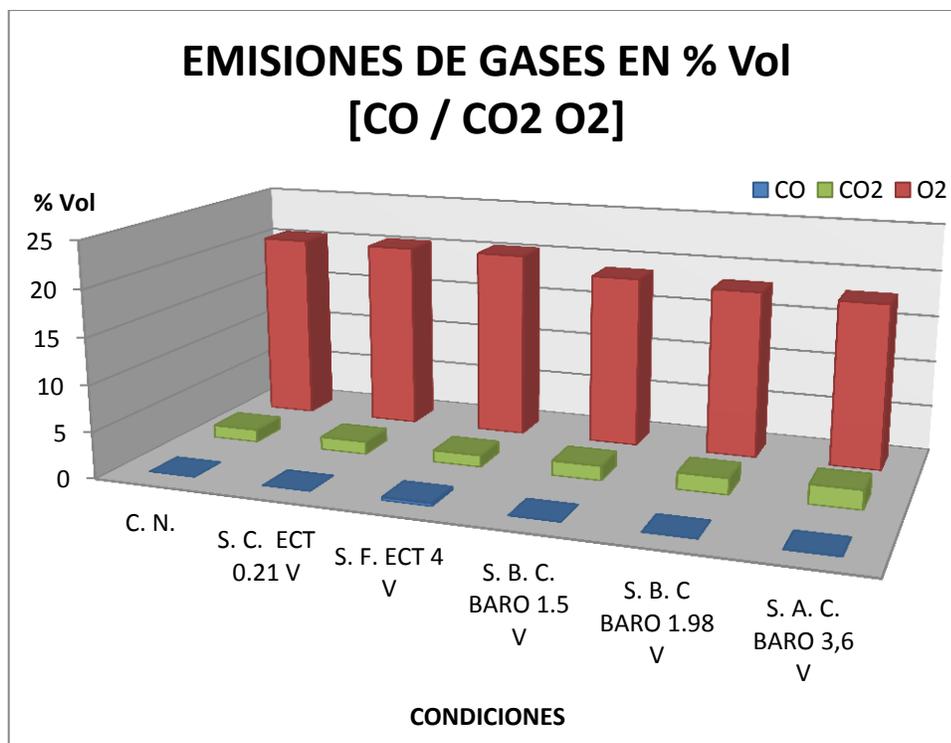


Figura 121. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, sin catalizador, a 2000 rpm

- Régimen de 3000 rpm

**Tabla 24**

**Medición en diesel a 3000 rpm sin el uso de catalizador.**

CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					Λ
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	
C. N.	57	2970	0,07	0	140	18,4	2,2	-
S. C. ECT 0.21 V	65	3040	0,13	0	146	18,3	2,4	-
S. F. ECT 4 V	46	3010	0,06	0	143	19,2	2,2	-
S. B. C. BARO 1.5 V	72	3050	0,01	0	126	20,6	1,2	-
S. B. C. BARO 1.98 V	63	3010	0,11	0	198	18,1	2,5	-
S. A. C. BARO 3,6 V	71	3000	0,08	4	94	19,0	2,9	-

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

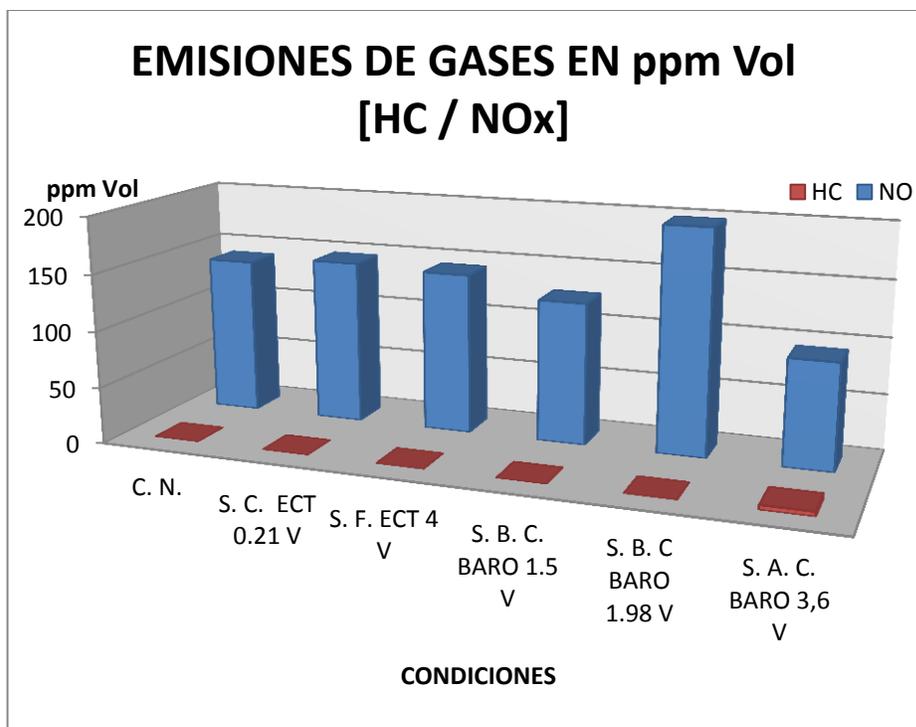


Figura 122. HC y NOx en ppm, diésel, sin catalizador, a 3000 rpm.

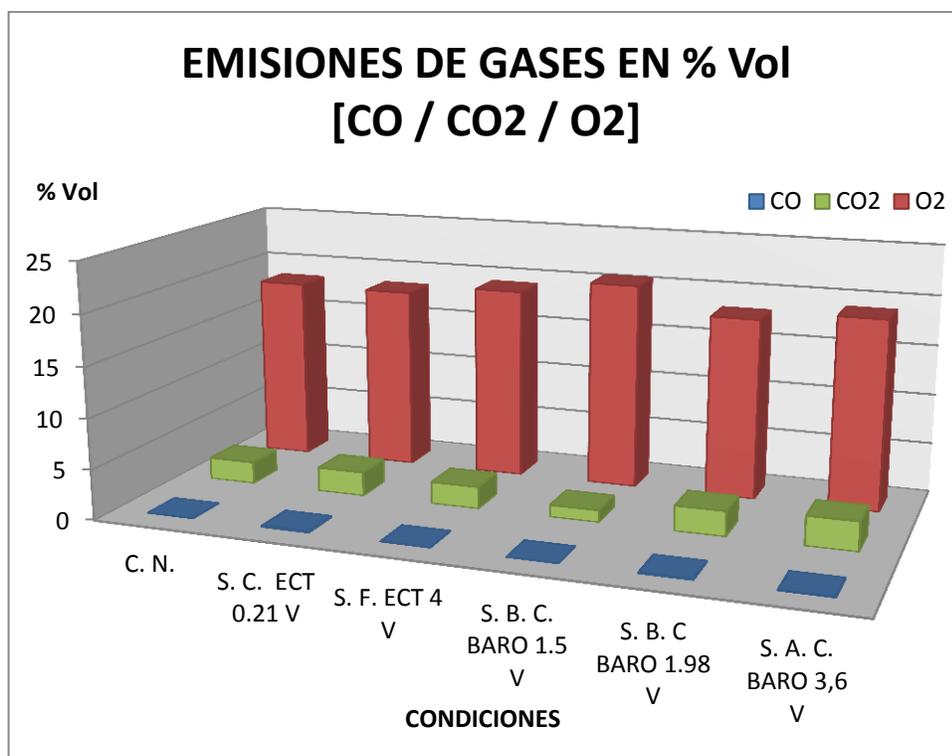


Figura 123. CO, O2, CO2 en %Vol, diésel, sin catalizador, a 3000 rpm

### 4.2.3 Mediciones con catalizador de dos vías



Figura 124. Vehículo con catalizador de oxidación

- Régimen de ralentí

Tabla 25

Medición en diesel a ralentí con el uso de catalizador.

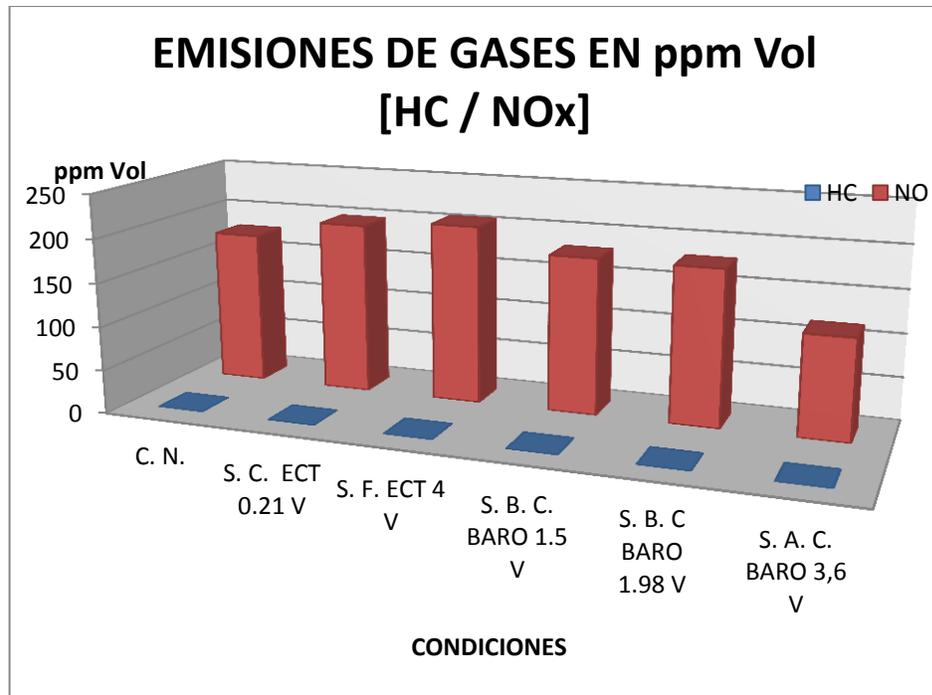
PARAMETROS			GASES DE ESCAPE						
ESTADO	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NOx [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]	
C. N.	53	730	0,03	0	177	18,8	1,8	1,377	
S. C. ECT 0.21 V	80	820	0,02	0	198	19,4	1,6	1,708	
S. F. ECT 4 V	69	930	0,03	0	206	19,1	1,9	1,483	
S. B. C. BARO 1.5 V	63	750	0,02	0	180	18,6	1,7	1,480	
S. B. C BARO 1.98 V	68	770	0,02	0	179	18,5	1,7	1,472	
S. A. C. BARO 3,6 V	75	1050	0,02	0	116	17,9	2,2	0,817	

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga



**Figura 125. HC y NOx en ppm, diésel, con catalizador, a ralentí.**

En este caso se observó una evidente variación respecto a las medidas realizadas en el motor a gasolina (en las mismas condiciones) debido a que existió mayor producción de NOx ya que se tiene una mezcla pobre ( $\lambda > 1$ ) por ende se tiene exceso de aire. Los valores que sobrepasan la norma en cuanto a NOx son los que se realizó en la medición simulado baja carga MAF 1.5 V con un resultado de 220 ppm vol lo cual indica un aumento del 7 % de acuerdo a la norma, y cuando se realizó en la medición simulado alta carga MAF 2.6 V con un resultado de 230 ppm vol lo cual indica un aumento del 14% de NOx aproximadamente de acuerdo a la norma. En este caso no se obtuvo evidencia de HC.

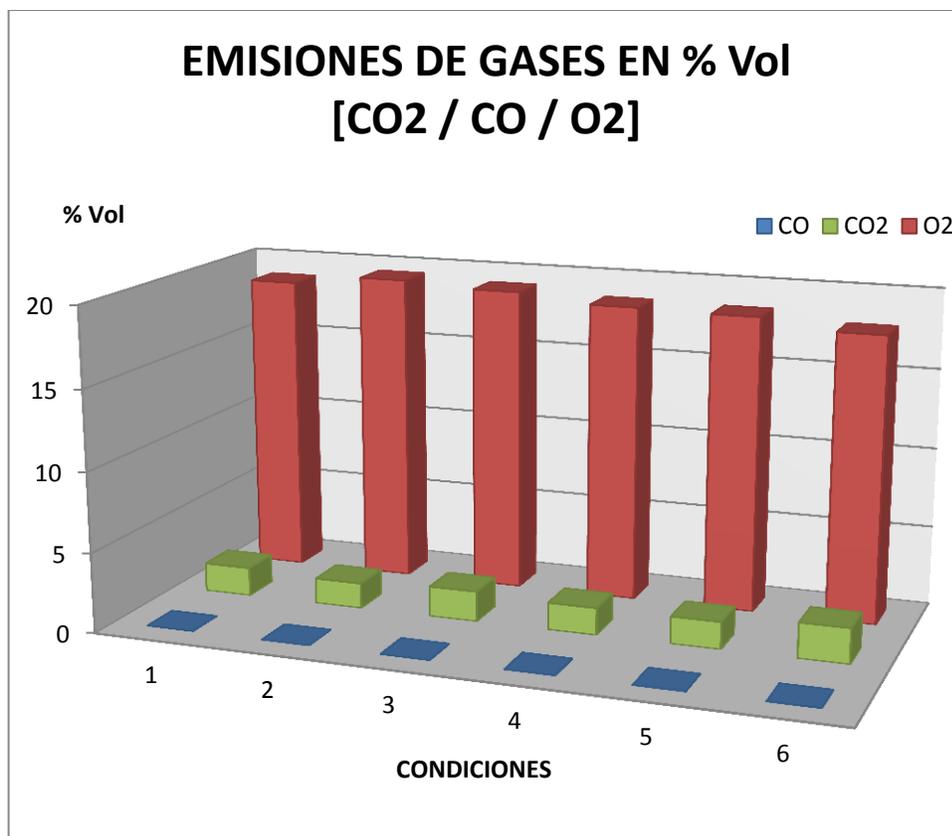


Figura 126. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, con catalizador, a ralentí

Al igual que el caso anterior se pudo evidenciar la presencia de aire en exceso por lo que afecto a la variación de otros parámetros, se pudo medir un aumento de aire en casi el 250% en relación a lo que establece la norma.

- Régimen de 2000 rpm

Tabla 26

Medición en diesel a 2000 rpm con el uso de catalizador.

PARAMETROS			GASES DE ESCAPE					
ESTADO	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NOx [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	51	2010	0,03	0	187	18,1	1,9	
S. C. ECT 0.21 V	81	2090	0,02	0	215	18,6	1,6	
S. F. ECT 4 V	66	2050	0,04	0	184	18,2	1,7	
S. B. C. BARO 1.5 V	61	2050	0,02	0	187	18,5	1,7	
S. B. C BARO 1.98 V	67	2030	0,02	0	181	18,5	1,7	
S. A. C. BARO 3,6 V	74	1970	0,02	0	119	17,8	2,2	

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

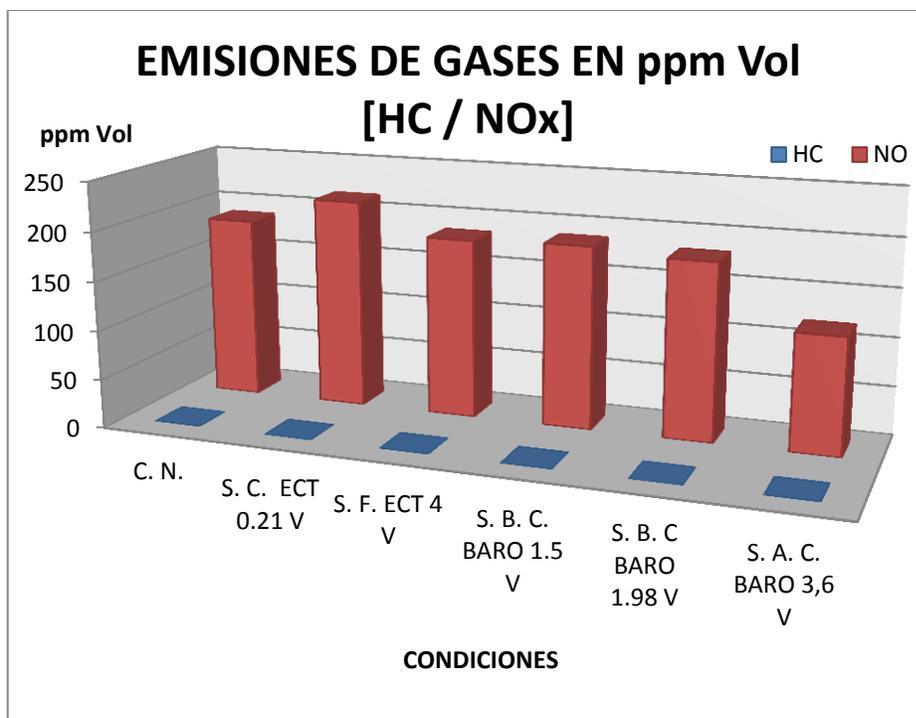


Figura 127. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador, a 2000 rpm.

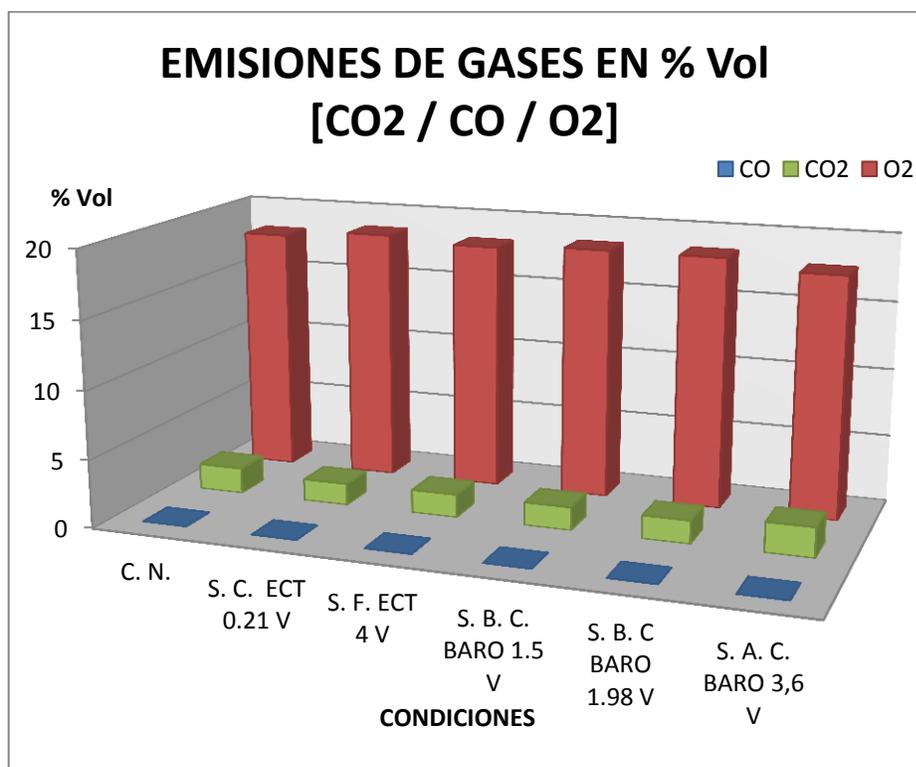


Figura 128. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, con catalizador, a 2000 rpm

- Régimen 3000

Tabla 27

Medición en diesel a 3000 rpm con el uso de catalizador.

CONDICIONES	PARAMETROS		GASES DE ESCAPE					
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NOx [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	53	3010	0,08	6	191	18,5	2,6	
S. C. ECT 0.21 V	72	3010	0,05	0	230	18,6	2,6	
S. F. ECT 4 V	65	2960	0,03	0	185	18,6	1,6	
S. B. C. BARO 1.5 V	58	2990	0,03	0	125	17,8	1,3	
S. B. C. BARO 1.98 V	63	3020	0,02	0	184	18,5	2,2	
S. A. C. BARO 3,6 V	69	3020	0,07	0	115	17,6	3,0	

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

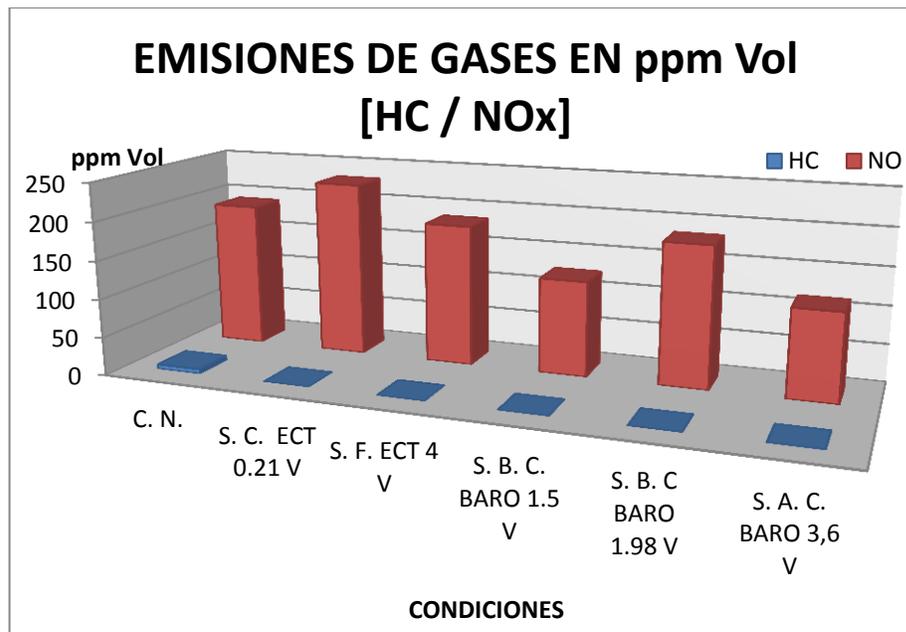
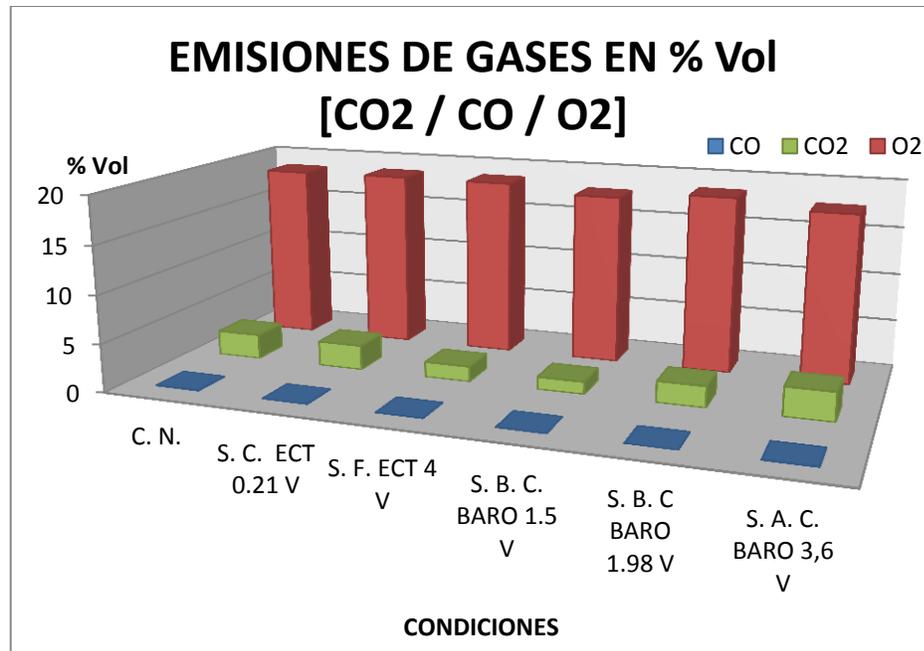


Figura 129. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador, a 3000 rpm.



**Figura 130. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, con catalizador, a 3000 rpm**

#### 4.2.4 Mediciones con catalizador de oxidación

En este caso, se implementó el catalizador de 2 vías en el vehículo diésel mediante las sujeciones en las bridas mencionadas anteriormente, con los empaques respectivos y se realizó una prueba para verificar si existe alguna fuga.



**Figura 131. Catalizador diésel**

- Régimen de ralentí

**Tabla 28**

**Medición en diesel a ralentí con el uso de catalizador 2.**

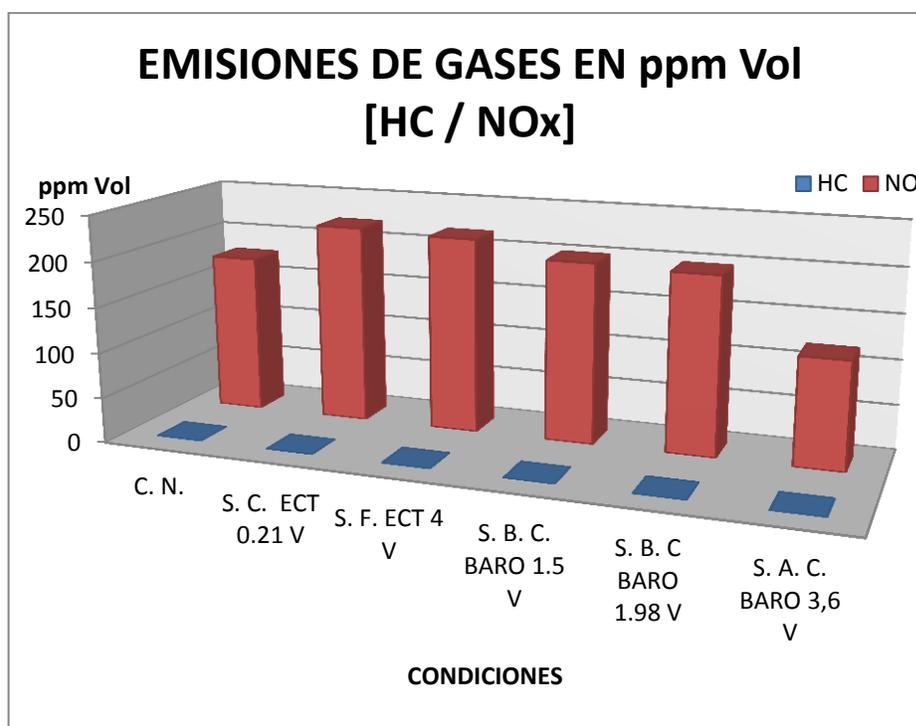
ESTADO	PARAMETROS			GASES DE ESCAPE				
	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NOx [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	61	710	0,02	0	177	18,5	1,8	
S. C. ECT 0.21 V	68	770	0,02	0	221	18,3	1,8	
S. F. ECT 4 V	52	950	0,04	0	217	17,4	2,4	
S. B. C. BARO 1.5 V	62	749	0,02	0	200	18,4	1,9	
S. B. C BARO 1.98 V	67	780	0,02	0	197	18,2	1,5	
S. A. C. BARO 3,6 V	69	1020	0,02	0	119	17,2	2,6	

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga



**Figura 132. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador 2, a ralentí**

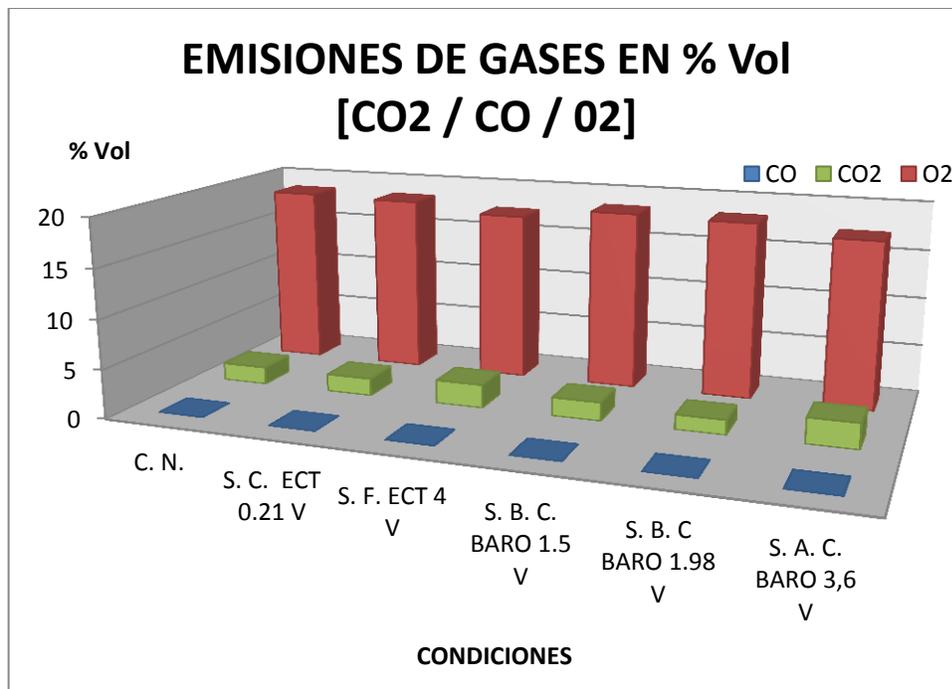


Figura 133. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, con catalizador, a ralentí

- Régimen de 2000 rpm

Tabla 29

**Medición en diesel a 2000 rpm con el uso de catalizador 2.**

PARAMETROS			GASES DE ESCAPE					λ
ESTADO	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	
C. N.	69	2010	0,02	0	216	18,3	1,8	
S. C. ECT 0.21 V	69	2110	0,02	0	218	18,3	1,8	
S. F. ECT 4 V	50	2070	0,17	15	193	17,3	2,5	
S. B. C. BARO 1.5 V	61	2060	0,02	0	180	18,1	1,7	
S. B. C. BARO 1.98 V	74	2065	0,03	0	187	18,4	1,9	
S. A. C. BARO 3,6 V	72	1993	0,06	2	123	17,8	2,9	

**GLOSARIO:**

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

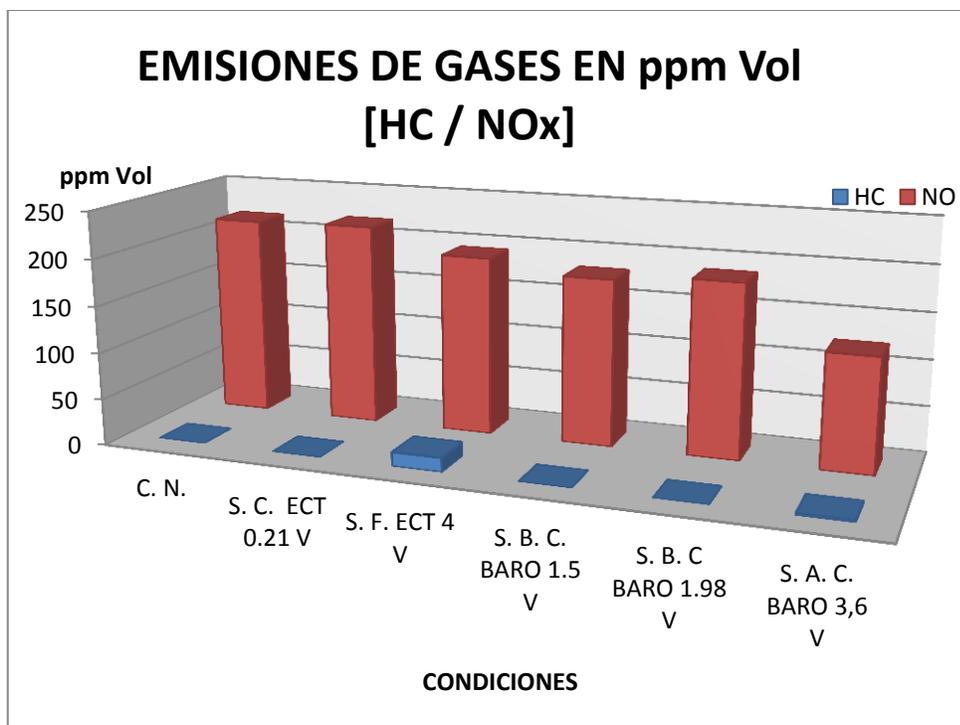


Figura 134. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador 2, a 2000 rpm

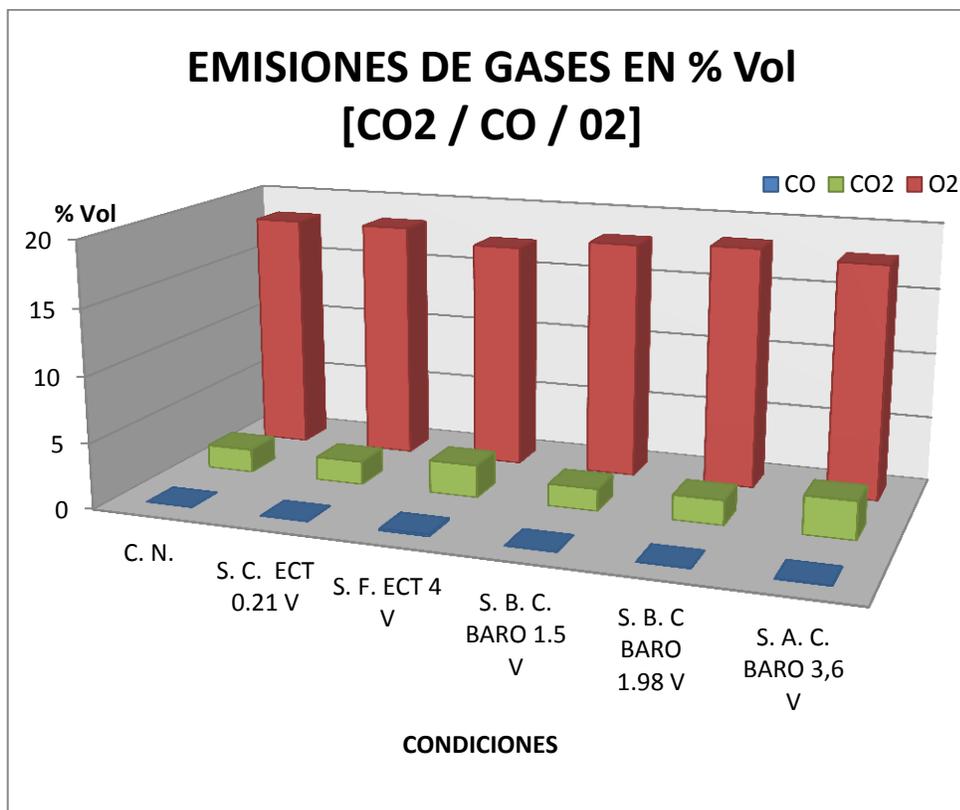


Figura 135. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, con catalizador, a 2000 rpm

- Régimen de 3000 rpm

Tabla 30

Medición en diesel a un 3000 rpm con el uso de catalizador 2.

PARAMETROS			GASES DE ESCAPE					
ESTADO	TEMP. [°C]	REV [RPM]	CO [%Vol]	HC [ppmVol]	NO [ppmVol]	O <sub>2</sub> [%Vol]	CO <sub>2</sub> [%Vol]	Λ [-]
C. N.	64	2960	0,11	13	181	17,6	2,8	-
S. C. ECT 0.21 V	60	3030	0,07	5	221	18,4	2,7	-
S. F. ECT 4 V	49	3020	0,18	0	157	17,5	2,2	-
S. B. C. BARO 1.5 V	63	3043	0,15	0	189	18,6	2,6	-
S. B. C BARO 1.98 V	69	3087	0,08	0	178	18,4	2,0	-
S. A. C. BARO 3,6 V	79	3029	0,06	4	134	17,9	2,3	-

GLOSARIO:

C.N. = Condiciones Normales  
S.F. = Simulado Frío

S.C. = Simulado Caliente  
S.B.C. = Simulado Baja Carga

S.A.C. = Simulado Alta Carga

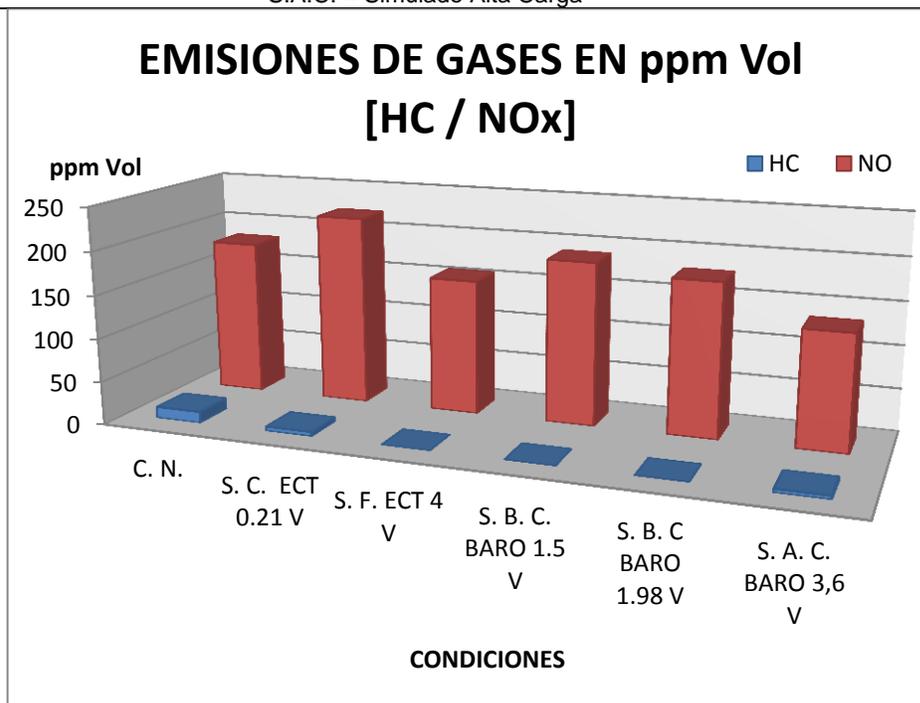


Figura 136. HC y NOx en ppm, diesel, con catalizador 2, a 3000 rpm

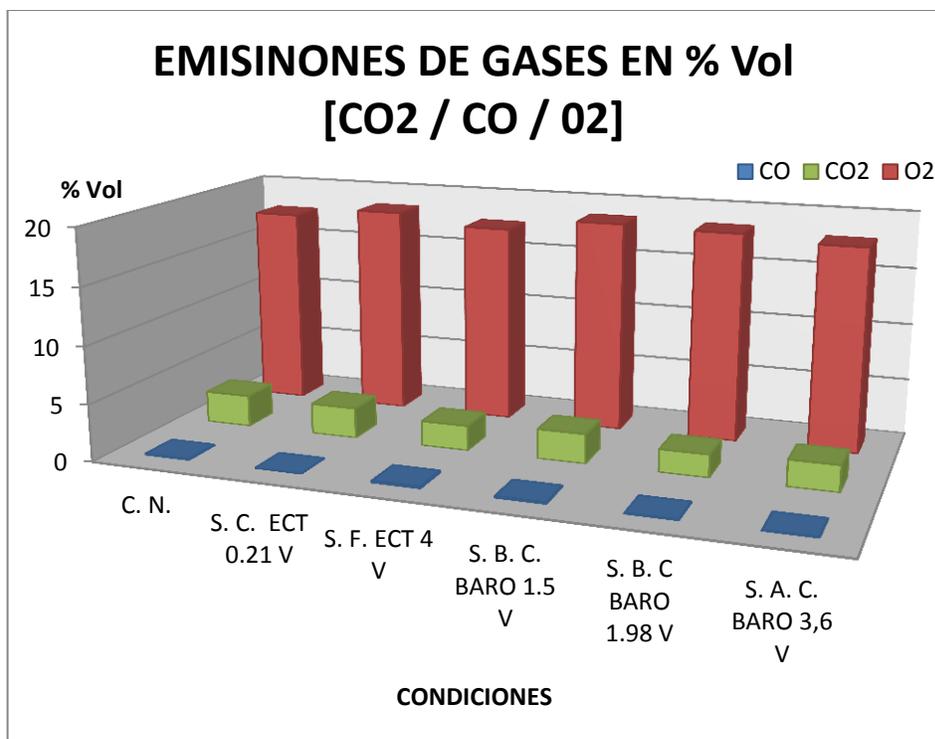


Figura 137. CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en %Vol, diesel, con catalizador, a 2000 rpm

### 4.3 Evaluación de la actividad catalítica

Se realizó el monitoreo del funcionamiento de cada catalizador tomando en cuenta la actividad que realizó cada uno de estos en los vehículos de prueba.

#### 4.3.1 Eficiencia del convertidor catalítico

La acción del catalizador establece el porcentaje de conversión en los componentes de gases contaminantes. A partir de las diferentes mediciones realizadas se establece que:

**Ecuación 11.** Eficiencia de los gases de escape

$$EF_{G.E} = \frac{\text{gases escape SC} - \text{gases escape CC}}{\text{gases escape SC}} * 100\%$$

Donde:

**EF<sub>GE</sub>**: Eficiencia del convertidor catalítico respecto a los gases de escape  
(CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC)

**SC**: Sin Catalizador

**CC**: Con Catalizador

La actividad de conversión del catalizador es mayor sobre el CO y HC, pudiéndose establecer además que, en comparación con vehículos expuestos provistos de sistemas de gases de escape, la inclusión de convertidores catalíticos conduce a una disminución en las emisiones contaminantes.

Los valores obtenidos coinciden con resultados reportados en fuentes bibliográficas, donde se marcan diferencias significativas entre las emisiones de un motor sin catalizador con los sistemas con catalizador diferentes

#### 4.3.2 Análisis en el vehículo gasolina

**Tabla 31**  
**Monitoreo de catalizadores en gasolina en ppm Vol**

	HC [ppm Vol]			NOx [ppm Vol]		
	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm
<b>SIN CAT</b>	654	137	127	42	229	175
<b>CAT 2 vías</b>	74	75	46	0	119	288
<b>CAT 3 vías</b>	187	34	38	0	0	0

- Eficiencia del catalizador de dos vías para HC**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = \frac{654 - 74}{654} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = 88,68 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para HC**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = \frac{654 - 187}{654} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = 71,4 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de dos vías para NOx**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{229 - 119}{229} \cdot 100$$

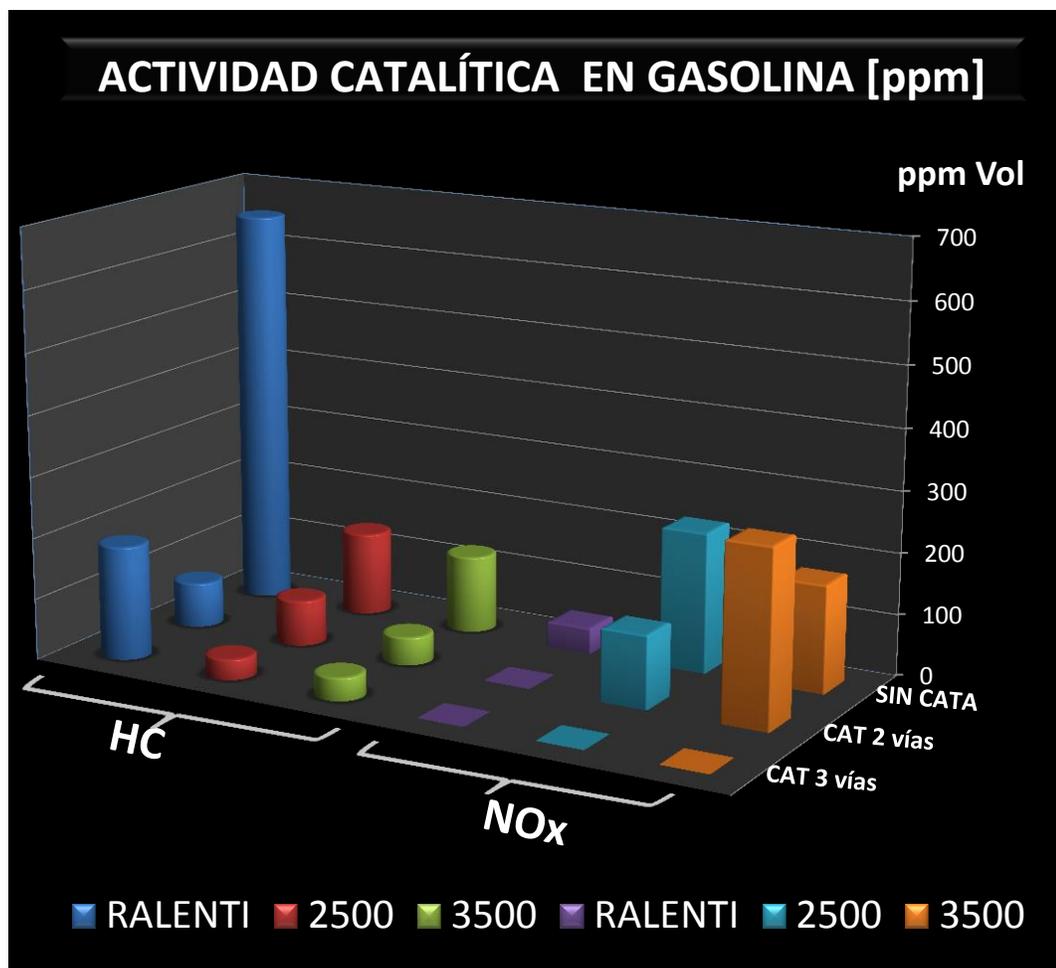
$$EF_{NOx} = 48 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para NOx**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{229 - 0}{229} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = 100 \%$$



**Figura 138. Actividad catalítica en gasolina ppm**

En el gráfico se puede ver la variación de HC y NOx en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, los hidrocarburos marcan 654 ppm en ralentí, con catalizador de 2 vías los HC disminuyen a 74 ppm lo cual significa una reducción del 88,68 % de hidrocarburos no combustionados; por otro lado, se puede evidenciar una disminución de los NOx siendo ésta en régimen de 2500 rpm teniendo como resultados 229 ppm sin catalizador, y 119 ppm con catalizador de dos vías, lo cual significa una reducción del 48% de NOx; lo que nos indica que la actividad de conversión del catalizador de dos vías es mayor sobre los HC. Respecto al catalizador de tres vías, hubo una reducción del 100% de NOx por ende una eficiencia de catalizador de 100% en régimen de ralentí, 2500 y 3000 rpm.

**Tabla 32**  
**Monitoreo de catalizadores en gasolina en % Vol**

	CO2 [% Vol]			CO [% Vol]		
	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm
SIN CAT	14,7	14,7	14,8	0,9	0,78	0,81
CAT 2 vías	14,6	14,3	14,5	0,05	0,21	0,1
CAT 3 vías	12,5	13,3	13,3	0,03	0,01	0

- **Eficiencia del catalizador de dos vías para CO**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = \frac{0,9 - 0,05}{0,9} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = 94,44 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para CO**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = \frac{0,9 - 0,03}{0,9} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = 96,66 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de dos vías para CO2**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO2} = \frac{14,7 - 14,6}{14,7} \cdot 100$$

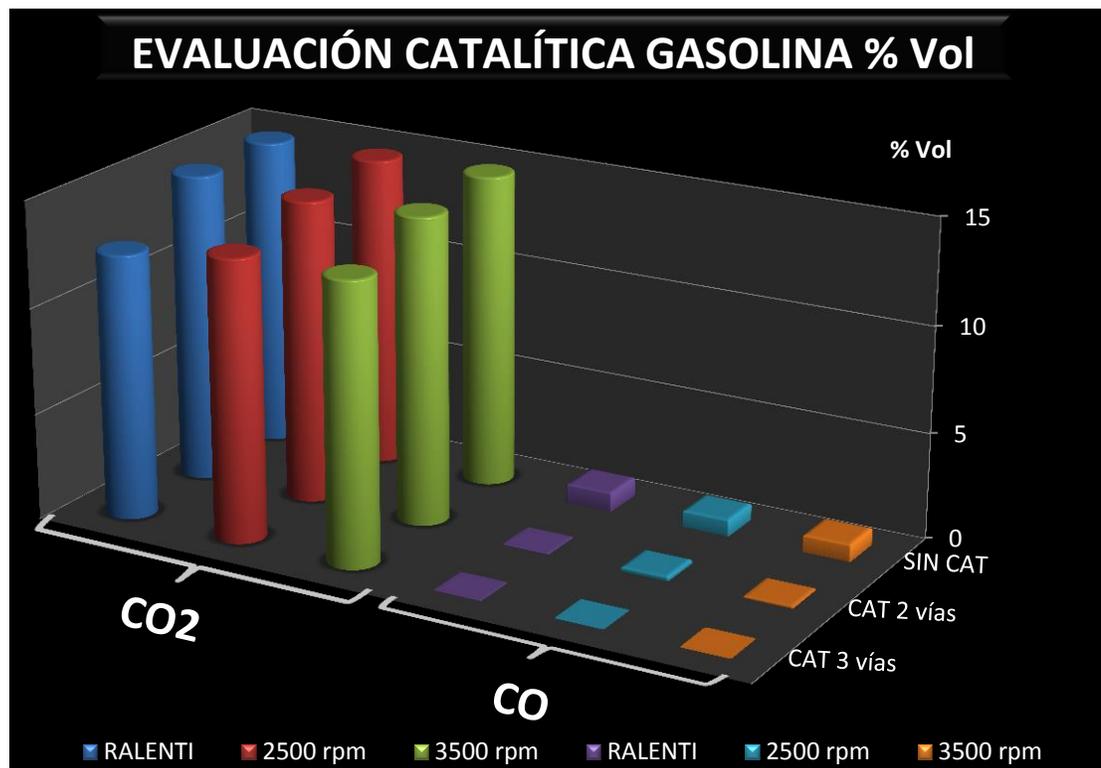
$$EF_{CO2} = 0,68 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para CO2**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = \frac{14,7 - 12,5}{14,7} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = 14,96 \%$$



**Figura 139. Actividad catalítica en gasolina % Vol**

En el gráfico se puede ver la variación de CO2 y CO en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, Los CO2 marcan 14,7 % Vol en ralentí, mientras que con catalizador de 2 vías los CO2 marcan 14,6 % Vol lo que representa una disminución del 0,68 %; por otro lado se puede evidenciar una disminución de CO considerable teniendo, sin catalizador, el CO marca 0,9 % Vol en ralentí, mientras que con catalizador de 2 vías marca 0,05 % Vol lo que representa una disminución del 94,44 %; lo que

nos indica que la actividad de conversión del catalizador de dos vías es mayor sobre el CO.

- **Análisis con simulación alta carga MAP 2.3 V**

**Tabla 33**

**Monitoreo de catalizadores en gasolina en ppm Vol**

	HC [ppm Vol]			NOx [ppm Vol]		
	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm
<b>SIN CAT</b>	696	670	642	44	45	46
<b>CAT 2 vías</b>	1605	1184	1203	14	30	32
<b>CAT 3 vías</b>	151	826	1268	0	0	19

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para HC**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = \frac{696 - 151}{696} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = 78,30 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de dos vías para NOx**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{44 - 14}{44} \cdot 100$$

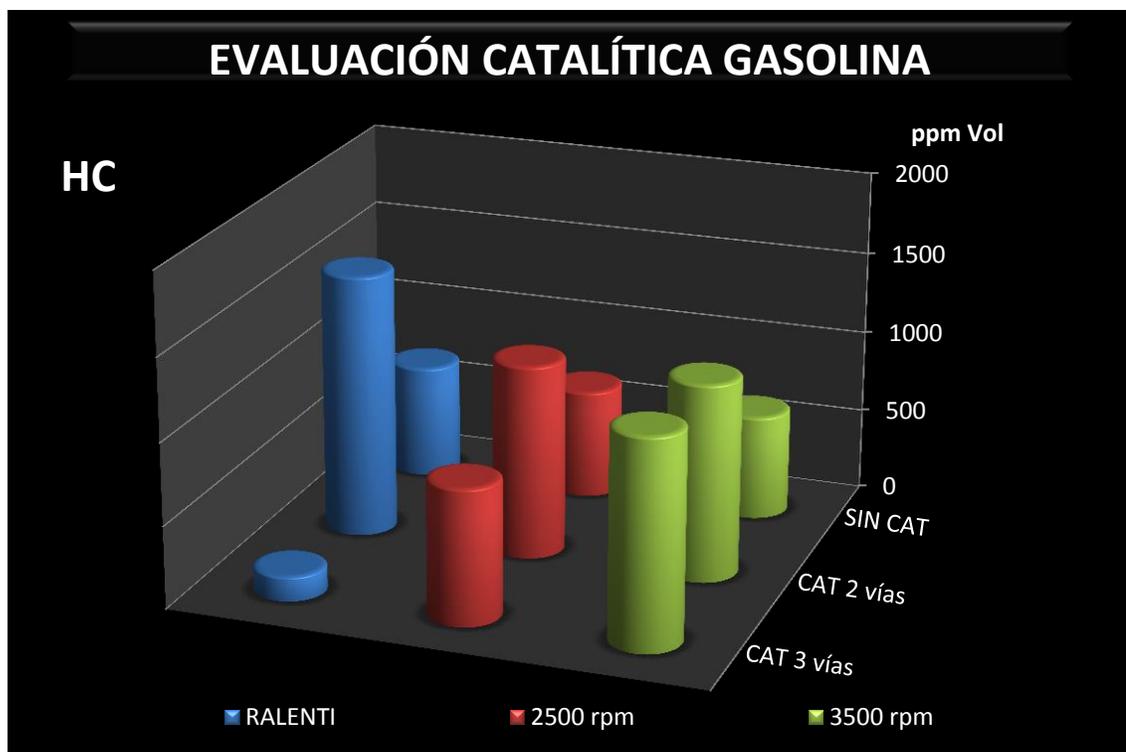
$$EF_{NOx} = 68,18 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para NOx**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

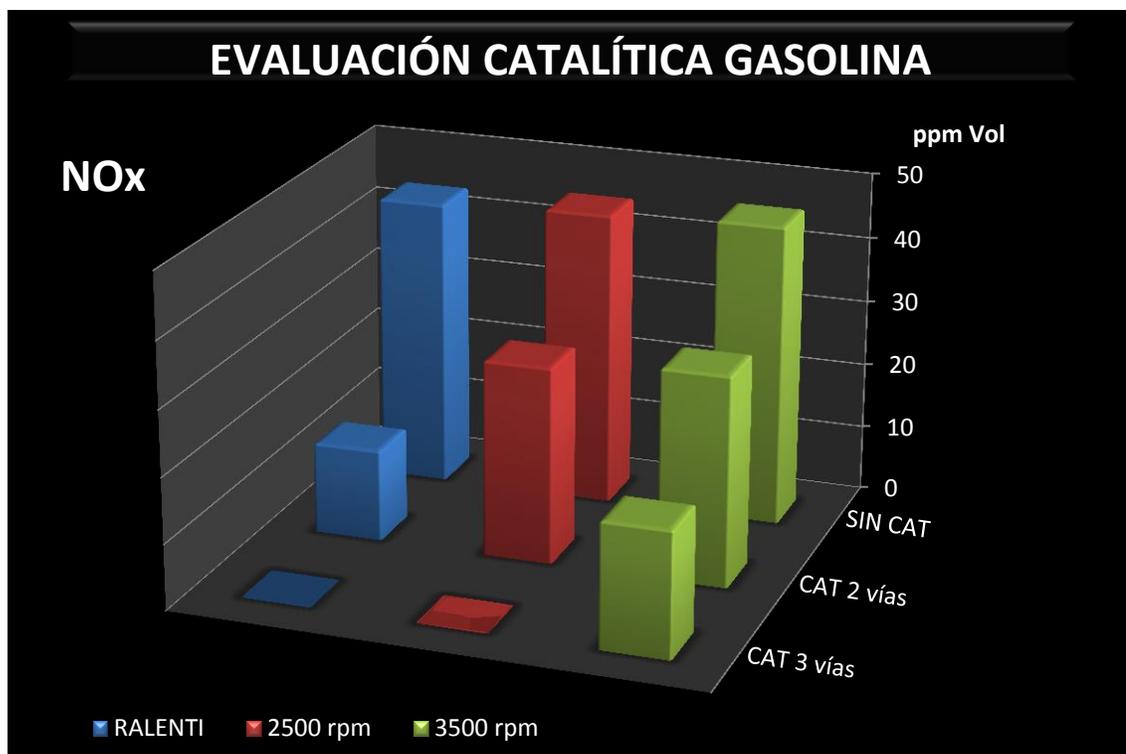
$$EF_{NOx} = \frac{44 - 0}{44} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = 100 \%$$



**Figura 140. Actividad catalítica en gasolina HC ppm**

Sin catalizador, los hidrocarburos marcan 696 ppm en ralentí, con catalizador de 3 vías los HC disminuyen a 151 ppm lo cual significa una reducción del 78,30 % de hidrocarburos no combustionados.



**Figura 141. Actividad catalítica en gasolina HC ppm**

Se puede evidenciar una disminución de los NOx siendo ésta en régimen de ralentí, 2500 y 3500 rpm teniendo como resultados 44 ppm sin catalizador, y 14 ppm con catalizador de dos vías, lo cual significa una reducción del 68,18% de NOx; Respecto al catalizador de tres vías, hubo una reducción del 100% de NOx por ende una eficiencia de catalizador de 100% en régimen de ralentí y 2500 rpm; por otro lado a régimen de 3500 rpm el catalizador de 3 vías presenta una eficiencia del 58,7%.

**Tabla 34**  
**Monitoreo de catalizadores en gasolina en % Vol**

	CO2			CO		
	[% Vol]			[% Vol]		
	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm
<b>SIN CAT</b>	13,1	13	13,1	7,86	0,85	0,92
<b>CAT 2 vías</b>	9	10	10	7,54	5,43	5,94
<b>CAT 3 vías</b>	14,5	11,4	10,8	0,04	4,35	6,23

- **Eficiencia del catalizador de dos vías para CO2 (ralentí)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = \frac{13,1 - 9}{13,1} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = 31,29 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para CO2 (3500 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = \frac{13,1 - 10,8}{13,1} \cdot 100$$

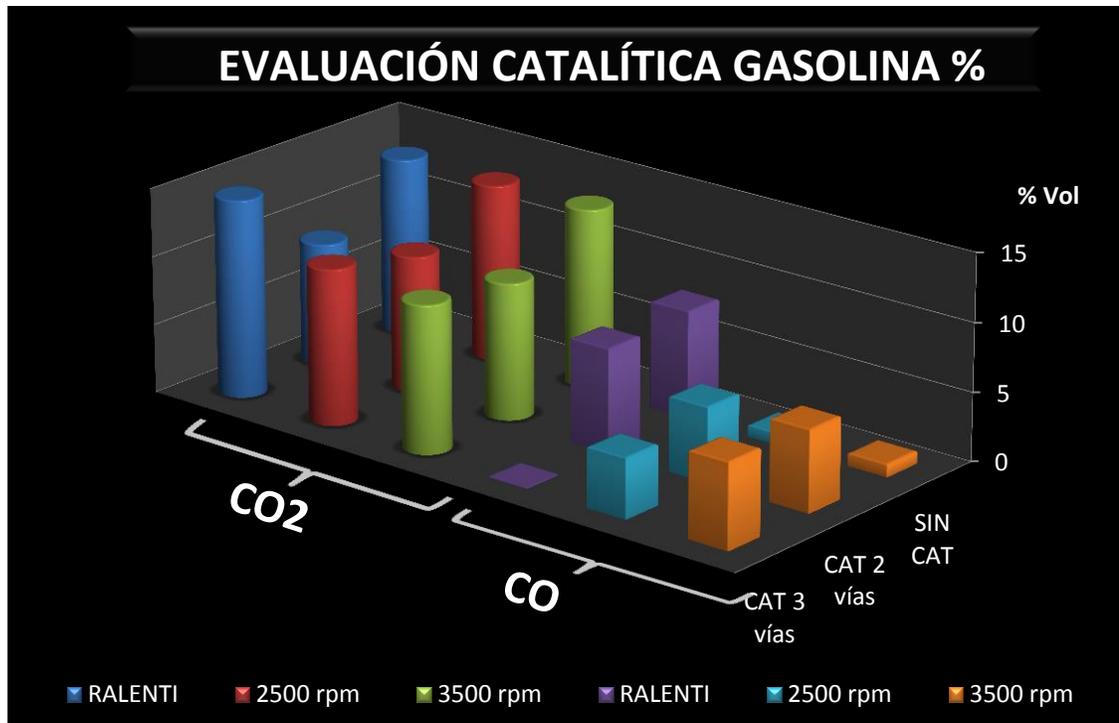
$$EF_{CO_2} = 17,55 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de dos vías para CO (ralentí)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = \frac{7,86 - 7,54}{7,86} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = 4,07 \%$$



**Figura 142. Actividad catalítica en gasolina % Vol**

En el gráfico se puede ver la variación de CO<sub>2</sub> y CO en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, Los CO<sub>2</sub> marcan 13,1 % Vol en ralentí, mientras que con catalizador de 2 vías los CO<sub>2</sub> marcan 9 % Vol lo que representa una disminución del 31,29 %; por otro lado se puede evidenciar una disminución de CO solo en régimen de ralentí, sin catalizador, el CO marca 7,86 % Vol en ralentí, mientras que con catalizador de 2 vías marca 7,54 % Vol lo que representa una disminución del 4,07 %, lo que nos indica que la actividad catalítica en este caso no es muy eficiente debido a que se generó el cambio en las condiciones.

### 4.3.3 Análisis en el vehículo diésel

- Análisis en condiciones normales

Tabla 35

Monitoreo de catalizadores en diésel en ppm Vol

	HC [ppm Vol]			NOx [ppm Vol]		
	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm	RALENTI	2500 rpm	3500 rpm
	SIN CAT	0	0	0	156	68
CAT 1	0	0	6	177	187	191
CAT 2	0	0	13	177	216	181

- Eficiencia del catalizador de dos vías para HC

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = \frac{654 - 74}{654} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = 88,68 \%$$

- Eficiencia del catalizador de tres vías para HC

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = \frac{654 - 187}{654} \cdot 100$$

$$EF_{HC} = 71,4 \%$$

- Eficiencia del catalizador de dos vías para NOx

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{229 - 119}{229} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = 48 \%$$

- **Eficiencia del catalizador de tres vías para NOx**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{229 - 0}{229} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = 100 \%$$

**Tabla 36**

**Monitoreo de catalizadores en diésel en % Vol**

	CO2 [% Vol]			CO [% Vol]		
	RALENTI	2000 rpm	3000 rpm	RALENTI	2000 rpm	3000 rpm
<b>SIN CAT</b>	1,8	1,8	2,8	0,02	0,02	0,11
<b>CAT 1</b>	1,8	1,7	2,6	0,03	0,04	0,08
<b>CAT 2</b>	1,5	1,4	2,2	0,02	0,01	0,07

- **Eficiencia del catalizador 1 para CO2 (3000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO2} = \frac{2,8 - 2,6}{2,8} \cdot 100$$

$$EF_{CO2} = 7,14 \%$$

- **Eficiencia del catalizador 3 para CO2 (3000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO2} = \frac{2,8 - 2,2}{2,8} \cdot 100$$

$$EF_{CO2} = 21,42 \%$$

- Eficiencia del catalizador 2 para CO (3000 rpm)

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = \frac{0,11 - 0,08}{0,11} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = 27,27 \%$$

- Eficiencia del catalizador 3 para CO (3000 rpm)

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = \frac{0,11 - 0,07}{0,11} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = 36,36 \%$$

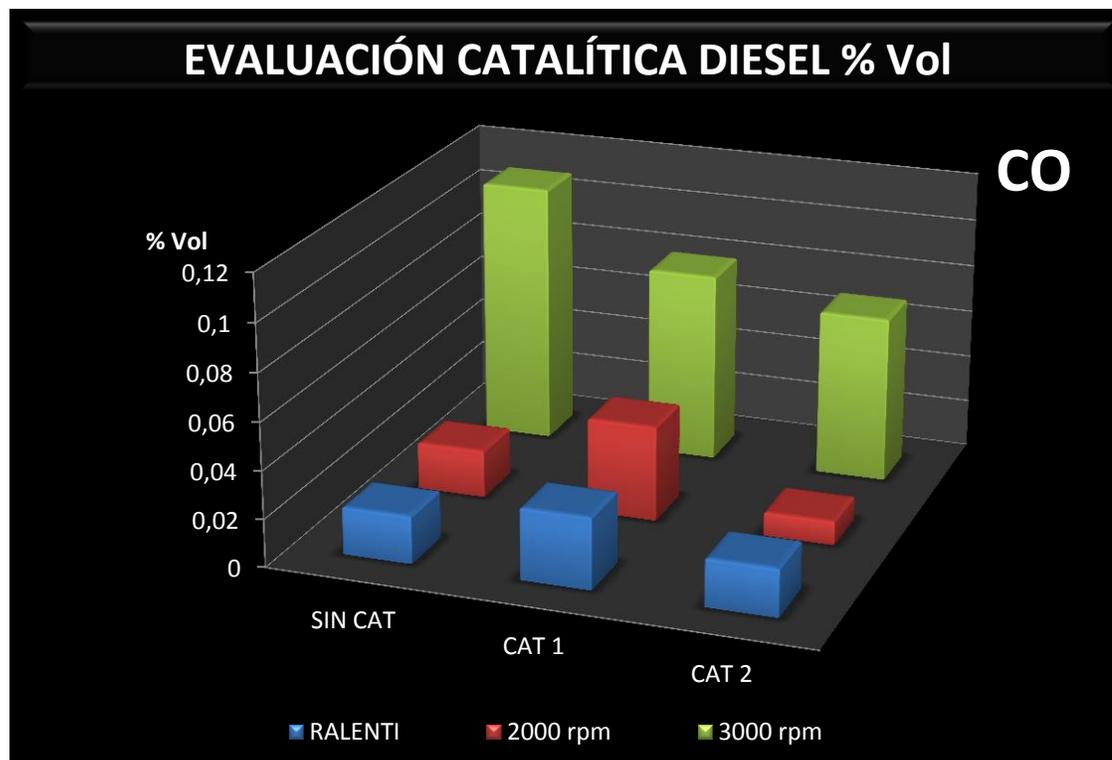
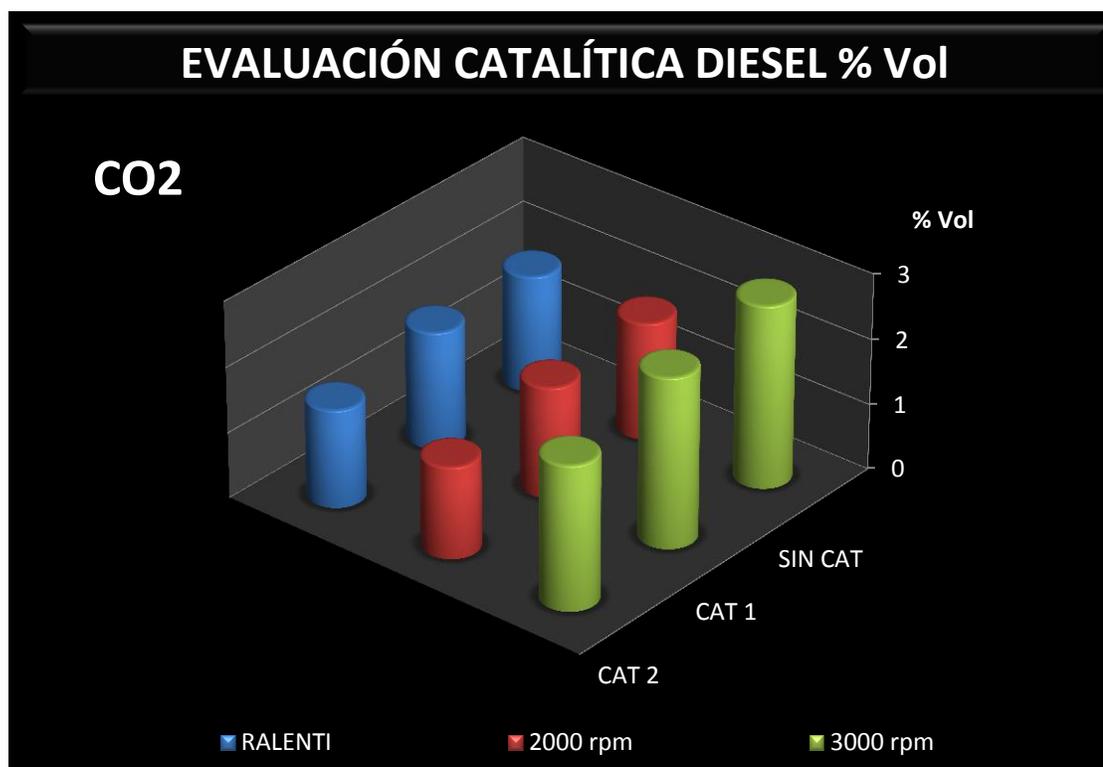


Figura 143. Actividad catalítica en diésel CO % Vol

En el gráfico se puede ver la variación de CO en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, el CO marca 0,11 % Vol en 3000 rpm, mientras que con catalizador 1 marca 0,08 % Vol lo que representa una disminución del 27,27 %, por otro lado en el régimen de ralentí y 2000 rpm la actividad catalítica no es muy eficiente.



**Figura 144. Actividad catalítica en diésel CO2 % Vol**

En el gráfico se puede ver la variación de CO2 en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, Los CO2 marcan 2,8 % Vol en 3000 rpm, mientras que con catalizador 1 los CO2 marcan 2,6 % Vol lo que representa una disminución del 7,14 %; por otro lado con catalizador 2 los CO2 marcan 2,2 % Vol lo que representa una disminución del 21,42 %.

- **Análisis condición simulado baja carga BARO 1,5 V**

**Tabla 37**

**Monitoreo de catalizadores en diésel en ppm Vol**

	HC [ppm Vol]			NOx [ppm Vol]		
	RALENTI	2000 rpm	3000 rpm	RALENTI	2000 rpm	3000 rpm
<b>SIN CAT</b>	0	0	0	197	211	126
<b>CAT 1</b>	0	0	0	180	187	125
<b>CAT 2</b>	0	0	0	200	180	189

- **Eficiencia del catalizador 1 para NOx (2000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{211 - 187}{211} \cdot 100$$

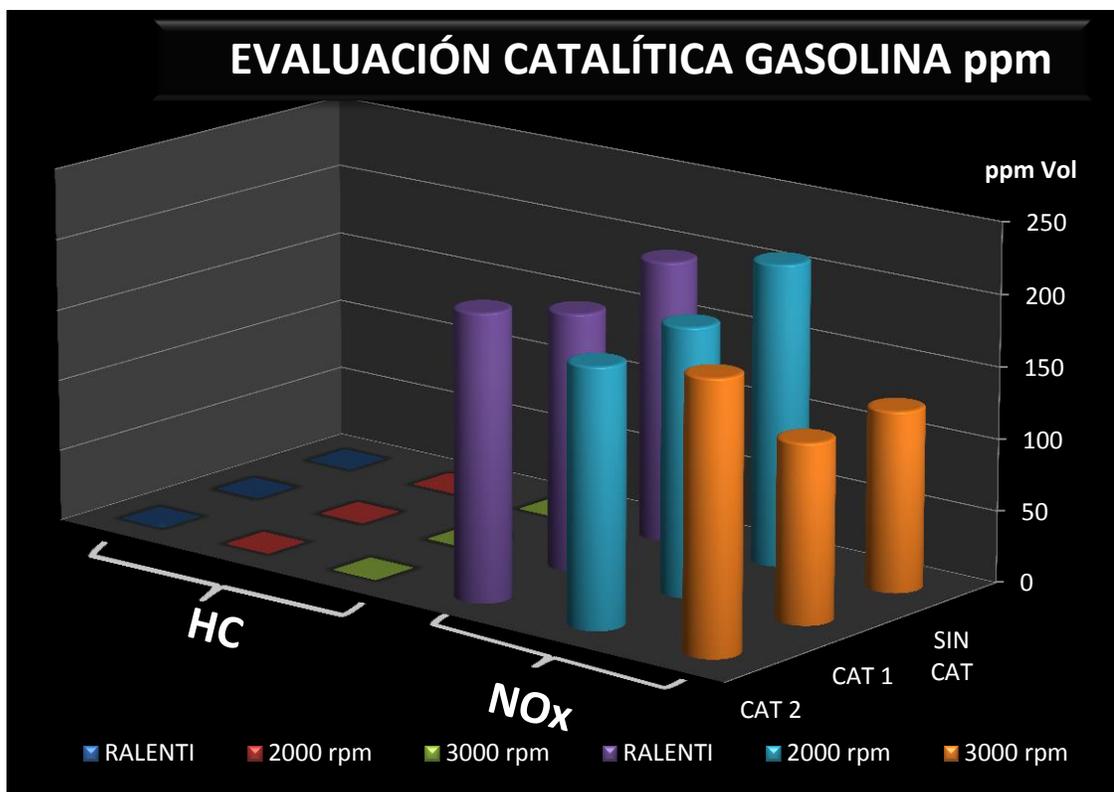
$$EF_{NOx} = 11,37 \%$$

- **Eficiencia del catalizador 2 para NOx (2000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = \frac{211 - 180}{211} \cdot 100$$

$$EF_{NOx} = 14,69 \%$$



**Figura 145. Actividad catalítica en diésel ppm**

En el gráfico se puede ver la variación de HC y NOx en función del catalizador y el régimen de revolución del motor los hidrocarburos marcan 0 ppm en todas las medidas debido a que los HC se producen por mezclas pobres en oxígeno por lo que dado el caso que en vehículos diésel existe oxígeno en exceso los residuos de HC no combustionados desaparecen en su totalidad; por otro lado, se puede evidenciar una disminución de los NOx siendo ésta en régimen de 2500 rpm teniendo como resultados 211 ppm sin catalizador, y 187 ppm con catalizador 1, lo cual significa una reducción del 11,37% de NOx. Respecto al catalizador de tres vías, hubo una reducción proporcional, teniendo como resultados 180 ppm con catalizador 2, lo cual significa una reducción del 14,69% de NOx.

**Tabla 38**  
**Monitoreo de catalizadores en diésel en % Vol**

	CO2			CO		
	[% Vol]			[% Vol]		
	RALENTI	2000 rpm	3000 rpm	RALENTI	2000 rpm	3000 rpm
SIN CAT	1,9	1,7	2,6	0,02	0,02	0,15
CAT 1	1,7	1,7	1,3	0,02	0,02	0,03
CAT 2	1,5	1,6	1,2	0,02	0,02	0,01

- **Eficiencia del catalizador 1 para CO2 (3000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = \frac{2,6 - 1,3}{2,6} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = 50 \%$$

- **Eficiencia del catalizador 2 para CO2 (3000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = \frac{2,6 - 1,2}{2,6} \cdot 100$$

$$EF_{CO_2} = 53,84 \%$$

- **Eficiencia del catalizador 1 para CO (3000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = \frac{0,15 - 0,03}{0,15} \cdot 100$$

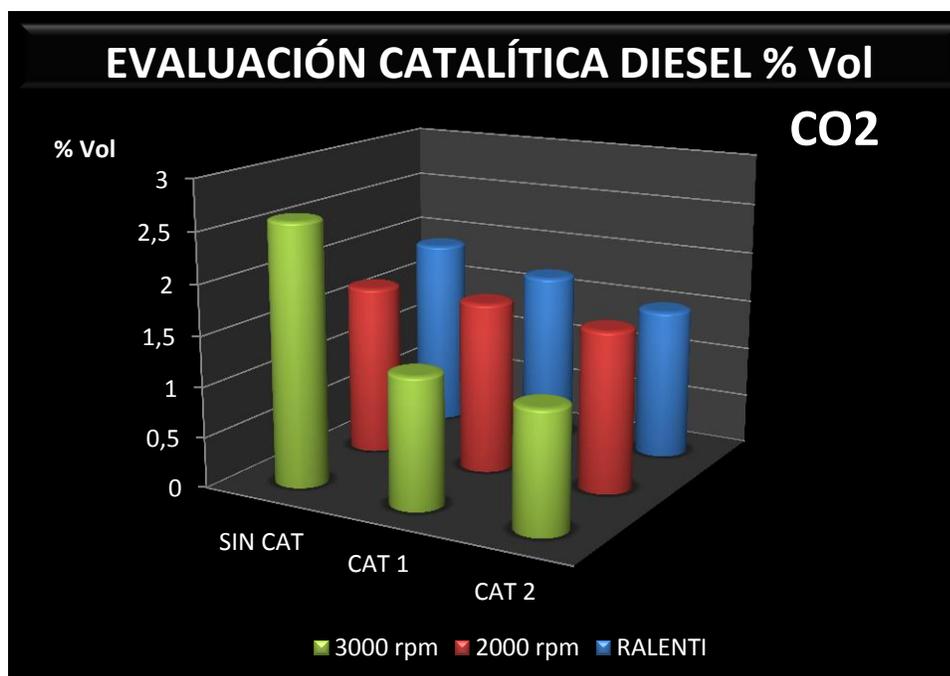
$$EF_{CO} = 80 \%$$

- **Eficiencia del catalizador 2 para CO (3000 rpm)**

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

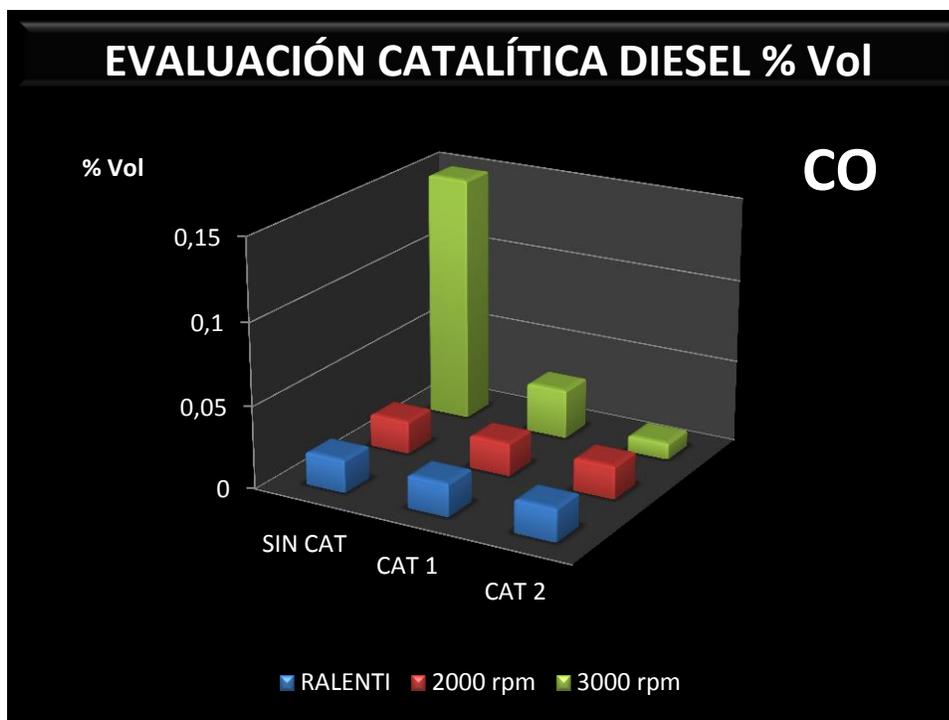
$$EF_{CO} = \frac{0,15 - 0,01}{0,15} \cdot 100$$

$$EF_{CO} = 93,33 \%$$



**Figura 146. Actividad catalítica en diésel CO2 % Vol**

En el gráfico se puede ver la variación de CO2 en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, Los CO2 marcan 2,6 % Vol en 3000 rpm, mientras que con catalizador 1 los CO2 marcan 1,3 % Vol lo que representa una disminución del 50 %; por otro lado con catalizador 2 los CO2 marcan 1,2 % Vol lo que representa una disminución del 53,84 %.



**Figura 147. Actividad catalítica en diésel CO % Vol**

En el gráfico se puede ver la variación de CO en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, el CO marca 0,15 % Vol en 3000 rpm, mientras que con catalizador 1 marca 0,03 % Vol lo que representa una disminución del 80 %, por otro lado en el catalizador 2 el CO marca 0,01 % Vol lo que representa una disminución del 93,33 %

## CAPÍTULO V

### MARCO ADMINISTRATIVO

Para la elaboración del presente proyecto de graduación en forma sistemática y ordenada se detalla los tipos de recursos utilizados, tanto como son: humanos, tecnológicos y materiales.

#### 5.1 Recursos utilizados

##### 5.1.1 Recursos humanos

Son los colaboradores que intervienen en la realización de este proyecto de graduación.

**Cuadro 1. Recursos humanos**

Nombres	Función
Ing. Leonidas Quiroz	Director de proyecto
Ing. Danilo Zambrano	Director de carrera
Ing. German Erazo	Oponente
Sr. Gen Rivadeneira	Autor del proyecto
Sr. Alex Toasa	Autor del proyecto

##### 5.1.2 Recursos tecnológicos

Como elementos necesarios para el análisis y elaboración del proyecto se tiene:

**Cuadro 2. Recursos tecnológicos**

Número	Función
1	Scanner Automotriz Delphi AUTOCOM
2	Osciloscopio OTC
3	Multímetro digital
4	Analizador de gases Brain Bee AGS - 688
5	Internet

### 5.1.3 Recursos materiales

Se detalla la cantidad de elementos mecánicos y eléctricos que son necesarios para la elaboración del proyecto de graduación.

- **Materiales mecánicos**

**Cuadro 3. Materiales mecánicos**

<b>Número de elemento</b>	<b>Detalle</b>
1	Juego de llaves
	Proceso de suelda MIC
	Proceso de suelda eléctrica
1	Taladro
5	Catalizadores
1	Tubo redondo de 2"
14	Bridas de escape
8	Empaques de bridas
1	Juego de brocas
25	Electrodos 6011

- **Materiales electrónicos**

**Cuadro 4. Materiales electrónicos**

<b>Número de elementos</b>	<b>Detalle</b>
1	Juego de cables automotrices
2	Potenciómetro de corte 3696W
1	Interfaz USB de comunicación

- **Presupuesto**

Información detallada de los precios, de cada recurso utilizado en la construcción del proyecto.

**Cuadro 5. Presupuesto**

<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO (USD)</b>	<b>VALOR TOTAL (USD)</b>
<b>MATERIALES-EQUIPO</b>			
Catalizador	3	200.00	600.00
Medición de gases de escape	1	800.00	800.00
Mantenimiento del equipo analizador de gases	1	400.00	400.00
Herramientas manuales	1	90.00	90.00
Equipo de seguridad personal	4	60.00	240.00
Combustible de prueba	25 GAL	2.00	50.00
Kit de Filtros para analizador de gases	5	40.00	200.00
<b>SUMINISTROS</b>			
Internet	4 meses	20.00	80.00
Impresiones	1000	0.1500	150.0
Fotocopias	1000	0.020	20.00
Gastos movilización	16	10.00	160.00
Imprevistos	1	100.00	100.00
<b>SUMA TOTAL</b>			<b>\$ 2890.00</b>



## CONCLUSIONES

Al finalizar el trabajo de investigación se concluye que:

- El vehículo, gasolina sin catalizador, no aprobó el test oficial en prueba al mínimo, debido a la emisión de hidrocarburos que supera el límite de 200 ppm establecidos en la norma ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002, es decir, hubo un exceso de HC en un 74,5 % en función a la norma establecida; las mezclas muy pobres con  $\lambda > 1,1$  aumentan los HC debido a que existen encendidos fallidos, mezcla pobre o rica y los valores de hidrocarburos también dependerán de la gestión motor, es decir, en vehículos sin catalizador  $HC \leq 350$  ppm como es en este caso.
- Tomando en cuenta que el vehículo se encuentra sin catalizador y en las condiciones de alta y baja carga se observó que los hidrocarburos se elevaron a 696 y 644 ppm respectivamente lo que indica que sobrepasaron el límite permitido, de 200 ppm, en un 350 % debido a que al variar el voltaje del sensor MAP a 2.3 V (7,5 psi) se produjo una mezcla rica ( $\lambda < 1$ ) (exceso de combustible) al igual que al variar el voltaje del sensor MAP a 0.6 V (3,3 psi) se produjo que la mezcla sea pobre ( $\lambda > 1$ ) (exceso de aire).
- Con el vehículo gasolina a ralentí y sin catalizador los NOx variaron de 42 ppm en condición normal a 376 ppm en condición de simulación de baja carga (MAP a 0,6 V – 3,3 psi), en donde, se pudo observar un incremento del 376 % debido al exceso de oxígeno en esta condición.
- Con el vehículo gasolina a ralentí y sin catalizador los CO, aumentaron desde 0,9 % vol en condición normal hasta 7,86 % vol en la condición de simulación de carga alta con MAP 2,3 V, es decir, debido a que se generó una mezcla rica ( $\lambda < 1$ ), es decir, existe exceso de combustible por lo que la falta de oxígeno provoca una combustión incompleta.
- El vehículo, gasolina con catalizador de dos vías, aprobó el test oficial en prueba al mínimo y acelerado, debido a que las emisiones de HC pasaron de 349 a 188 ppm lo que significó una corrección del 46,13 % por parte del catalizador de dos vías y se encuentran dentro del rango establecido en la

norma ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002, por lo que el catalizador de dos vías mitigó los hidrocarburos no combustionados correctamente.

- El vehículo gasolina con el catalizador de dos vías y en las condiciones de alta carga se observó una variación respecto a las medidas en ralentí ya que los hidrocarburos disminuyeron excepto en el caso de la condición de simulación de alta carga ya que al variar el voltaje del sensor MAP a 2.3 V se produjo que la mezcla sea rica ( $\lambda < 1$ ) (exceso de combustible).
- Con el vehículo gasolina a ralentí y con catalizador de dos vías los HC varían fuera del rango permitido al simular baja carga de motor, manipulando el sensor MAP hasta 0,6 V con un valor de 263 ppm, excediendo de la norma en un 40 %, de igual forma al simular la carga alta del motor, manipulando el sensor MAP hasta 2,3 V lo cual provoca que los HC se disparen hasta el valor de 1600 ppm, excediendo en gran cantidad los límites normativos.
- El vehículo, gasolina con catalizador de tres vías, aprobó el test oficial en prueba al mínimo y acelerado, debido a que las emisiones se encuentran dentro del rango establecido en la norma ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002, por lo que el catalizador de tres vías mitigó los gases de escape y se tuvo una reducción del 53,7 % de hidrocarburos, de igual forma los CO desaparecieron en su totalidad teniendo una reducción del 100%.
- En gasolina, con catalizador de 2 vías, los NOx experimentaron una reducción del 48% respecto a la normativa; lo que nos indica que la actividad de conversión del catalizador de dos vías es mayor sobre los NOx.
- Respecto al catalizador de tres vías, hubo una reducción del 100% de NOx por ende una eficiencia de catalizador de 100% en régimen de ralentí, 2500 y 3000 rpm.
- En gasolina, el catalizador de 2 vías tuvo la máxima eficiencia del 94,4 % en reducción de CO en ralentí.
- En gasolina el catalizador de 3 vías tuvo una eficiencia del 68,8% al disminuir los NOx

- Con el vehículo diesel, a ralentí, con catalizador de dos vías y en la condición simulado baja carga MAF 1.5 V, los valores de NOx midieron 220 ppm vol lo cual indica un aumento del 7 % de acuerdo a la norma, y cuando se realizó en la medición simulado alta carga MAF 2.6 V con un resultado de 230 ppm vol lo cual indica un aumento del 14% de NOx, aproximadamente de acuerdo a la norma. En este caso no se obtuvo evidencia de HC.
- La evaluación catalítica en diesel y la variación de CO en función del catalizador y el régimen de revolución del motor nos indicó que sin catalizador, el CO marca 0,11 % Vol en 3000 rpm, mientras que con catalizador 1 marca 0,08 % Vol lo que representa una disminución del 27,27 %, por otro lado en el régimen de ralentí y 2000 rpm la actividad catalítica no es muy eficiente.
- En la evaluación catalítica, se puede ver la variación de CO<sub>2</sub> en función del catalizador y el régimen de revolución del motor, sin catalizador, Los CO<sub>2</sub> marcan 2,8 % Vol en 3000 rpm, mientras que con catalizador 1 los CO<sub>2</sub> marcan 2,6 % Vol lo que representa una disminución del 7,14 %; por otro lado con catalizador 2 los CO<sub>2</sub> marcan 2,2 % Vol lo que representa una disminución del 21,42 %.
- La actividad catalítica en diesel nos indicó una disminución de los NOx siendo ésta en régimen de 2500 rpm teniendo como resultados 211 ppm sin catalizador, y 187 ppm con catalizador 1, lo cual significa una reducción del 11,37% de NOx. Respecto al catalizador de tres vías, hubo una reducción proporcional, teniendo como resultados 180 ppm con catalizador 2, lo cual significa una reducción del 14,69% de NOx.

## RECOMENDACIONES

Concluida la investigación se recomienda que:

- Para futuras investigaciones se puede implementar SGD-010 una sonda que conectada al analizador AGS-688 GAS ANALYSER, permite analizar los gases presentes de los motores diésel

CO = inferior al 0,1 %vol

HC = inferior a 10 ppmvol

NOx = inferior a 150 ppmvol vehiculos livianos

inferior a 180 ppmvol vehiculos comerciales

CO2 = inferior a 2.5% vol

O2 = inferior a 15% vol

- El analizador de gases BRAIN BEE AGS 688 posee un sistema de alarma el cual se debe tomar muy en cuenta, ya que consiste en que el equipo deja de emitir reportes y se debe realizar la calibración del mismo.

- Para adquirir un catalizador, que cumpla con su objetivo de reducir emisiones de gases contaminantes, se debe tomar en cuenta la cilindrada del vehículo que va hacer instalado.

- Realizar pruebas durante 10 minutos con motor acelerado pero sin carga, el material catalizador se recubrirá de hidrocarburos sin combustionar.

- No permitir que el depósito de gasolina se vacíe, pues da lugar a un suministro irregular del combustible, provocando falsas explosiones y una elevada temperatura del catalizador que puede llegar a deteriorarse más rápido.

- No tener el motor a ralenti durante tiempos largos (más de 15 minutos), el material catalizador se recubrirá de hidrocarburos sin combustionar.

- En los cambios de aceite de los vehículos, no sobrepasar el nivel máximo de aceite en el cárter. No debe prolongarse por mucho tiempo la medición de la compresión del motor, ya que va a existir perdidas de aceite por los empaques y múltiples.

- No debe conducirse el vehículo por terreno accidentado, aunque la pieza está prácticamente escondida entre la plataforma o chasis, el componente puede ser dañado, perdiendo eficiencia.
- En el reemplazo del catalizador, no debe ocurrir el cambio de la posición original del catalizador que generalmente está dispuesta cerca del motor y cuenta con un recubrimiento para darle estabilidad térmica y también preservar a los otros elementos del vehículo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(AEADE), A. d. (2014). *Anuario 2014*. Quito.

Augeri, F. (12 de Agosto de 2015). *Cise electrónica*. Obtenido de Cise electrónica: <http://www.cisetraining.com/course/view.php?id=37>

Booster, B. (20 de Diciembre de 2016). *Curso de Sensores de Temperatura*. Obtenido de <http://automecanico.com/auto2027/bbooster04.pdf>

Booster, B. (15 de Enero de 2017). *Curso de Sensores de Flujo de Aire*. Obtenido de <http://automecanico.com/auto2027/bbooster03.pdf>

Booster, B. (15 de Enero de 2017). *Curso de Sensores de Oxígeno*. Obtenido de <http://automecanico.com/auto2027/bbooster12.pdf>

Bosch, R. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina*. Alemania: Tecnica del Automóvil.

Bosch, R. (2005). *Técnica de gases de escape para Motores Diesel*. Stuttgart: Bosch.

Bosch, R. G. (2005). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Germany: Bosch Robert GmbH.

Brain Bee, S. (10 de 01 de 2017). Obtenido de [www.brainbee.com](http://www.brainbee.com)

Briceño, S., Sagredo, V., & Del Castillo, H. (2009). Reducción catalítica selectiva de NOx usando nanopartículas de ferritas. *DOAJ*, 107 - 112.

Cordero Alcántara, T., & Rodríguez Mirasol, J. (2008). Catalizadores para la protección del medio ambiente.

Eggers, D. M. (2003). Emisión de gases de escape. En R. Bosch, *Técnica de gases de escape para motores de gasolina* (pág. 44). Plochingen: GmbH, Robert Bosch.

Fernando, A. (04 de Agosto de 2007). Curvas de vacío. *Curvas de vacío*. Miami, USA: CISE.

Hidalgo, M. G. (2010). *Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.

Metalcat. (2000). *Guía Técnica del convertidor catalítico*. Arvin Replacement.

Orbe, D. (20 de Enero de 2014). <http://es.slideshare.net/>. Obtenido de <http://es.slideshare.net/>: <http://es.slideshare.net/darioorbe1/catalizadores-paramotoresdiesel>

Ormann, R. (2003). Catalizador de tres vias. En r. Bosch, *Técnica de gases de escape para motores gasolina* (pág. 96). Bosch.

Pérez, A. (2016). informacion de Catalizador. *Mecánica Automotriz*, 14.

replacement, A. (07 de Mayo de 2000). *slideshare*. Obtenido de slideshare: <http://es.slideshare.net/martk1626/tecnica-del-convertidor-catalitico>

Semplades. (24 de Junio de 2013). *Plan Nacional Del buen vivir*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>

Srivastava, S. P. (2014). *Fuels and Fuel-Additives*. New Jersey: Wiley.

Torres, H., & Rios, I. (11 de Agosto de 2011). Sistemas de control de emisión. En H. Torres, & R. Ivan, *Sistemas de control de emisión* (pág. 18). Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/93222311/Sistemas-Para-El-Control-de-Emission-Para-Motores>

VITERI, D. I. (2014). *Diseño y construcción de una unidad electrónica para controlar los tiempos de inyección de combustible en un simulador de motor de combustión interna*. Quito .

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores, **GEM LEONARDO RIVADENEIRA RECALDE** y **ALEX ISRAEL TOASA TUPIZA**.

En la ciudad de Latacunga a los 24 días del mes de febrero del 2017.

**APROBADO POR:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Leónidas Quiroz', written over a horizontal dashed line.

Ing. Leónidas Quiroz

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Danilo Zambrano', written over a horizontal dashed line. To the right of the signature is a circular official stamp of the 'CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ'.

Ing. Danilo Zambrano

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Carlos Díaz', written over a horizontal dashed line.

Dr. Juan Carlos Díaz

**SECRETARIO ACADEMICO**