



**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: INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS  
CATALIZADORES DE TRES VÍAS A TRAVÉS DEL USO DE UN  
SISTEMA DE INDUCCIÓN PARA ESTABLECER LA  
TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA Y CONTROL DE EMISIÓN DE  
GASES**

**AUTOR: FREDY HERNAN SALAZAR TERCERO**

**DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ MSc.**

**LATACUNGA**

**2018**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS CATALIZADORES DE TRES VÍAS A TRAVÉS DEL USO DE UN SISTEMA DE INDUCCIÓN PARA ESTABLECER LA TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA Y CONTROL DE EMISIÓN DE GASES”**, realizado por el señor **FREDY HERNAN SALAZAR TERCERO**, 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 Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **FREDY HERNAN SALAZAR TERCERO** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 08 de marzo del 2018.**

---

Leonidas Antonio Quiroz Erazo

**DIRECTOR**



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **FREDY HERNAN SALAZAR TERCERO**, con cédula de ciudadanía N° 0502823230, declaro que este trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS CATALIZADORES DE TRES VÍAS A TRAVÉS DEL USO DE UN SISTEMA DE INDUCCIÓN PARA ESTABLECER LA TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA Y CONTROL DE EMISIÓN DE GASES**” 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 mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 08 de marzo del 2018.**

---

Fredy Hernán Salazar Tercero

C.C.: 0502823230



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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **FREDY HERNAN SALAZAR TERCERO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS CATALIZADORES DE TRES VÍAS A TRAVÉS DEL USO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO PARA ESTABLECER LA TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA Y CONTROL DE EMISIÓN DE GASES”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 08 de marzo del 2018.**

---

Fredy Hernán Salazar Tercero

C.C.: 0502823230

## DEDICATORIA

A dios por sus bendiciones derramadas durante el transcurso de mi vida y por permitirme cumplir una de mis metas tan anheladas.

A mis padres, mi orgullo y mi motivación más grande para seguir logrando y trazando nuevas metas y oportunidades en mi vida, por su trabajo y esfuerzo, por su apoyo incondicional y su amor sincero.

A mis hermanos por sus palabras, por su motivación consejos y la confianza que depositaron ciegamente en mí

Fredy Salazar

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias DIOS por la vida, la salud y las bendiciones recibidas, por ser mi refugio y mi fortaleza en los momentos más difíciles, por permitirme cumplir una de mis metas y culminar una etapa más de mi vida.

A mi padre por el apoyo incondicional y por ser un ejemplo de humildad, fuerza, trabajo y perseverancia, por enseñarme a ser un hombre de bien inculcando valores de responsabilidad y honestidad.

A mi madre por sus sabios consejos de aliento, por enseñarme a levantar de cada tropiezo, por ser confidente de mis penas y alegrías, mi apoyo y pilar fundamental de mi vida.

A mis queridos hermanos gracias por el apoyo incondicional en todo momento y la confianza que depositaron en mí.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por la formación académica y brindar la oportunidad de ser un profesional, a mis maestros que supieron brindarme su conocimiento a lo largo de mi carrera, un agradecimiento especial a mi director de proyecto de investigación Ing. Leonidas Quiroz por su amistad, dirección y asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

Fredy Salazar

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARATULA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>xxviii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xxix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxx</b>

### CAPÍTULO I

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto .....	4
1.4. Justificación e importancia.....	6
1.5. Objetivos de la investigación .....	7
1.5.1. Objetivo general .....	7
1.5.2. Objetivos específicos .....	7
1.6. Metas .....	8
1.7. Hipótesis .....	8
1.8. Variables de la investigación .....	8
1.8.1. Variables Independientes.....	8
1.8.2. Variables Dependientes .....	8

### CAPÍTULO II

<b>2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE EN VEHÍCULOS CON SISTEMAS DE CALENTAMIENTO Y EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTRIZ</b> .....	<b>9</b>
2.1. El convertidor catalítico.....	9

2.1.1.	Ubicación del convertidor catalítico en el vehículo .....	10
2.1.2.	Estructura de un convertidor catalítico .....	10
a.	Estructura externa .....	11
b.	Aislante térmico.....	11
c.	Monolito.....	12
d.	Metales nobles .....	12
2.1.3.	Tipos de convertidores catalíticos .....	13
a.	Convertidor catalítico de una vía .....	13
b.	Convertidor catalítico de dos vías .....	14
c.	Convertidor catalítico de tres vías .....	15
2.1.4.	Eficiencia del convertidor catalítico .....	17
2.2.	Catalizador.....	18
2.2.1.	Principio de funcionamiento .....	19
a.	Proceso de oxidación .....	20
b.	Proceso de reducción.....	21
2.3.	Combustión.....	22
2.3.1.	Combustión completa.....	22
2.3.2.	Combustión incompleta.....	23
2.3.3.	Productos derivados de la combustión.....	23
a.	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	24
b.	Oxígeno (O <sub>2</sub> ) .....	24
c.	Nitrógeno (N <sub>2</sub> ) .....	24
d.	Óxidos nítricos (NO <sub>x</sub> ).....	25
e.	Hidrocarburos (HC) .....	25
f.	Monóxido de carbono (CO) .....	25
2.4.	Calentamiento por resistencia eléctrica .....	26
2.4.1.	Ley de joule.....	26
2.4.2.	Resistencia de un conductor eléctrico.....	26
2.4.3.	Componentes eléctricos.....	27
a.	Relés .....	27
b.	Fusible.....	28
2.4.4.	Elementos de control electrónico .....	29
a.	Regulador de tensión .....	29

b.	Diodo.....	30
c.	Sensor de temperatura.....	30
d.	Microcontrolador .....	30
2.5.	Dinamómetro de rodillos (LPS 3000).....	30
2.5.1.	Elementos del dinamómetro de rodillos (LPS 3000) .....	31
2.5.2.	Características .....	32
2.5.3.	Normativa.....	33
2.5.4.	Curvas características del motor de combustión interna.....	35
a.	Torque o par motor.....	35
b.	Potencia .....	36
2.6.	Analizador de gases CARTEK.....	39
2.6.1.	Características .....	41
2.6.2.	Normativa.....	42
2.7.	Analizador de gases AGS-688.....	42
2.7.1.	Características .....	43
2.8.	Scanner de diagnóstico automotriz AUTOBOSS V30 .....	43
2.8.1.	Características .....	44
2.9.	Osciloscopio OWON PDS5022T .....	45
2.9.1.	Características técnicas .....	45
2.10.	Cuentarrevoluciones MGT 300.....	46
2.10.1.	Características técnicas .....	47
2.11.	Scanner OBDLink SX .....	47
2.11.1.	Generalidades.....	48
2.11.2.	Características .....	48

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>PROTOTIPO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....</b>	<b>49</b>
3.1.	Vehículo Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD.....	49
3.1.1.	Especificaciones técnicas .....	49
3.2.	Revisión técnica mecánica .....	50
3.2.1.	Sensor de temperatura de refrigerante de motor (ECT).....	51
3.2.2.	Sensor de temperatura de aire de la admisión (IAT).....	51
3.2.3.	Sensor de posición del acelerador (TPS).....	52

3.2.4.	Sensor de posición del cigüeñal (CKP) .....	53
3.2.5.	Sensor de posición del árbol de levas (CMP) .....	53
3.2.6.	Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP) .....	54
3.2.7.	Sensor de oxígeno (EGO).....	54
3.2.8.	Válvula de control de marcha mínima (IAC).....	55
3.2.9.	Primario de la bobina de encendido por chispa perdida (DIS) .....	55
3.2.10.	Inyectores.....	56
3.2.11.	Revisión del motor y sus sistemas mecánicos .....	56
3.3.	Acondicionamiento del monitor-scanner OBDLink SX .....	57
3.3.1.	Guía de instalación.....	58
a.	Herramientas y material necesario.....	58
b.	Ubicación en el vehículo .....	58
c.	Conexión del scanner OBDLink SX.....	58
d.	Conexión de energía principal.....	59
3.3.2.	Interfaz de control y visualización .....	59
3.3.3.	Ajuste de parámetros scanner OBDLink SX .....	59
3.4.	Análisis del proceso catalítico del vehículo CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L.....	61
3.5.	Diseño mecánico .....	63
3.5.1.	Espacio para el sistema de calentamiento en el vehículo .....	64
3.5.2.	Geometría de la pieza a calentar .....	64
3.5.3.	Temperatura de funcionamiento del catalizador .....	64
3.5.4.	Geometría de la bobina de resistencia.....	64
a.	Transferencia de energía .....	65
b.	Velocidad de calentamiento .....	65
3.5.5.	Aislamiento eléctrico y térmico.....	65
3.6.	Requerimientos de diseño eléctrico y electrónico.....	66
3.6.1.	Bobina de resistencia .....	66
3.6.2.	Batería.....	66
3.6.3.	Inversor de potencia.....	67
3.6.4.	Controlador digital de temperatura .....	67
3.6.5.	Módulo de control y monitorización del sistema .....	68
3.6.6.	Relevador.....	69
3.6.7.	Sensor de temperatura.....	69

3.7.	Modelado .....	69
3.8.	Simulación y análisis de funcionamiento en software CAD .....	72
3.8.1.	Concentración de temperatura .....	72
3.8.2.	Flujo de calor direccional.....	73
3.8.3.	Flujo de calor total .....	73
3.8.4.	Selección del material de construcción .....	74
a.	Material para bobina de resistencia.....	75
b.	Material para carcasa de protección .....	75
c.	Material para aislante térmico .....	76
3.9.	Construcción del sistema de inducción.....	76
3.10.	Diseño eléctrico del circuito de control y potencia .....	78
3.10.1.	Circuito de potencia.....	78
3.10.2.	Circuito de monitoreo de temperatura del sistema .....	79
3.10.3.	Circuito de refrigeración .....	80
3.10.4.	Control de arranque .....	81
3.10.5.	Selección del dispositivo electromecánico .....	82
3.10.6.	Protección del circuito de alta potencia .....	82
3.10.7.	Selección del conductor eléctrico .....	82
3.11.	Diseño electrónico del circuito de control y potencia .....	83
3.11.1.	Fuente de alimentación .....	83
3.11.2.	Monitorización de funcionamiento del sistema.....	84
a.	Señal de control electrónico de arranque.....	84
b.	Señal de calentamiento del sistema de inducción.....	85
c.	Señal de encendido y apagado del sistema .....	85
3.11.3.	Selección del microcontrolador .....	86
3.11.4.	Programación.....	88
3.11.5.	Protección del sistema electrónico .....	89
3.12.	Construcción.....	90
3.13.	Implementación .....	92
3.14.	Pruebas de funcionalidad .....	94

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>INCIDENCIA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE CATALIZADOR EN PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L.....</b>	<b>97</b>
4.1.	Protocolo de pruebas.....	97
4.1.1.	Requisitos previos para la prueba .....	97
a.	Afinación del vehículo .....	97
b.	Seguridad del operario y área de trabajo .....	97
4.2.	Procedimiento de pruebas .....	98
4.2.1.	Prueba de torque y potencia .....	98
4.2.2.	Prueba de gases residuales.....	99
a.	Prueba de emisiones en ralentí y velocidad crucero.....	99
b.	Prueba de emisiones en medición continua.....	101
4.2.3.	Prueba de consumo de combustible .....	102
a.	Ruta establecida para la prueba .....	103
b.	Itinerarios de prueba de ruta .....	103
4.2.4.	Prueba de gestión electrónica del vehículo.....	104
4.3.	Tiempo de calentamiento del convertidor catalítico .....	105
4.4.	Tabulación de resultados de rendimiento del motor sin sistema de inducción.....	106
4.4.1.	Torque.....	106
4.4.2.	Potencia .....	107
a.	Potencia normal .....	108
b.	Potencia motor .....	109
c.	Potencia rueda .....	110
4.4.3.	Gases de combustión.....	111
a.	Prueba de emisiones en ralentí y velocidad crucero.....	111
b.	Prueba de emisiones con medición continua.....	118
4.4.4.	Consumo de combustible.....	126
a.	Tráfico ligero .....	126
b.	Tráfico moderado .....	127
c.	Alto tráfico .....	127
4.4.5.	Gestión electrónica sin sistema de inducción.....	127
4.5.	Tabulación de resultados de rendimiento del motor con sistema de inducción.....	134

4.5.1.	Torque.....	134
a.	Potencia normal .....	135
b.	Potencia motor .....	136
c.	Potencia rueda .....	137
4.5.3.	Gases de combustión.....	138
a.	Pruebas de emisiones en ralentí y velocidad crucero .....	138
b.	Prueba de emisiones con medición continua.....	145
4.5.4.	Consumo de combustible.....	153
a.	Tráfico ligero .....	154
b.	Tráfico moderado .....	154
c.	Alto tráfico .....	154
4.5.5.	Gestión electrónica.....	155
4.6.	Análisis, interpretación y comparación de resultados .....	161
4.6.1.	Torque.....	161
4.6.2.	Potencia .....	162
a.	Potencia normal .....	162
b.	Potencia motor .....	163
c.	Potencia rueda .....	164
4.6.3.	Gases de combustión.....	167
a.	Análisis y comparación de emisiones de combustión en ralentí y velocidad crucero .....	167
b.	Análisis de emisiones de combustión en medición continua con y sin sistema de inducción.....	175
c.	Eficiencia del sistema de inducción.....	184
4.6.4.	Análisis de consumo de combustible con y sin sistema de inducción.....	187
a.	Tráfico ligero .....	187
b.	Tráfico moderado .....	189
c.	Alto tráfico .....	191
4.6.5.	Influencia del sistema de calentamiento en la gestión electrónica de combustible.....	192

## **CAPITULO V**

<b>5.</b>	<b>MARCO ADMINISTRATIVO .....</b>	<b>200</b>
-----------	-----------------------------------	------------

5.1.	Factibilidad de la investigación .....	200
5.1.1.	Recursos materiales.....	200
5.1.1.	Recurso humano.....	201
5.1.2.	Recurso financiero .....	201
a.	Equipo y materiales.....	201
b.	Recursos tecnológicos .....	203
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>205</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>210</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>211</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>214</b>
	ANEXO A PLAN DE MANTENIMIENTO CHEVROLET AVEO ACTIVO	
	ANEXO B PLANOS DE MODELADO CAD	
	ANEXO C CATÁLOGO DE RELEVADORES BOSCH	
	ANEXO D CONDUCTORES ELÉCTRICOS AWG	
	ANEXO E REGULADOR DE VOLTAJE LM7805	
	ANEXO F CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN	
	ANEXO G FICHA DE DATOS DE RELÉ DE 12V	
	ANEXO H PLACA ARDUINO MEGA 2560	
	ANEXO I PANTALLA TFT LCD TOUCH 2.4”	
	ANEXO J PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS	
	ANEXO K PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA	
	ANEXO L PRUEBAS DE GASES EN RALENTÍ Y VELOCIDAD CRUCERO	
	ANEXO M PRUEBAS DE GASES EN MEDICIÓN CONTINUA	
	ANEXO N PRUEBAS DE GESTIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Control de emisiones de arranque en frío y caliente .....	2
Tabla 2. Conversión de los gases contaminantes y su efectividad .....	18
Tabla 3. Características del dinamómetro LPS 3000 .....	32
Tabla 4. Normativas de diseño de dinamómetros de rodillos .....	34
Tabla 5. Características del analizador de gases CARTEK .....	41
Tabla 6. Características técnicas del analizador AGS-688 .....	43
Tabla 7. Características del scanner AUTOBOSS V30 .....	44
Tabla 8. Especificaciones del osciloscopio OWON PDS5022T .....	45
Tabla 9. Características del cuentarrevoluciones MGT 300 .....	47
Tabla 10. Características del monitor-scanner OBDLink SX .....	48
Tabla 11. Especificaciones técnicas Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L .....	50
Tabla 12. Resultados de la prueba de análisis de gases de escape con y sin convertidor catalítico .....	61
Tabla 13. Análisis del comportamiento del proceso catalítico con y sin convertidor catalítico .....	62
Tabla 14. Características de la fibra de cerámica .....	65
Tabla 15. Ficha técnica de la batería .....	67
Tabla 16. Ficha técnica del inversor de potencia .....	67
Tabla 17. Ficha técnica controlador digital de temperatura .....	68
Tabla 18. Ficha técnica termocupla tipo k .....	69
Tabla 19. Materiales seleccionados mediante software para simulación y análisis .....	70
Tabla 20. Cálculo de resistencia de la bobina a partir del modelado CAD .....	71
Tabla 21. Cálculo de cantidad de calor que disipa la bobina de resistencia .....	74
Tabla 22. Cálculo de energía necesaria para el banco de baterías .....	79
Tabla 23. Cálculo de la intensidad de consumo de dispositivos eléctricos .....	82
Tabla 24. Selección del conductor eléctrico .....	83
Tabla 25. Características de la interfaz gráfica .....	87
Tabla 26. Criterios de selección del microcontrolador .....	87

Tabla 27. Cálculo de consumo de corriente total en el circuito electrónico.....	90
Tabla 28. Ruta y distancia para la prueba de consumo de combustible.....	103
Tabla 29. Itinerario de prueba de ruta.....	104
Tabla 30. Tiempo de calentamiento del catalizador.....	105
Tabla 31. Momento normal sin sistema de inducción.....	106
Tabla 32. Potencia normal sin sistema de inducción.....	108
Tabla 33. Potencia motor sin sistema de inducción.....	109
Tabla 34. Potencia rueda sin sistema de inducción.....	110
Tabla 35. Prueba de hidrocarburos con sistema de inducción.....	111
Tabla 36. Prueba de monóxido de carbono sin sistema de inducción.....	113
Tabla 37. Prueba de dióxido de carbono sin sistema de inducción.....	115
Tabla 38. Prueba de oxígeno sin sistema de inducción.....	117
Tabla 39. Hidrocarburos con medición continua sin sistema de inducción.....	119
Tabla 40. Monóxido de carbono con medición continua sin sistema de inducción.....	120
Tabla 41. Monóxido de carbono corregido con medición continua sin sistema de inducción.....	121
Tabla 42. Óxidos de nitrógeno con medición continua sin sistema de inducción.....	122
Tabla 43. Dióxido de carbono con medición continua sin sistema de inducción.....	123
Tabla 44. Oxígeno con medición continua sin sistema de inducción.....	124
Tabla 45. Lambda con medición continua sin sistema de inducción.....	125
Tabla 46. Consumo de combustible en tráfico ligero.....	126
Tabla 47. Consumo de combustible en tráfico moderado.....	127
Tabla 48. Consumo de combustible en alto tráfico.....	127
Tabla 49. Valor de carga calculado sin sistema de inducción.....	128
Tabla 50. Recorte de combustible a corto plazo sin sistema de inducción.....	129

Tabla 51. Recorte de combustible a largo plazo sin sistema de inducción.....	130
Tabla 52. Presión absoluta del colector de entrada sin sistema de inducción.....	131
Tabla 53. Avance del tiempo de ignición sin sistema de inducción.....	132
Tabla 54. Voltaje del sensor de oxígeno sin sistema de inducción.....	133
Tabla 55. Momento normal con sistema de inducción.....	134
Tabla 56. Potencia normal con sistema de inducción.....	135
Tabla 57. Potencia motor con sistema de inducción.....	136
Tabla 58. Potencia rueda con sistema de inducción.....	137
Tabla 59. Prueba de hidrocarburos con sistema de inducción.....	138
Tabla 60. Prueba de monóxido de carbono con sistema de inducción.....	140
Tabla 61. Prueba de dióxido de carbono con sistema de inducción.....	142
Tabla 62. Prueba de oxígeno con sistema de inducción.....	144
Tabla 63. Hidrocarburos con medición continua y sistema de inducción.....	146
Tabla 64. Monóxido de carbono con medición continua y sistema de inducción.....	147
Tabla 65. Monóxido de carbono corregido con medición continua y sistema de inducción.....	148
Tabla 66. Óxidos de nitrógeno con medición continua y sistema de inducción.....	149
Tabla 67. Dióxido de carbono con medición continua y sistema de inducción.....	150
Tabla 68. Oxígeno con medición continua y sistema de inducción.....	151
Tabla 69. Lambda con medición continua y sistema de inducción.....	152
Tabla 70. Consumo de combustible en tráfico ligero.....	154
Tabla 71. Consumo de combustible en tráfico moderado.....	154

Tabla 72. Consumo de combustible en alto tráfico .....	154
Tabla 73. Valor de carga calculado con sistema de inducción .....	155
Tabla 74. Recorte de combustible a corto plazo con sistema de inducción.....	156
Tabla 75. Recorte de combustible a largo plazo con sistema de inducción.....	157
Tabla 76. Presión absoluta del colector de entrada con sistema de inducción.....	158
Tabla 77. Avance tiempo de ignición con sistema de inducción.....	159
Tabla 78. Voltaje del sensor de oxígeno (B1-S1) con sistema de inducción.....	160
Tabla 79. Momento normal con y sin sistema de inducción.....	161
Tabla 80. Potencia normal con y sin sistema de inducción.....	162
Tabla 81. Potencia motor con y sin sistema de inducción .....	163
Tabla 82. Potencia rueda con catalizador con y sin sistema de inducción.....	164
Tabla 83. Tabla estadística de valoración de torque y potencia .....	165
Tabla 84. Tabla estadística de potencia rueda y potencia normal .....	166
Tabla 85. Hidrocarburo con y sin sistema de inducción.....	168
Tabla 86. Monóxido de carbono con y sin sistema de inducción .....	170
Tabla 87. Dióxido de carbono con y sin sistema de inducción.....	171
Tabla 88. Oxígeno con y sin sistema de inducción .....	173
Tabla 89. Hidrocarburos en medición continua con y sin sistema de inducción.....	176
Tabla 90. Monóxido de carbono en medición continua con y sin sistema de inducción.....	177
Tabla 91. Monóxido de carbono corregido en medición continua con y sin sistema de inducción .....	178
Tabla 92. Óxidos de nitrógeno con medición continua con y sin sistema de inducción.....	179
Tabla 93. Dióxido de carbono en medición continua con y sin sistema de inducción.....	180
Tabla 94. Oxígeno en medición continua con y sin sistema de inducción.....	182

Tabla 95. Lambda en medición continua con y sin sistema de inducción.....	183
Tabla 96. Eficiencia en la transformación de hidrocarburos .....	184
Tabla 97. Eficiencia en la transformación de monóxido de carbono .....	185
Tabla 98. Eficiencia en la transformación de óxidos de nitrógeno .....	186
Tabla 99. Consumo de combustible en tráfico ligero con y sin sistema de inducción.....	187
Tabla 100. Consumo de combustible en tráfico moderado con y sin sistema de inducción .....	189
Tabla 101. Consumo de combustible en alto tráfico con y sin sistema de inducción .....	191
Tabla 102. Valor de carga calculado con catalizador con y sin sistema de inducción .....	192
Tabla 103. Recorte de combustible a corto plazo con y sin sistema de inducción.....	194
Tabla 104. Recorte de combustible a largo plazo con y sin sistema de inducción.....	195
Tabla 105. Presión absoluta del colector de entrada con y sin sistema de inducción .....	196
Tabla 106. Avance de tiempo de ignición con y sin sistema de inducción.....	197
Tabla 107. Voltaje de sensor de oxígeno (B1-S1) con y sin sistema de inducción.....	198
Tabla 108. Recursos materiales .....	200
Tabla 109. Talento humano .....	201
Tabla 110. Implementación de la fuente de alimentación .....	201
Tabla 111. Implementación del módulo de potencia.....	202
Tabla 112. Implementación del sistema de inducción.....	202
Tabla 113. Implementación del módulo de control y monitorización.....	202
Tabla 114. Equipos tecnológicos .....	204
Tabla 115. Ensayos de investigación.....	204

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama causa efecto .....	3
Figura 2. Convertidor catalítico .....	9
Figura 3. Ubicación de convertidor catalítico .....	10
Figura 4. Estructura del convertidor catalítico .....	11
Figura 5. Tipos de monolito y detalles .....	13
Figura 6. Proceso de oxidación en catalizador de una vía.....	14
Figura 7. Proceso de oxidación en catalizador de dos vías .....	14
Figura 8. Catalizador de dos vías .....	14
Figura 9. Procesos de reacción química en catalizador de tres vías .....	15
Figura 10. Convertidor catalítico de tres vías sin regulación.....	16
Figura 11. Convertidor catalítico de tres vías con regulación $\lambda$ .....	17
Figura 12. Conversiones químicas en un catalizador .....	20
Figura 13. Conversiones químicas en un catalizador de tres vías .....	21
Figura 14. Influencia de la relación de aire en la emisión de gases de escape .....	22
Figura 15. Gases procedentes de la combustión en un motor Otto .....	24
Figura 16. Representación por medio de bloques de un regulador de tensión de tres terminales .....	29
Figura 17. Dinamómetro de rodillos LPS 3000 y sus componentes.....	32
Figura 18. Curvas características a plena carga de un motor Otto de cuatro tiempos.....	35
Figura 19. Relación de aire vs consumo específico de combustible.....	39
Figura 20. Analizador de gases CARTEK y sus partes.....	40
Figura 21. Analizador de gases AGS-688.....	42
Figura 22. Scanner automotriz AUTOBOSS V30.....	44
Figura 23. Osciloscopio OWON PDS5022T .....	45
Figura 24. Cuentarrevoluciones MGT 300 .....	46
Figura 25. Scanner OBDLink SX .....	47
Figura 26. Automóvil Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD .....	49
Figura 27. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor ECT .....	51
Figura 28. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor IAT .....	52
Figura 29. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor TPS .....	52

Figura 30. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor CKP .....	53
Figura 31. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor CMP .....	53
Figura 32. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor MAP.....	54
Figura 33. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor EGO .....	55
Figura 34. Curva de voltaje de funcionamiento normal de la valvula IAC.....	55
Figura 35. Curva de voltaje de funcionamiento normal del primario de la bobina de encendido DIS .....	56
Figura 36. Curva de voltaje de funcionamiento normal del inyector.....	56
Figura 37. Flujograma de la revisión del motor y sus sistemas mecánicos.....	57
Figura 38. Interfaz de control y visualización OBDLink SX .....	59
Figura 39. Parámetros tipo de comunicación.....	60
Figura 40. Parámetros de control y regulación de combustible .....	60
Figura 41. Diferencia en reducción de hidrocarburos con y sin convertidor catalítico .....	62
Figura 42. Diferencia en reducción de monóxido de carbono con y sin convertidor catalítico .....	63
Figura 43. Diferencia en reducción de óxidos de nitrógeno con y sin convertidor catalítico .....	63
Figura 44. Bobina de resistencia.....	66
Figura 45. Módulo de control y monitorización del sistema .....	68
Figura 46. Relevador automotriz.....	69
Figura 47. Modelado CAD de sistema de inducción .....	70
Figura 48. Concentración de temperatura .....	72
Figura 49. Flujo de calor direccional .....	73
Figura 50. Flujo de calor total.....	74
Figura 51. Material para bobina de resistencia .....	75
Figura 52. Material para carcasa de protección.....	75
Figura 53. Material para aislante térmico.....	76
Figura 54. Bobina de resistencia y montaje en catalizador .....	76
Figura 55. Carcasa metálica y aislante térmico .....	77
Figura 56. Sistema de inducción.....	77
Figura 57. Circuito esquemático de potencia .....	78

Figura 58. Esquema de monitoreo y control de temperatura .....	80
Figura 59. Circuito esquemático de refrigeración.....	80
Figura 60. Circuito esquemático de control de arranque .....	81
Figura 61. Circuito esquemático del regulador de tensión .....	83
Figura 62. Circuito esquemático de señal de control de arranque .....	84
Figura 63. Circuito esquemático de señal de calentamiento.....	85
Figura 64. Circuito esquemático de señal de apagado del sistema .....	86
Figura 65. Flujograma de programación .....	89
Figura 66. Diseño del circuito electrónico completo.....	90
Figura 67. Circuito electrónico impreso.....	91
Figura 68. Placa sumergida en ácido y circuito resultante.....	91
Figura 69. Unión de terminales y placa finalizada.....	92
Figura 70. Instalación y conexión del sistema de calentamiento .....	92
Figura 71. Implementación y conexión de la fuente de alimentación.....	93
Figura 72. Montaje y conexión de la placa de control .....	93
Figura 73. Montaje y conexión de la interfaz gráfica.....	94
Figura 74. Estado de precalentamiento del sistema .....	94
Figura 75. Estado final de precalentamiento del sistema.....	95
Figura 76. Estado de calentamiento del sistema .....	95
Figura 77. Estado de control y regulación de temperatura .....	96
Figura 78. Interfaz gráfica del dinamómetro de rodillos .....	98
Figura 79. Representación gráfica de resultados.....	99
Figura 80. Interfaz gráfica del analizador de gases CARTEK.....	100
Figura 81. Resultado de la prueba de gases con analizador CARTEK.....	100
Figura 82. Selección de análisis de gases de escape .....	101
Figura 83. Resultados de la medición continua .....	102
Figura 84. Interfaz gráfica de medición del software OBDwiz.....	102
Figura 85. Interfaz gráfica del scanner AUTOBOSS V-30 .....	104
Figura 86. Resultados de la lectura de PID's con escáner.....	105
Figura 87. Tiempo de calentamiento del convertidor catalítico .....	106
Figura 88. Momento normal vs revoluciones sin sistema de inducción.....	107
Figura 89. Potencia normal vs revoluciones sin sistema de inducción.....	108

Figura 90. Potencia motor vs revoluciones sin sistema de inducción .....	109
Figura 91. Potencia rueda vs revoluciones sin sistema de inducción .....	110
Figura 92. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en ralentí .....	112
Figura 93. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero .....	112
Figura 94. Monóxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en ralentí .....	114
Figura 95. Monóxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en velocidad crucero .....	114
Figura 96. Dióxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en ralentí .....	116
Figura 97. Dióxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en velocidad crucero .....	116
Figura 98. Oxígeno vs temperatura sin sistema de inducción en ralentí .....	118
Figura 99. Oxígeno vs temperatura sin sistema de inducción en velocidad crucero .....	118
Figura 100. Hidrocarburos vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	120
Figura 101. Monóxido de carbono vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	121
Figura 102. Monóxido de carbono corregido vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	122
Figura 103. Óxidos de nitrógeno vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	123
Figura 104. Dióxido de carbono vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	124
Figura 105. Oxígeno vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	125
Figura 106. Lambda vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción .....	126
Figura 107. Valor de carga calculado vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción .....	128

Figura 108. Recorte de combustible a corto plazo vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción .....	129
Figura 109. Recorte de combustible a largo plazo vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción .....	130
Figura 110. Presión absoluta del colector de entrada vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción .....	131
Figura 111. Avance del tiempo de ignición vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción.....	132
Figura 112. Voltaje del sensor de oxígeno vs temperatura del ECT sin sistema de inducción.....	133
Figura 113. Momento normal vs revoluciones con sistema de inducción.....	135
Figura 114. Potencia normal vs revoluciones con sistema de inducción.....	136
Figura 115. Potencia motor vs revoluciones con sistema de inducción.....	137
Figura 116. Potencia rueda vs revoluciones con sistema de inducción.....	138
Figura 117. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en ralentí.....	139
Figura 118. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero.....	140
Figura 119. Monóxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en ralentí.....	141
Figura 120. Monóxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero.....	141
Figura 121. Dióxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en ralentí.....	143
Figura 122. Dióxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero.....	143
Figura 123. Oxígeno vs temperatura con sistema de inducción en ralentí.....	145
Figura 124. Oxígeno vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero.....	145

Figura 125. Hidrocarburos vs temperatura con medición continua y sistema de inducción .....	147
Figura 126. Monóxido de carbono con medición continua y sistema de inducción.....	148
Figura 127. Monóxido de carbono corregido vs temperatura con medición continua y sistema de inducción.....	149
Figura 128. Óxidos de nitrógeno vs temperatura con medición continua y sistema de inducción .....	150
Figura 129. Dióxido de carbono vs temperatura con medición continua y sistema de inducción .....	151
Figura 130. Oxígeno vs temperatura con medición continua y sistema de inducción .....	152
Figura 131. Lambda vs temperatura con medición continua y sistema de inducción .....	153
Figura 132. Valor de carga calculado vs temperatura del sensor ECT y sistema de inducción.....	156
Figura 133. Recorte de combustible a corto plazo vs temperatura del sensor ECT y sistema de inducción .....	157
Figura 134. Recorte de combustible a largo plazo vs temperatura del sensor ECT y sistema de inducción .....	158
Figura 135. Presión absoluta del colector de entrada vs temperatura del sensor ECT y sistema de inducción .....	159
Figura 136. Avance del tiempo de ignición vs temperatura del sensor ECT y sistema de inducción.....	160
Figura 137. Voltaje del sensor de oxígeno vs temperatura del sensor ECT y sistema de inducción.....	161
Figura 138. Comparación de momento normal vs revoluciones .....	162
Figura 139. Comparación de potencia normal vs revoluciones.....	163
Figura 140. Comparación de potencia motor vs revoluciones .....	164
Figura 141. Comparación de potencia rueda vs revoluciones .....	165
Figura 142. Resumen estadístico de torque y potencia .....	166
Figura 143. Resumen estadístico de potencia rueda y potencia normal.....	167

Figura 144. Comparación de hidrocarburos vs temperatura en ralentí.....	169
Figura 145. Comparación de hidrocarburos vs temperatura en velocidad crucero.....	169
Figura 146. Comparación de monóxido de carbono vs temperatura en ralentí.....	171
Figura 147. Comparación de monóxido de carbono vs temperatura en velocidad crucero.....	171
Figura 148. Comparación de dióxido de carbono vs temperatura en ralentí.....	173
Figura 149. Comparación de dióxido de carbono vs temperatura en velocidad crucero.....	173
Figura 150. Comparación de oxígeno vs temperatura en ralentí.....	175
Figura 151. Comparación de oxígeno vs temperatura en velocidad crucero.....	175
Figura 152. Comparación de hidrocarburos vs temperatura en medición continua.....	177
Figura 153. Comparación de monóxido de carbono vs temperatura en medición continua.....	178
Figura 154. Comparación de monóxido de carbono corregido vs temperatura en medición continua.....	179
Figura 155. Comparación de óxidos de nitrógeno vs temperatura en medición continua.....	180
Figura 156. Comparación de dióxido de carbono vs temperatura en medición continua.....	181
Figura 157. Comparación de oxígeno vs temperatura en medición continua.....	183
Figura 158. Comparación de lambda vs temperatura en medición continua.....	184
Figura 159. Eficiencia de hidrocarburos vs temperatura.....	185
Figura 160. Eficiencia del monóxido de carbono vs temperatura.....	186
Figura 161. Eficiencia de óxidos de nitrógeno vs temperatura.....	187
Figura 162. Comparación de consumo de combustible en (l/100Km) con tráfico ligero.....	188

Figura 163. Comparación de consumo de combustible en (l) y (l/h) con tráfico ligero.....	189
Figura 164. Comparación de consumo de combustible en (l/100Km) con tráfico moderado .....	190
Figura 165. Comparación de consumo de combustible en (l) y (l/h) con tráfico moderado .....	190
Figura 166. Comparación de consumo de combustible en (l/100Km) con alto tráfico.....	191
Figura 167. Comparación de consumo de combustible en (l) y (l/h) con alto tráfico.....	192
Figura 168. Comparación de valor de carga calculado vs temperatura del sensor ECT .....	193
Figura 169. Comparación de recorte de combustible a corto plazo vs temperatura del sensor ECT .....	195
Figura 170. Comparación de recorte de combustible a largo plazo vs temperatura del sensor ECT .....	196
Figura 171. Comparación de presión absoluta del colector de entrada vs temperatura del sensor ECT .....	197
Figura 172. Comparación de avance del tiempo de ignición vs temperatura del sensor ECT .....	198
Figura 173. Comparación de voltaje del sensor de oxígeno vs temperatura del sensor ECT .....	199

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1.</b> Eficiencia del convertidor catalítico .....	18
<b>Ecuación 2.</b> Transformación completa de HC y CO .....	20
<b>Ecuación 3.</b> Transformación completa de NOx.....	21
<b>Ecuación 4.</b> Combustión completa .....	23
<b>Ecuación 5.</b> Combustión incompleta.....	23
<b>Ecuación 6.</b> Ley de Joule.....	26
<b>Ecuación 7.</b> Resistencia de un conductor eléctrico.....	27
<b>Ecuación 8.</b> Ley de Ohm .....	27
<b>Ecuación 9.</b> Potencia eléctrica.....	28
<b>Ecuación 10.</b> Par de torsión.....	36
<b>Ecuación 11.</b> Potencia motor .....	37
<b>Ecuación 12.</b> Potencia normal .....	38
<b>Ecuación 13.</b> Consumo específico de combustible.....	39

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación realizó el diseño de un sistema de inducción para el calentamiento del catalizador, el cual consta de un sistema de control para el monitoreo conformado por una termocupla tipo k, un controlador electrónico de temperatura, conductores eléctricos, una placa de software libre y un indicador mediante display de cristal líquido; otro sistema de potencia constituido por baterías, conductores de alta tensión, conversor AC-DC y resistencia de calefacción, con el objeto de optimizar la transformación catalítica de vehículos con sistemas de tracción por motor de combustión interna durante el arranque en frío con el fin de disminuir emisiones producidas. El sistema de inducción trabaja mediante tres fases operativas; la primera fase de precalentamiento trabaja hasta que el catalizador alcanzado los 150°C sin que permita el funcionamiento del motor de combustión interna, la segunda fase opera en un intervalo de 150°C a 309°C admitiendo arrancar el motor de combustión interna incrementando la temperatura del catalizador en conjunto con el sistema implementado, y como última fase la regulación de temperatura óptima de trabajo, los procesos operativos son monitorizados en base a señales de entrada para ser procesados a partir de un lenguaje de programación. Finalmente, se ejecutaron las pruebas de laboratorio que establecieron la influencia del sistema en parámetros característicos del motor, evidenciando la reducción de los agentes contaminantes con la implementación del sistema de inducción.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **AUTOMÓVILES - SISTEMA DE CALENTAMIENTO**
- **TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA**
- **AUTOMÓVILES - MOTORES - PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS**
- **AUTOMÓVILES - EMISIONES CONTAMINANTES**

## ABSTRACT

The present titration work carried out the design of an induction system for the heating of the catalyst which consists of a control system for monitoring made up of a thermocouple type k an electronic temperature controller, electrical conductors, a software plate Free and an indicator by liquid crystal display; another power system consisting of batteries, high voltage conductors, AC-DC converter and heating resistance in order to optimize the catalytic transformation of vehicles with traction systems by internal combustion engine during the cold start in order to decrease emissions produced. The induction system works through three operational phases; the first phase of preheating works until the catalyst has reached 150°C without allowing the operation of the internal combustion engine, the second phase operates in a range of 150°C to 309°C allowing the internal combustion engine to start up, increasing the temperature of the catalyst in conjunction with the system implemented and as the last phase the optimal working temperature regulation the operating processes are monitored based on input signals to be processed from a programming language. Finally, laboratory tests were carried out that established the influence of the system on characteristic engine parameters, evidencing the reduction of pollutants with the implementation of the induction system.

### KEYWORDS:

- **AUTOMOBILES - HEATING SYSTEM**
- **CATALYTIC TRANSFORMATION**
- **AUTOMOBILES - ENGINES - CHARACTERISTIC PARAMETERS**
- **AUTOMOBILES - POLLUTANT EMISSIONS**

## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES.

#### 1.1. Antecedentes.

Actualmente el parque automotor en el país según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) en el 2014 fue de 2´186.035 vehículos (AEADE, 2014) y en el mundo existe un desmesurado parque automotor en constante crecimiento dotados de un motor de combustión interna, los cuales generan un alto índice de contaminación ocasionado por la emisión de gases residuales de la mezcla aire-gasolina, siendo una de las principales causas del calentamiento global y atentando contra toda clase de vida por los niveles de toxicidad, razón por la cual aparecen normativas que regulan los límites permisibles de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina obligando a los fabricantes de automóviles realizar investigaciones de nuevas tecnologías enfocadas a disminuir los efectos que causa la contaminación, mediante la implementación de diversos sistemas de tratamiento de los gases de escape para cumplir con las normativas vigentes.

Los niveles de polución producido por los procesos de combustión de motores es una problemática a nivel mundial, en el campo de motores gasolina se han desarrollado sistemas anticontaminación siendo uno de ellos el convertidor catalítico, uno de los dispositivos más efectivos de control de emisiones existente cuando alcanza su temperatura de operación, el convertidor catalítico compuesto por metales nobles hace que al contacto con los gases de escape se generen reacciones químicas que descomponen y transforman en gases inocuos para el ambiente, reduciendo considerablemente las emisiones.

Los vehículos con convertidores catalíticos requieren del uso de gasolina sin plomo, de lo contrario el catalizador se bloquea y no permitiría

el paso de los gases de escape, el uso de solamente un depósito de gasolina con plomo ocasionaría la degradación total de los metales preciosos del catalizador, el fósforo y azufre en la gasolina también envenenan al convertidor catalítico, además los convertidores catalíticos pueden dañarse con temperaturas excesivas lo cual puede originarse por exceso de oxígeno y combustible no quemado en el escape.

En condiciones de arranque en frío, el combustible no puede evaporarse completamente, es necesario enriquecer la mezcla, dotando al motor de mayor cantidad de gasolina, la mezcla rica y la combustión pobre bajo condiciones de arranque en frío causan elevadas emisiones de hidrocarburos y monóxidos de carbono, este problema se agrava en vehículos que tienen tratamiento de gases de escape por convertidores catalíticos, porque estos no alcanzan su temperatura de operación, reduciendo su efectividad, lo que conlleva que su rendimiento sea menor y por tal razón la reducción de estas emisiones de hidrocarburos y monóxidos de carbono no sea la adecuada, en los vehículos modernos con control de emisiones el arranque en frío es más del 80% del total de emisiones de hidrocarburos y monóxidos de carbono. (Perez F. , 2000)

En la tabla 1 se evidencia el control de emisiones de un vehículo en dos condiciones de funcionamiento diferentes, arranque en frío y con el motor a temperatura de operación.

**Tabla 1**

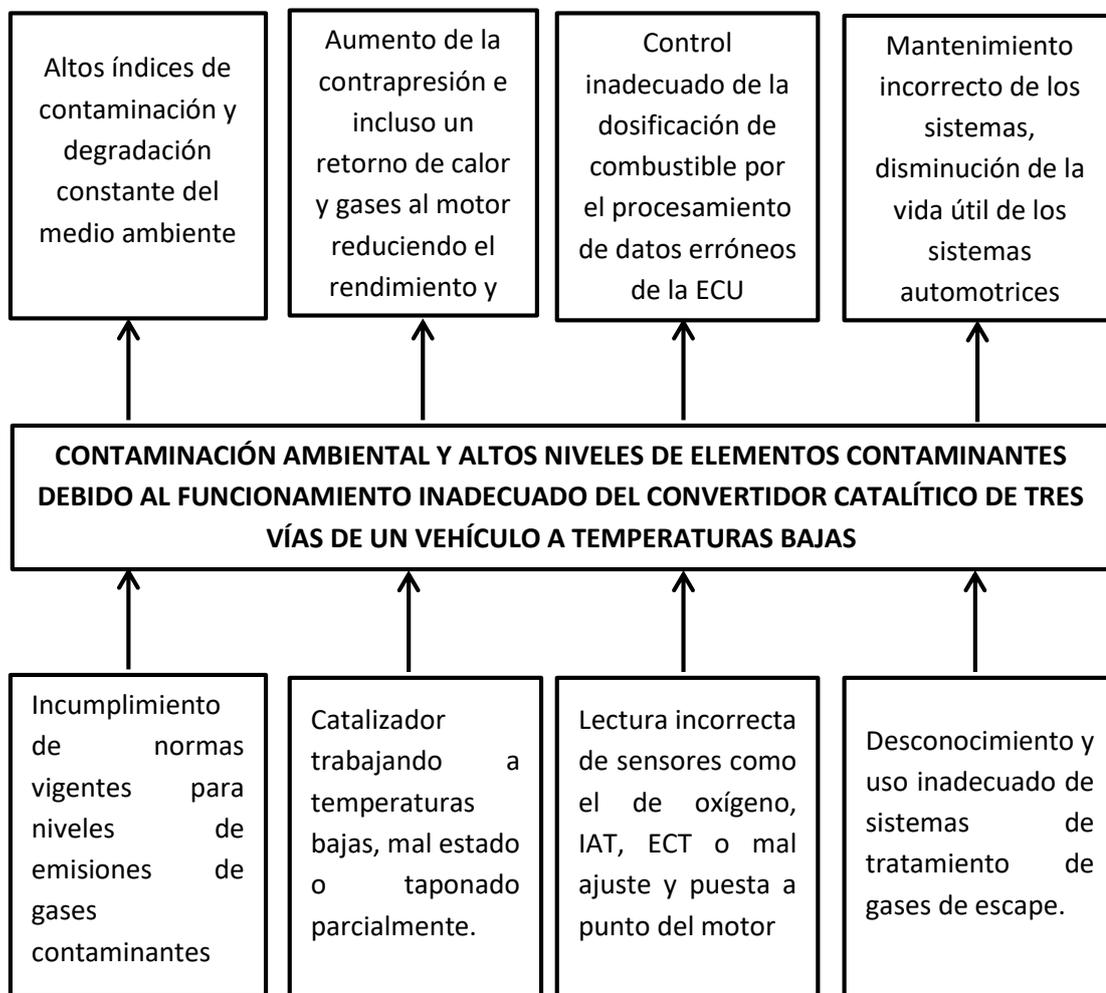
**Control de emisiones de arranque en frío y con el motor caliente**

Tecnología	MONÓXIDO DE CARBONO			HIDROCARBUROS			ÓXIDOS DE NITRÓGENO			CONSUMO DE COMBUSTIBLE		
	Arranque en caliente	Arranque en frío	CS: HS	Arranque en caliente	Arranque en frío	CS: HS	Arranque en caliente	Arranque en frío	CS: HS	Arranque en caliente	Arranque en frío	CS: HS
Sin control	49.7	100.6	2.0	32.2	25.1	0.8	12.2	11.8	0.97	10.1	12.9	1.3
Encendido pobre	9.6	29.8	3.1	11.1	11.1	1.0	8.6	8.7	1.0	9.0	10.2	1.1
Catalizador de 3 vías	11.1	32	2.9	3.8	3.8	2.1	3.4	4.8	1.4	9.8	11.3	1.2
Catalizador de oxidación y encendido pobre	1.8	22.9	12.7	6.2	6.2	2.5	7.2	8.2	1.1	8.9	10.4	1.2

**Fuente:** (Heck R. Farrauto R: control catalítico de la polución del aire, 1995, 90-91)

NOTA: Los datos tomados fueron de un procedimiento de prueba y están dados en gramos. CS: HS es la relación de las emisiones de arranque en frío y caliente y el consumo de combustible

## 1.2. Planteamiento del problema



**Figura 1. Diagrama causa efecto**

Un sistema de tratamiento de los gases de escape en el vehículo es el convertidor catalítico elemento primordial que tiene como misión transformar los gases de escape mediante una reacción química logrando que los hidrocarburos (HC) se conviertan en agua y que el monóxido de carbono (CO) resultante, pase a ser dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta transformación en su máxima eficiencia sucede cuando el catalizador trabaja a una correcta temperatura de funcionamiento, con lo que al contacto de los metales nobles con los gases producto de la combustión que circulan antes

y dentro del propio catalizador producen una reacción química transformando los gases nocivos en gases inocuos.

La mezcla rica y la combustión pobre bajo condiciones de arranque en frío causan elevadas emisiones de hidrocarburos y monóxidos de carbono siendo el principal factor de contaminación y más aún cuando el catalizador no alcanza la temperatura óptima de funcionamiento, lo que convierte a el vehículo en una fuente de polución a gran escala en los primeros minutos de funcionamiento.

Al promover el análisis de esta investigación se contempla la posibilidad de desarrollar un sistema de inducción eficiente para que el catalizador logre trabajar a su temperatura óptima, de tal manera que le permita trabajar y reducir la emisión de gases tóxicos desde el arranque en frío con su máxima eficiencia.

### **1.3. Descripción resumida del proyecto**

La presente investigación se desarrolló en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, las pruebas de medición y cuantificación se llevaron a cabo en los laboratorios de Mecánica De Patio y de Autotrónica de La Carrera De Ingeniería Automotriz y laboratorio del centro de investigaciones CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional, el proyecto de investigación está enfocada al funcionamiento del convertidor catalítico a bajas temperaturas desde el arranque en frío, análisis de elementos contaminantes y su incidencia en el rendimiento del motor desarrollado a partir de las curvas características del motor como son torque, potencia y consumo de combustible bajo dos lineamientos con catalizador genuino y con la implementación de un prototipo de un sistema de inducción.

Se realizó un protocolo de pruebas que consta de una revisión técnica mecánica para poner a punto el motor de combustión interna con un mantenimiento preventivo y el acondicionamiento con la ayuda de escáner para monitoreo de los valores de trabajo en sensores como actuadores, para

realizar pruebas de emisión de gases contaminantes bajo condiciones estáticas con el Analizador de Gases CARTEK perteneciente al Laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con parámetros y valores referenciados a partir de las CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional, el consumo de combustible volumétrico se ejecutó con el monitor–scanner OBDLink SX previamente instalado en el vehículo y la medición de temperatura en tiempo real con la ayuda de un sistema de monitoreo y control del sistema de tratamiento como del sistema de inducción para el convertidor catalítico.

Las pruebas antes mencionadas generan datos iniciales importantes que justifican el problema y se analizaron para la determinación de parámetros necesarios para el diseño del sistema de inducción siendo determinantes para la creación del prototipo como su forma física, circuitos y elementos utilizados para su implementación por medio de la experimentación validando su diseño y parámetros tomados en cuenta con pruebas que validan su funcionamiento y uso en el vehículo.

Con el acondicionamiento del sistema experimental de inducción en el vehículo se realizaron pruebas de emisión de gases contaminantes en condiciones estáticas con el Analizador de gases CARTEK, en el Laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, bajo referencia de la norma NTE INEN 2204:2002 según el procedimiento definido para esta prueba en la Norma NTE INEN 2203:2000, también se realizaron pruebas de potencia y torque con un Dinamómetro de rodillos bajo la norma ISO 1585 del Laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional así también datos del consumo de combustible volumétrico en pruebas estáticas y dinámicas para la cual se estableció un ciclo de conducción mediante una ruta en la ciudad de Latacunga y las respectivas mediciones de temperatura en tiempo real con el uso de una termocupla tipo k en el sistema de monitoreo, generando datos importantes, y a partir de los resultados obtenidos se determinó la eficiencia del sistema de inducción en la transformación de gases de escape para la validación de la investigación y determinar conclusiones y recomendaciones.

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

Actualmente el gobierno nacional a través del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) propone la creación de nuevas iniciativas para la mejora de la eficiencia energética a través de la investigación y desarrollo de conocimiento que aporte a la ciencia mediante el estudio, fomento, e innovación promoviendo las buenas prácticas para el uso racional de la energía y la implantación de tecnologías dirigidas al aprovechamiento de fuentes energéticas limpias y amigables con el ambiente que demandan los diferentes tipos de transporte motorizados en el país.

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), por lo que realizadas las pruebas necesarias con el catalizador genuino basándose en la NTE INEN 2204:2002 que “Establece los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina” (INEN, 2002), se obtuvieron datos importantes los mismos que se analizaron para obtener información técnica y confiable para el desarrollo del sistema de calentamiento que permitió la reducción de elementos contaminantes de los gases de escape de los vehículos durante el arranque en frío.

La investigación contribuye con la universidad en su vinculación con áreas investigativas, mediante resultados satisfactorios que permitieron generar información pertinente para entes como el INER, las cuales están enfocadas en la administración y aprovechamiento correcto de la energía, buscando alternativas como el fomento de capacidades locales para el desarrollo de la investigación en energías renovables para contribuir en parte la mitigación del cambio climático que hoy en día es una necesidad.

Para la ciudadanía y el medio ambiente representa un potencial beneficio en materia de contaminación ya que el prototipo producto de la investigación se puede implementar en miles y miles de vehículos contribuyendo así de una manera significativa en la reducción de las

emisiones de gases contaminantes, brindando calidad de vida y calidad ambiental.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Investigar el desempeño de los catalizadores de tres vías a través del uso de un sistema de inducción para establecer la transformación catalítica y control de emisión de gases.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información teórica y técnica inherente a sistemas de control de emisiones y equipo a utilizar para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Efectuar la puesta a punto del motor y los sistemas automotrices del vehículo de prueba y acondicionar el monitor-scanner OBDLink SX para la medición de consumo de combustible.
- Recolectar datos confiables mediante análisis de emisión de gases contaminantes en prueba estática con el catalizador genuino durante el arranque en frío.
- Diseñar y construir un sistema experimental de inducción para el catalizador y realizar pruebas de emisión de gases, potencia, torque y consumo de combustible antes y después de la implementación del sistema de inducción con un sistema de monitoreo y control de temperatura del convertidor catalítico.
- Analizar el proceso catalítico del vehículo CHEVROLET AVEO ACTIVO 1,6L 4P STD con datos de análisis de emisión de gases contaminantes en pruebas estáticas.
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación antes y después de haber acondicionado el sistema experimental de tal forma validar su uso con una optimización del tratamiento de gases de escape en catalizadores.

## **1.6. Metas**

- Diseñar y construir un sistema experimental de calentamiento para el catalizador evaluando el comportamiento de los parámetros característicos del motor antes y después de la implementación del sistema en el vehículo.
- Reducir la emisión de gases contaminantes como los hidrocarburos en 19%, el monóxido de carbono en 17% y los óxidos de nitrógeno en 19% durante el trabajo en frío del vehículo.

## **1.7. Hipótesis**

El sistema de inducción permite que el catalizador del vehículo Chevrolet AVEO ACTIVO 1,6L trabaje a temperatura normal de funcionamiento durante el arranque en frío optimizando su proceso catalítico en la transformación de gases nocivos en gases inocuos.

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

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

### **1.8.1. Variables Independientes:**

- Vehículo Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD.

### **1.8.2. Variables Dependientes:**

- Catalizador con Sistema de inducción.

## CAPÍTULO II

### 2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE EN VEHÍCULOS CON SISTEMAS DE CALENTAMIENTO Y EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTRIZ

#### 2.1. El convertidor catalítico

Es el sistema anticontaminación más efectivo en pos-tratamiento de gases de escape en los motores de encendido por chispa, fue desarrollado debido a la necesidad de controlar y reducir las emisiones producto de la combustión de la mezcla aire-combustible, desde sus inicios han sufrido múltiples modificaciones producto de las investigaciones aplicadas en este campo permitiendo reducir los niveles de contaminación y mantener dentro de los rangos permitidos por las leyes y normativas fijadas para su propósito que son cada vez más estrictas.

Su misión es neutralizar los agentes tóxicos con moléculas inestables presentes en los gases de escape como el Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), y Óxidos Nítricos ( $\text{NO}_x$ ), promoviendo reacciones químicas en presencia de metales nobles como el platino, paladio y rodio a temperaturas adecuadas transformándolos en sustancias inocuas con moléculas altamente estables como el Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), efectuando dicho tratamiento mediante procesos químicos de oxidación y reducción. (Perez Bello, 2011)



**Figura 2. Convertidor catalítico**

Fuente: (Calleja, 2015, pág. 586)

### 2.1.1. Ubicación del convertidor catalítico en el vehículo

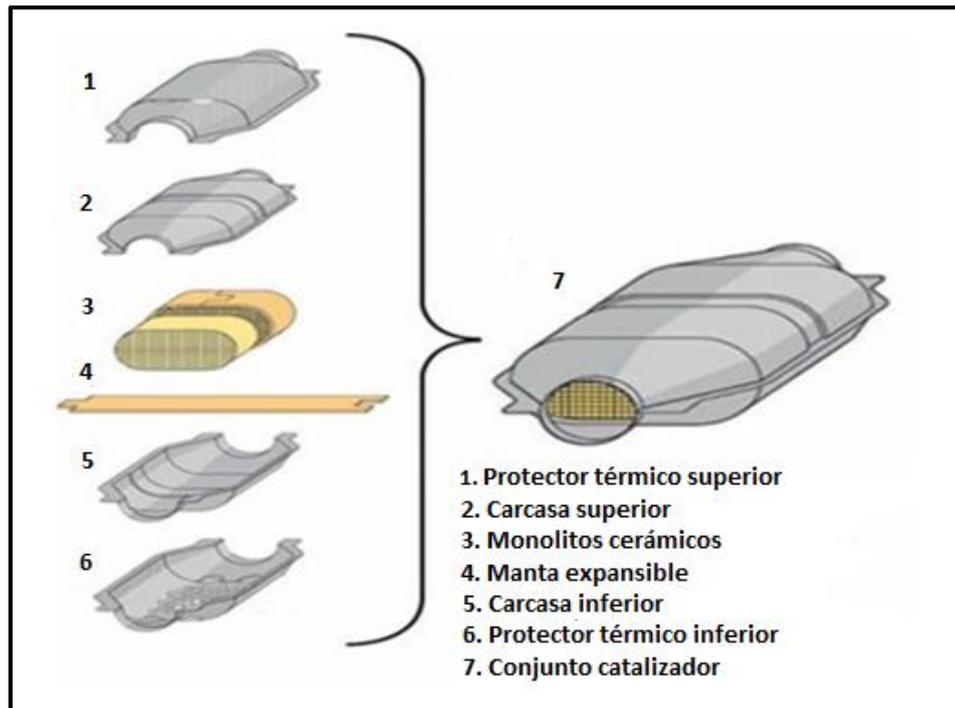
El sistema de tratamiento de gases de escape se encuentra ubicado formando parte del sistema de escape lo más cercano posible al colector de escape posterior a la sonda lambda dado que requiere alcanzar con rapidez su temperatura óptima de funcionamiento que alcanza entre los 400°C y 800°C siendo indispensable aislarlo térmicamente de los demás componentes del vehículo. (Alonso Peres, 2014)



**Figura 3. Ubicación de convertidor catalítico**

### 2.1.2. Estructura de un convertidor catalítico

Internamente un convertidor catalítico tiene varios componentes como el monolito ya sea cerámico o metálico que contiene en su interior metales nobles, además posee un aislante térmico encargado de sujetar al monolito con la estructura externa y un deflector cuya función es aislar los componentes del vehículo del calor emanado por este componente dependiendo del tipo de catalizador y su aplicación se cuenta o no con una toma de aire adicional.



**Figura 4. Estructura del convertidor catalítico**

Fuente: (Calleja, 2015, pág. 586)

#### a. Estructura externa

Fabricada en acero inoxidable, generalmente dispone de una forma circular o rectangular con adaptaciones en sus extremos hacia la línea de gases de escape, es un componente donde se alojan todas las piezas que forman parte del convertidor catalítico, es un componente que dispone de nervaduras para ofrecer rigidez a todo el conjunto. (Perez Bello, 2011)

#### b. Aislante térmico

En la parte interior entre la estructura externa y el monolito se encuentra un aislante térmico de cerámica, metálico o una manta térmica formada de mezclas de fibra y metal, el más utilizado es el metálico debido a su coeficiente de dilatación que es muy diferente a la del monolito generalmente fabricado de cerámica manteniendo unido el conjunto ante los efectos de las variaciones de temperatura y dotándole de compacidad en caliente. (Perez Bello, 2011)

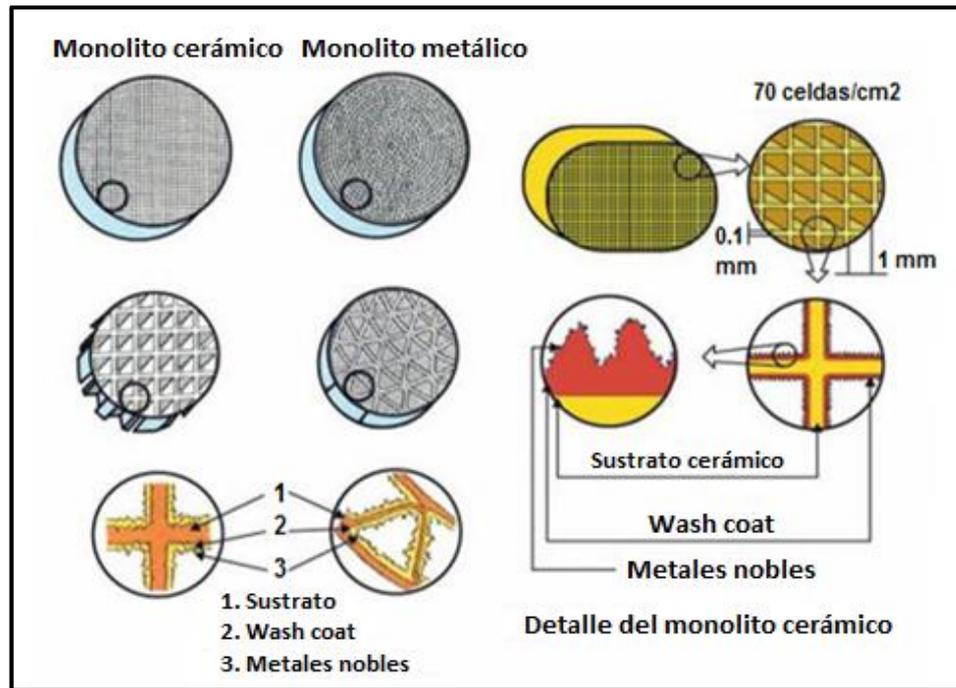
### **c. Monolito**

Generalmente es fabricado de cerámica, existiendo también metálicos es una estructura interna en forma de panal donde se producen las reacciones químicas de oxidación y reducción, en su estructura externa se depositan recubrimientos de óxido de aluminio conocido como "Washcoat" y sobre él se dispone de materiales nobles consiguiendo ampliar de esta manera la superficie de contacto con los gases de escape en unas 7000 veces mayor, permitiendo el diseño de un catalizador más pequeño. (Perez Bello, 2011)

Los monolitos cerámicos poseen una estructura de panal de abeja, construido con materiales resistentes a condiciones extremas de temperatura como el silicato de magnesio y aluminio con una densidad de 90 celdas por centímetro cuadrado de 1,1x1,1 mm de longitud y los monolitos metálicos son construidos de acero inoxidable de 0,01 mm de espesor dispuesto por una estructura de celdas por las que fluyen los gases de escape para su transformación catalítica que en él se desarrollan. (Perez Bello, 2011)

### **d. Metales nobles**

Dependiendo de las aplicaciones y de los gases que se requieren tratar se utilizan materiales nobles como el platino (Pt), paladio (Pd) y rodio (Rh) que se encuentran dispuestos sobre la superficie externa del monolito, por encima del Washcoat. (Perez Bello, 2011)



**Figura 5. Tipos de monolito y detalles**

Fuente: (Calleja, 2015, pág. 586)

### 2.1.3. Tipos de convertidores catalíticos

Los convertidores catalíticos se distinguen según el número de vías que estas poseen, es decir a la cantidad de compuestos tóxicos que se requiere neutralizar, disponiendo de los metales nobles como el platino, paladio y rodio que actúan de catalizador como requerimientos para que la reacción química sea la adecuada disminuyendo los gases contaminantes a porcentajes aceptables, clasificándose de la siguiente manera:

#### a. Convertidor catalítico de una vía

Uno de la primera gama de convertidores catalíticos fijados e instalados en los vehículos para el tratamiento de gases residuales de escape, llamado también catalizador oxidante siendo el más sencillo y de bajo costo, constituido únicamente por un monolito cerámico de oxidación que actúa directamente sobre el monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos, transformando los gases contaminantes en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). (Arias Paz, 1999)



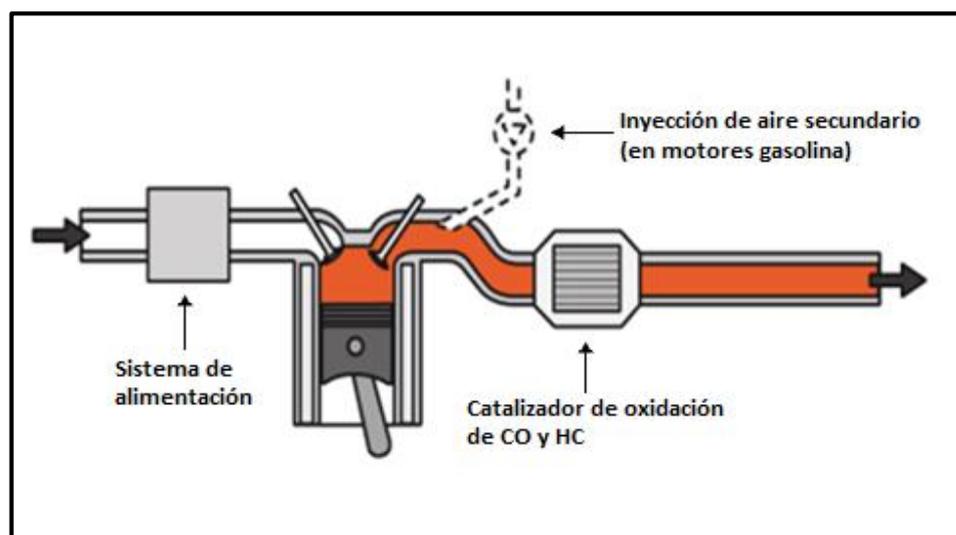
**Figura 6. Proceso de oxidación en catalizador de una vía**  
Fuente: (Hidalgo, 2010)

### b. Convertidor catalítico de dos vías

Conocido también como catalizadores de oxidación, se encargan de la neutralización del monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no combustionados (HC) oxidándolos, es necesario la aportación de aire adicional para introducir mayor cantidad de oxígeno que favorezca la oxidación, el calor del gas de escape y el oxígeno se encargan de la oxidación del CO y HC transformándolos en H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>. (Calleja, 2015)



**Figura 7. Proceso de oxidación en catalizador de dos vías**  
Fuente: (Hidalgo, 2010)



**Figura 8. Catalizador de dos vías**  
Fuente: (Calleja, 2015, pág. 585)

### c. Convertidor catalítico de tres vías

Son los convertidores catalíticos de los más complejos y sofisticados siendo los más usados en la actualidad en motores a gasolina, debido a su evolución tecnológica ha desbancado a los catalizadores de oxidación en los que la reacción química de esta era incompleta. Se utiliza como catalizador a los metales nobles como el platino (Pt), paladio (Pd) y rodio (Rh) para reducir los gases contaminantes más importantes como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). (Arias Paz, 1999)

Generalmente se utiliza el rodio para tratar los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) cuyo proceso es separar el oxígeno del nitrógeno transformándolos en nitrógeno (N<sub>2</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>) se combina con el carbono para convertirse en dióxido de carbono CO<sub>2</sub>. (Crouse, 2007)

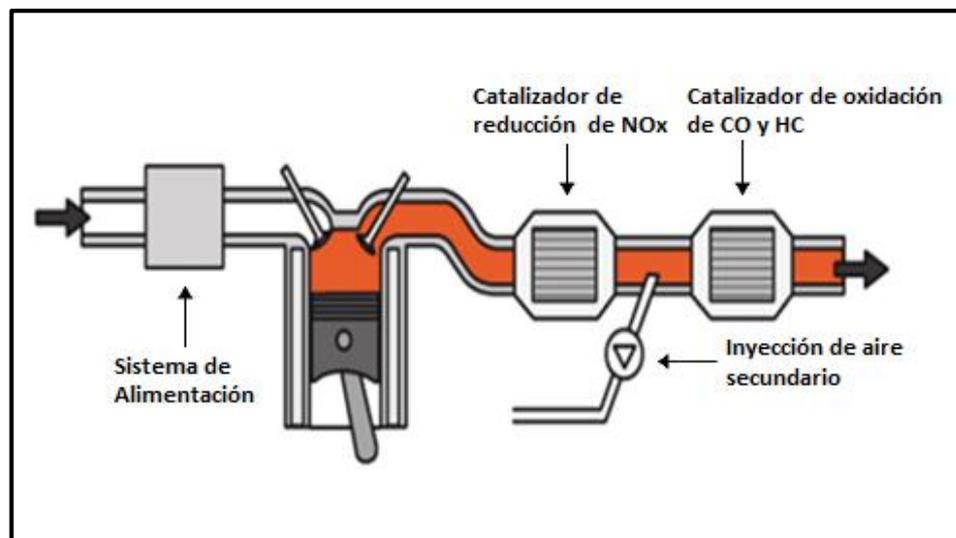
CO	OXIDACIÓN →	CO <sub>2</sub>
HC		CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
NO <sub>x</sub>	REDUCCIÓN →	N <sub>2</sub>

**Figura 9. Procesos de reacción química en catalizador de tres vías**  
Fuente: (Hidalgo, 2010)

- **Convertidores catalíticos de tres vías con toma de aire**

Los convertidores catalíticos de tres vías con toma de aire también son conocidos como catalizadores de bucle abierto, constituidos por dos monolitos cerámicos independientes en su interior dentro de una misma estructura con toma intermedia de aire. El primer monolito ejecuta la reacción química de reducción tratando los óxidos nítricos NO<sub>x</sub> siendo preciso que exista un déficit de oxígeno en los gases de escape para lo cual el motor debe trabajar con mezcla rica de combustible, en el segundo

monolito se produce oxidación tratando los gases de escape como el monóxido de carbono CO y los hidrocarburos HC para lo cual es preciso la aportación de oxígeno adicional logrando con la inyección de aire, este tipo de catalizadores se utilizan en motores alimentados por carburador. (Alonso Peres, 2014).

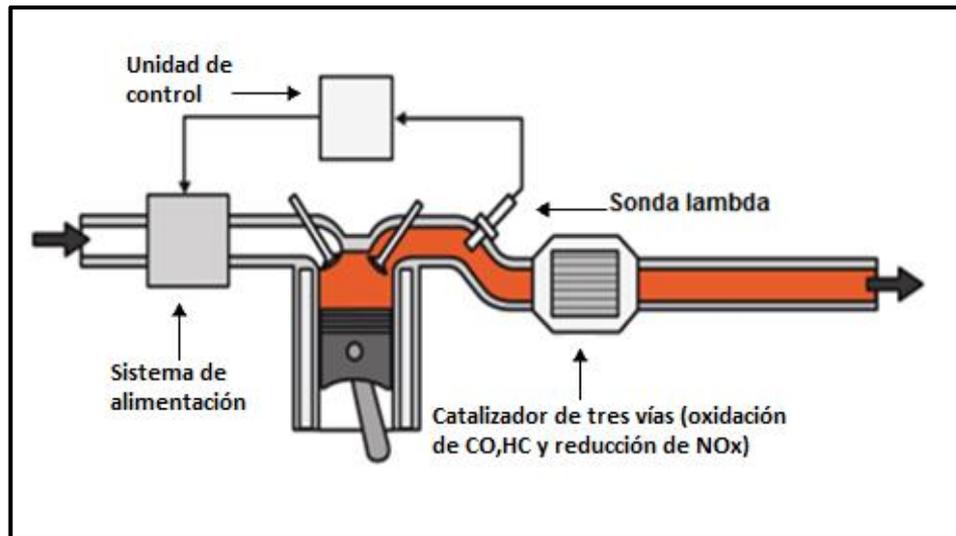


**Figura 10. Convertidor catalítico de tres vías sin regulación**

Fuente: (Calleja, 2015, pág. 585)

- **Convertidores catalíticos de tres vías con sonda lambda o ajustado**

Los convertidores catalíticos con sonda lambda se conocen también como catalizadores de bucle cerrado, este tipo de sistemas de tratamiento de gases de escape es el más utilizado en la actualidad utilizan un sistema de regulación para la mezcla aire-combustible para lo cual ajustan el valor de coeficiente aire (lambda) al valor más adecuado, generando el máximo rendimiento y menor cantidad de gases contaminantes. Este tipo de catalizadores requiere la dosificación de aire-combustible con un valor estequiométrico ( $\lambda=1$ ). Para que todas las reacciones químicas se desarrollen de manera adecuada es preciso una regulación del factor lambda que debe ser mantenido en un entorno de 0,95 a 1,05 la variación de este valor implica mayor contaminación. (Alonso Peres, 2014)



**Figura 11. Convertidor catalítico de tres vías con regulación  $\lambda$**   
 Fuente: (Calleja, 2015, pág. 585)

#### 2.1.4. Eficiencia del convertidor catalítico

Este dispositivo empezó a ser utilizado a mediados de la década de los 70, anterior al desarrollo de estos sistemas se utilizaban reactores térmicos instalados en el tubo de escape que permitían únicamente el proceso químico de la oxidación actuando sobre el Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarburos (HC), sistema ineficaz y obsoleto dando paso a la utilización de convertidores catalíticos sistemas altamente efectivos en el tratamiento de gases de escape.

La eficiencia es sobre el 95% en sistemas catalíticos nuevos, pero al cabo de unos 3000 Km baja y se estabiliza entre el 80 y 90% para las reacciones de oxidación y entre el 70 y 75% para las de reducción, valores que perduran hasta el final de su vida útil que suelen estar sobre los 80000 Km en sistemas controlados electrónicamente denominados de lazo cerrado en el que actúa el sensor de oxígeno (sonda lambda) permitiendo la dosificación de una mezcla estequiométrica. (Alvarez Flores, 2005)

**Tabla 2****Conversión de los gases contaminantes y su efectividad**

Gas inicial	Producto	Efectividad (%)
Hidrocarburos HC	CO <sub>2</sub>	80-90
Monóxido de carbono CO	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	80-90
Óxidos nítricos NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	70-75

**Fuente:** (Alvarez Flores, 2005, pág. 364)

- **Cálculo de la eficiencia**

“La eficiencia o rendimiento de un catalizador se determina, para cada contaminante, en función de las concentraciones antes y después de pasar los gases por el catalizador” (Alvarez Flores, 2005, pág. 364)

La eficiencia en la transformación de los gases contaminantes mediante un convertidor catalítico se expresa con la siguiente ecuación:

$$EF_A = \left[ \frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$$

**Ecuación 1.** Eficiencia del convertidor catalítico

Donde:

$EF_A$  Eficiencia del convertidor catalítico

$A_s$  Concentración del gas escogido sin el convertidor catalítico

$A_c$  Concentración del gas escogido con el convertidor catalítico

## 2.2. Catalizador

Es toda sustancia que propicia una reacción química en la que los gases residuales del motor se transforman en sustancias inocuas. El catalizador está compuesto de metales nobles como el platino (Pt), paladio (Pd) y rodio (Rh) que aceleran la velocidad de la reacción química, para ello disminuye los requerimientos de energía necesarios para que se de dicha

reacción sin la aportación de los metales nobles en el producto final de la reacción, es decir interviene en la reacción pero no sufre alteraciones en su estructura al no aportar materia (Perez Bello, 2011)

Una operación correcta del convertidor catalítico requiere que el catalizador entre en contacto con los gases de escape, razón por la cual deben utilizar gasolinas sin plomo para evitar envenenar el catalizador asíndolo ineficaz, también deben recibir los cilindros una mezcla de aire y combustible con la relación estequiometrica de 14,7Kg de aire por 1Kg de gasolina, pequeñas variaciones de este valor producen grandes incrementos y emisiones de escape, una solución a este problema es la utilización de un sistema de inyección de combustible controlado electrónicamente recibiendo la mayor parte de las condiciones de operación la dosificación de mezcla estequiometrica (Crouse, 2007)

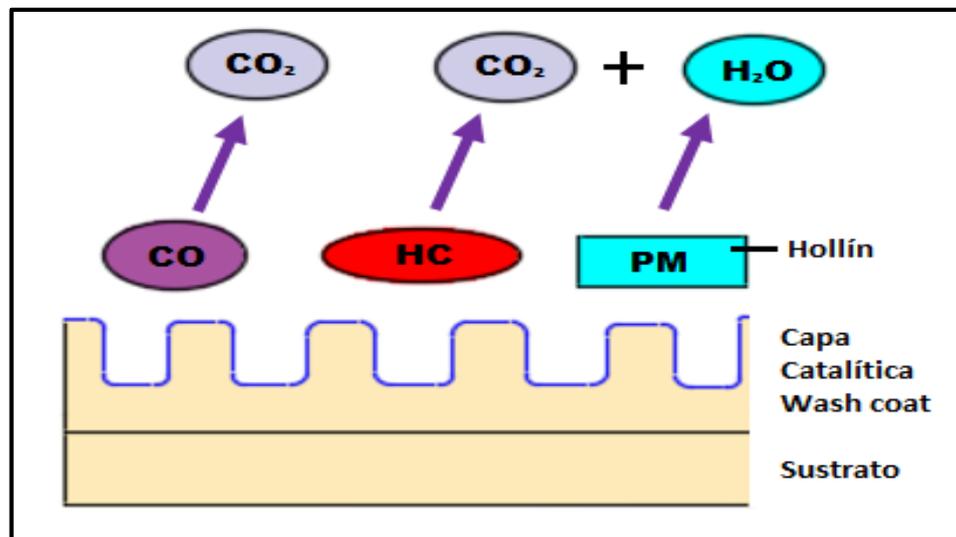
### **2.2.1. Principio de funcionamiento**

La razón de ser de los catalizadores es propiciar una reacción química de los gases contaminantes procedentes de la combustión y transformarlos en sustancias inocuas amigables con el medio ambiente, para el proceso de la reacción química se necesita una cierta energía de activación el principio de funcionamiento del catalizador se basa en reducir esta energía de activación gracias a la presencia de un elemento catalizador, el convertidor catalítico se encarga principalmente del tratamiento del Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos no combustionados (HC) y Óxidos Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Los convertidores catalíticos actuales llevan a cabo dos tipos de reacciones químicas la de oxidación y la de reducción. Los motores de gasolina actualmente precisan de estas dos reacciones químicas para neutralizar sus emisiones contaminantes, el proceso de reducción por sus características precisa de una dosificación estequiometrica razón por la cual se dotan a los motores de un sistema de alimentación de control electrónico con regulación lambda. (Perez Bello, 2011)

### a. Proceso de oxidación

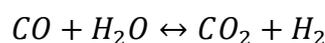
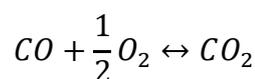
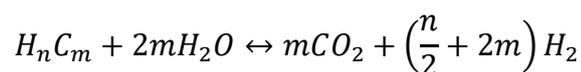
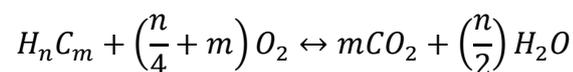
En el proceso de oxidación hay un aporte de oxígeno a la reacción química, en el que se neutralizan las sustancias tóxicas como el Monóxido de carbono CO que en contacto con el platino reacciona con el oxígeno para formar CO<sub>2</sub> y los Hidrocarburos no combustionados HC que al contactarse con el paladio se precipita la reacción con el oxígeno transformándose en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, dichas sustancias se producen debido a una mezcla rica de combustible es decir cuando ( $\lambda < 1$ ) las emisiones de estos gases es menor. (Perez Bello, 2011)



**Figura 12. Conversiones químicas en un catalizador de dos vías (oxidación)**

Fuente: (Perez Bello, 2011, pág. 379)

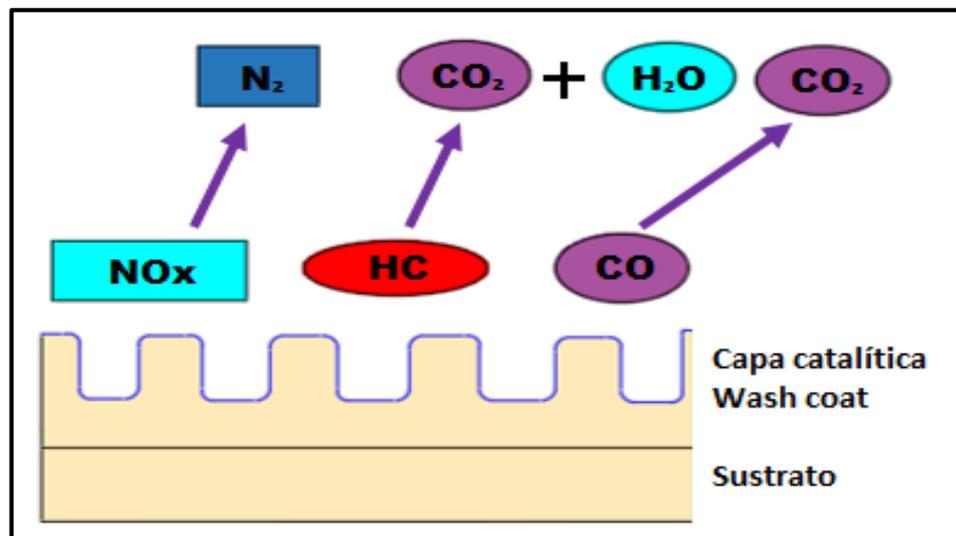
Las siguientes reacciones químicas determinan la transformación de HC y CO como una ecuación de transformación completa de estas sustancias.



**Ecuación 2.** Transformación completa de HC y CO mediante reacciones químicas que se dan en el proceso de oxidación

## b. Proceso de reducción

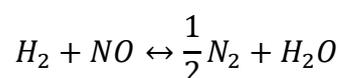
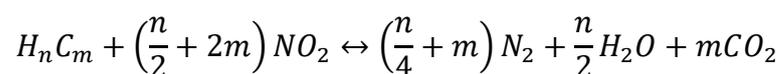
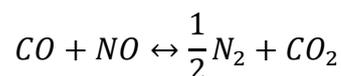
Proceso mediante el cual se neutralizan los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, al entrar en contacto con el rodio reaccionan, el oxígeno se separa combinándose con el monóxido de carbono CO transformándose en dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y nitrógeno N<sub>2</sub>, el mencionado proceso que se da únicamente en convertidores catalíticos de tres vías. La neutralización de los óxidos nítricos NO<sub>x</sub> tiene como inconveniente que su producción es tanto mayor, cuanto más baja sea la de CO y HC ya que estos últimos aumentan en proporción directa con la riqueza de la mezcla, los NO<sub>x</sub> alcanzan su valor máximo cuando la mezcla es estequiométrica. (Perez Bello, 2011)



**Figura 13. Conversiones químicas en un catalizador de tres vías (Oxidación y Reducción)**

Fuente: (Perez Bello, 2011, pág. 379)

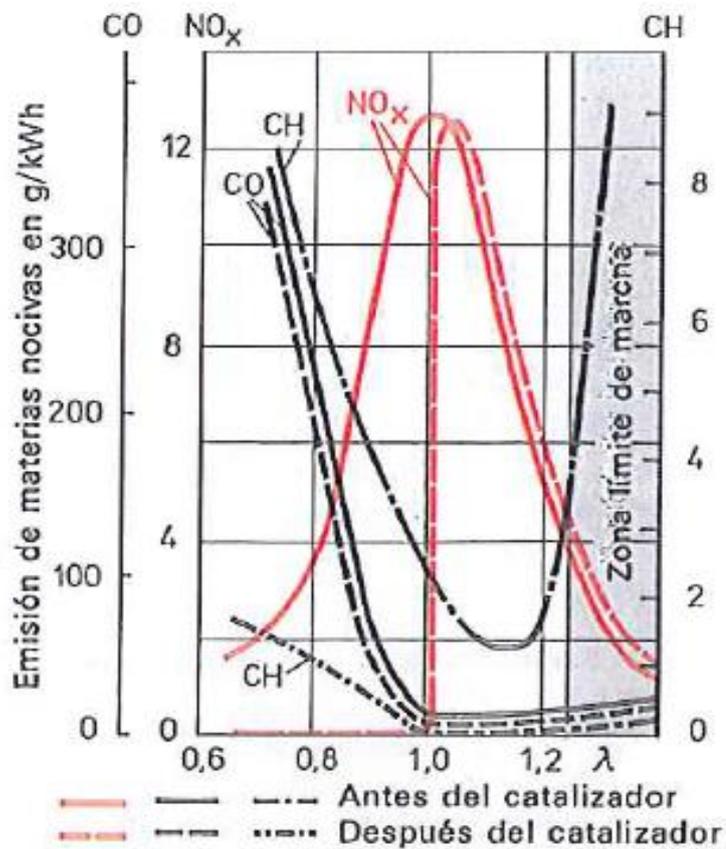
Las siguientes ecuaciones representan la transformación completa del NO<sub>x</sub> mediante reacciones químicas que se dan en el proceso.



**Ecuación 3.** Transformación completa de NO<sub>x</sub> mediante reacciones químicas que se dan en el proceso de reducción

### 2.3. Combustión

Para el proceso de la combustión es indispensable la presencia de un combustible, un comburente y una fuente de energía las mismas que en química se llaman reactivos dando como resultado productos conocidos como gases residuales de la combustión, teóricamente se habla de la combustión estequiometrica, pero en un motor de combustión interna no es imposible lograr por diferentes factores que intervienen en la combustión de la mezcla aire-combustible.



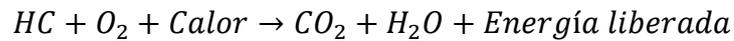
**Figura 14. Influencia de la relación de aire en la emisión de gases de escape**

Fuente: (Gerschler, 1985, pág. 290)

#### 2.3.1. Combustión completa

Se conoce como combustión completa a la reacción de combustible con el oxígeno del aire de admisión que se quema completamente sin que se produzcan reacciones secundarias indeseadas. Los productos de la combustión no contienen hidrocarburos, únicamente son de vapor de agua

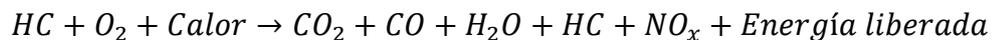
H<sub>2</sub>O y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, esta reacción aprovecha toda la energía del combustible mejorando el rendimiento del motor. (Rodríguez Melchor, 2012)



**Ecuación 4.** Combustión completa

### 2.3.2. Combustión incompleta

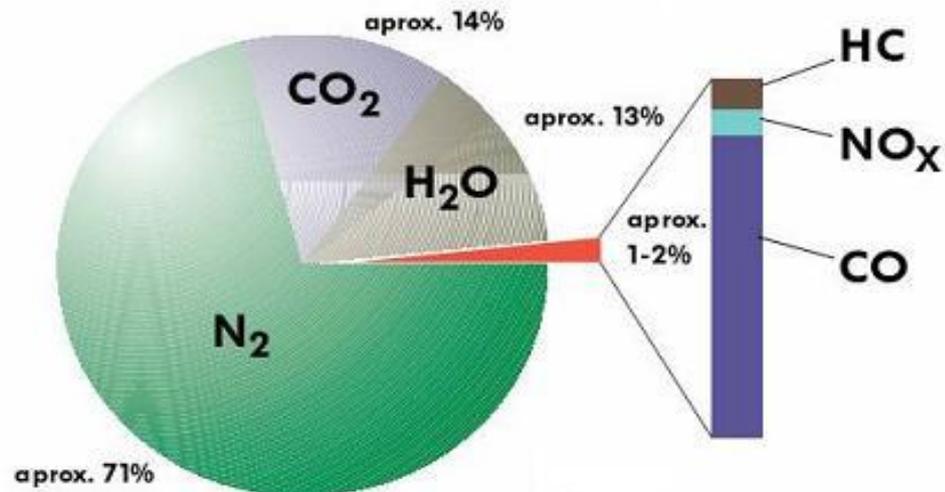
Se denomina combustión incompleta debido a que parte del combustible no reacciona con el oxígeno del aire de admisión por diferentes factores; los productos procedentes de la combustión contienen hidrocarburos no combustionados, presentan la formación de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y algunos componentes secundarios indeseados tóxicos por falta de oxígeno en la mezcla. En esta reacción no se aprovecha toda la energía del combustible por lo que el rendimiento del motor disminuye. (Rodríguez Melchor, 2012)



**Ecuación 5.** Combustión incompleta

### 2.3.3. Productos derivados de la combustión

Debido a la combustión de la mezcla aire combustible se generan diversos componentes de gases de escape, entre ellos considerados componentes primarios no venenosos como el vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno y los componentes secundarios venenosos como el monóxido de carbono CO, Hidrocarburos HC y óxidos nítricos NO<sub>x</sub> (Bosch, 2005)



**Figura 15. Gases procedentes de la combustión en un motor Otto**

Fuente: (Perez Bello, 2011, pág. 356)

#### a. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Por su nomenclatura se le conoce como anhídrido carbónico considerado uno de los gases responsables de la degradación de la capa de ozono, no es perjudicial directamente para el ser humano, en una combustión óptima con un máximo rendimiento del motor se obtendrá en un 15% de los gases residuales siendo uno de los mejores indicadores del buen estado del motor. (Perez Bello, 2011)

#### b. Oxígeno (O<sub>2</sub>)

Es un gas inocuo indispensable para el proceso de la combustión, sobretodo es un comburente y en el tratamiento de gases de escape con convertidor catalítico es necesario para el proceso de la oxidación, se encuentra presente en el aire en un 21% que ingresan al cilindro y salen por el escape en un porcentaje que oscila entre el 0,5 y 3%. (Perez Bello, 2011)

#### c. Nitrógeno (N<sub>2</sub>)

Se considera un gas inocuo presente en el aire en un 78% al igual que entra formando parte de los componentes del aire hacia los cilindros

para la mezcla aire combustible, sale por el escape a excepción de una pequeña cantidad que reacciona con el oxígeno formando los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, se da cuando se combustiona a elevadas temperaturas. (Perez Bello, 2011)

#### **d. Óxidos nítricos (NO<sub>x</sub>)**

Es uno de los gases tóxicos de escape más difíciles de neutralizar, su valor máximo de producción se da cuanto más se aproxime a la dosificación estequiometrica ( $\lambda=1$ ) es decir tiene una relación directa con el valor de rendimiento del motor tanto térmico como volumétrico, es un gas de color rojizo y penetrante en altas dosis puede provocar la irritación de las mucosas. (Perez Bello, 2011)

#### **e. Hidrocarburos (HC)**

Los compuestos de hidrocarburos están presentes en las partículas de combustible sin quemar, son considerados cancerígenos si actúan de forma permanente en el ser humano, son prácticamente inodoros y producen un olor desagradable, su presencia se mide en partes por millón (ppm) según las normas hoy en día no deben superar las 100 ppm, cuanto más pobre sea la mezcla menor cantidad de HC se emiten. (Bosch, 2005)

#### **f. Monóxido de carbono (CO)**

Conocido por su nomenclatura química CO, es un gas que se encuentra presente en los gases de escape en un 1% y puede ascender a 4% en sistemas no catalizados sobretodo en sistemas con alimentación por carburador, es extremadamente tóxico para los seres vivos provocando la pérdida de conocimiento antes de originar la muerte, un contenido de tan solo 0,3% del volumen de aire respirado provoca la muerte en apenas unos minutos. (Perez Bello, 2011)

## 2.4. Calentamiento por resistencia eléctrica

Según (Lauster, 1982) el desarrollo del calentamiento por resistencia eléctrica se ha visto favorecido por la aplicación de la ley de Joule, siendo la base fundamental del funcionamiento en el campo de aplicación, ofreciendo distintas formas de calentamiento en aplicaciones extremadamente variadas.

### 2.4.1. Ley de joule

La ley de Joule menciona que “la cantidad de calor desprendida en un conductor por el paso de una corriente constante es proporcional al cuadrado de la intensidad  $I$  de la corriente y a la resistencia  $R$  del conductor” (Castejon Oliva & Santamaria Herranz, 1993, pág. 26).

La cantidad de energía disipada por la resistencia al paso de una corriente eléctrica se calcula mediante la ecuación 6.

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \text{ [J]}$$

**Ecuación 6.** Ley de Joule

Donde:

$Q$	Energía liberada
$R$	Resistencia
$I$	Intensidad
$t$	Tiempo

### 2.4.2. Resistencia de un conductor eléctrico

“La resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud, inversamente proporcional a su sección, y depende del tipo de material y de la temperatura” (James W. Nilsson, 1995, pág. 43)

La resistencia de un conductor eléctrico se expresa mediante la ecuación 7, como se indica a continuación:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

**Ecuación 7.** Resistencia de un conductor eléctrico

Donde:

$R$	Resistencia del conductor ( $\Omega$ )
$\rho$	Resistividad del material ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{mm}$ )
$L$	Longitud del conductor (m)
$S$	Sección transversal ( $\text{mm}^2$ )

### 2.4.3. Componentes eléctricos

Los componentes eléctricos básicos para el control y seguridad del circuito de calentamiento por resistencia eléctrica son el relé y el fusible.

#### a. Relés

El relé es un dispositivo electromecánico que consta de un circuito de control de baja intensidad de corriente y un circuito de potencia para activar o desactivar el funcionamiento de consumidores de alto valor de intensidad.

- **Ley de Ohm**

La ley de Ohm es “la intensidad que circula por un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada entre sus bornes, e inversamente proporcional a la resistencia del mismo” (Crespo, 2014, pág. 66)

$$I = \frac{V}{R}$$

**Ecuación 8.** Ley de Ohm

Donde:

$I$  Intensidad de corriente (A)

$V$  Voltaje (V)

$R$  Resistencia ( $\Omega$ )

### **b. Fusible**

El fusible es un dispositivo de seguridad generalmente su filamento está fabricado de aleación de plomo y estaño, está diseñado para soportar un determinado valor nominal de corriente rompiendo al exceder dicho valor, se utilizan en circuitos eléctricos y electrónicos para proteger los dispositivos sensibles a cortocircuitos o sobrecarga de corriente.

- **Potencia eléctrica**

La potencia eléctrica es “la velocidad a la cual la energía se utiliza, almacena o transporta” (Agustín Castejón Oliva, 1993, pág. 31)

La potencia eléctrica se calcula mediante la ecuación 9, teniendo en cuenta el valor del voltaje y la intensidad del circuito.

$$P = V * I$$

**Ecuación 9.** Potencia eléctrica

Donde:

$P$  Potencia (W)

$V$  Voltaje (V)

$I$  Intensidad de corriente (A)

### 2.4.4. Elementos de control electrónico

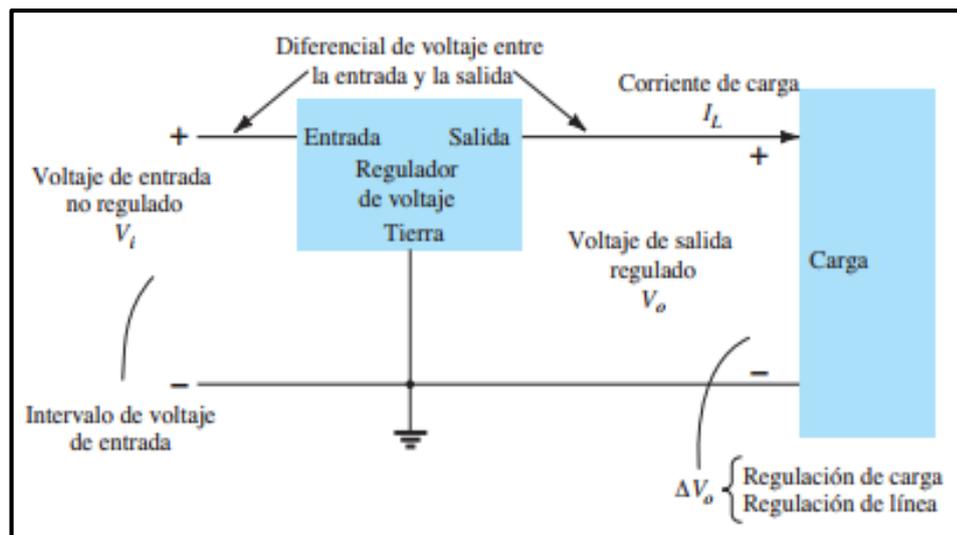
Los elementos de control electrónico para el calentamiento por resistencia eléctrica son reguladores de tensión, diodo semiconductor, sensor de temperatura y microcontrolador.

#### a. Regulador de tensión

Los reguladores de voltaje continuo permiten diversas aplicaciones dentro del campo de la electrónica, también favorecen el uso de diversos componentes de control electrónico.

Los reguladores de voltaje comprenden una clase de circuitos integrados de amplio uso. Los circuitos integrados reguladores contienen los circuitos de fuente de referencia, amplificador comparador, dispositivo de control y de protección contra sobrecarga, todos en una sola unidad de circuito integrado. Las unidades de circuito integrado regulan o un voltaje positivo fijo, un voltaje negativo fijo o un voltaje ajustable. (Robert L. Boylestad, 2009, pág. 788)

En la figura 16 se muestra el diagrama de bloques de un regulador de voltaje de tres terminales.



**Figura 16. Representación por medio de bloques de un regulador de tensión de tres terminales**

Fuente: (Robert L. Boylestad, 2009)

### **b. Diodo**

Un diodo es un dispositivo compuesto de dos materiales semiconductores, uno positivo llamado ánodo y un negativo llamado cátodo, conduce la corriente en una sola dirección, generalmente se utiliza como un elemento de seguridad contra la polarización incorrecta.

### **c. Sensor de temperatura**

Un sensor de temperatura es un dispositivo que transforma el cambio de temperatura en señales eléctricas que son procesadas por un módulo de control para cumplir una acción determinada.

Según (Marek, 2003) menciona que los sensores de temperatura que miden desde - 40 a 170 °C cubren los requerimientos de control como climatización y sistemas de gestión electrónica. La mayor parte de los sensores fabricados para dicho propósito son del tipo de coeficiente de temperatura negativo (NTC), es decir a medida que aumenta la temperatura el valor de su resistencia disminuye.

### **d. Microcontrolador**

Es un circuito integrado de procesamiento de datos capaz de ejecutar una orden de acuerdo a un algoritmo de programación grabada en su memoria.

Los microcontroladores son CI que contienen, total o parcialmente, los elementos básicos de un computador completo (unidad de control, unidad de tratamiento, memoria y puertos de entrada/salida, E/S), estando proyectados para aplicaciones de supervisión, monitorización, gestión y control en sistemas tales como aparatos telefónicos electrodomésticos, instrumentos médicos, control de robots, líneas de ensamblado, etc. (Antonio Lloris Ruiz, 2003, pág. 470)

## **2.5. Dinamómetro de rodillos (LPS 3000)**

El dinamómetro de rodillos también conocido como dinamómetro de chasis es un equipo que permite medir la potencia y el par motor en las

ruedas motrices del vehículo mediante pruebas dinámicas tanto para motores de ciclo Otto como para motores diésel. Una de las características importantes es que ofrece múltiples posibilidades de diagnóstico en la simulación de carga y la representación gráfica de estos valores mediante curvas características.

### **2.5.1. Elementos del dinamómetro de rodillos (LPS 3000)**

El dinamómetro de chasis LPS 3000 está dotado de componentes muy sofisticados que proporcionan una representación clara y estructurada de los valores medidos y un manejo práctico, cuenta con los componentes que se detallan a continuación:

- Juego de rodillos
- Freno de corrientes parasitas (Eddy Current Brake)
- Chasis del dinamómetro
- Cardan
- Bomba hidráulica
- Cilindros hidráulicos
- Ventiladores
- Sistema de adquisición de datos (tarjetas electrónicas)
- Pupitre de comunicaciones
- Pantalla LCD, CPU y teclado
- Control remoto
- Caja de interfaces con sensores
- Ventilador refrigerante
- Opacímetro (MDO2 LON)
- Analizador de gases (MGT5)
- Extractor de gases



Figura 17. Dinamómetro de rodillo LPS 3000 y sus componentes

## 2.5.2. Características

Tabla 3

### Características principales del dinamómetro MAHA LPS 3000

<b>PUPITRE DE COMUNICACIONES</b>	
<b>Monitor de color</b>	19" diámetro diagonal
<b>Dimensiones pupitre (An x Al x L)</b>	600 x 1850 x 800 mm
<b>Alimentación</b>	400 V, 50 Hz
<b>REQUISITOS MÍNIMOS PC</b>	
<b>CPU</b>	Procesador a partir de 800 MHz
<b>Memoria RAM</b>	256 MB
<b>Disco duro</b>	> 4 GB
<b>Sistema operativo</b>	Windows XP Professional
<b>JUEGO DE RODILLOS</b>	
<b>Carga sobre el eje</b>	15 t
<b>Longitud</b>	4550 mm
<b>Ancho</b>	1100 mm
<b>Altura</b>	625 mm
<b>Peso</b>	2410 kg
<b>Longitud de rodillo</b>	900 mm
<b>Vía min.</b>	820 mm
<b>Vía máx.</b>	2620 mm
<b>Diámetro mínimo de rueda para ensayar</b>	12"
<b>Diámetro rodillo</b>	318 mm
<b>Distancia entre rodillos</b>	565 mm
<b>Sobreelevación rodillo</b>	45 mm
<b>Sistema de elevación con bloqueo</b>	Hidráulica

CONTINÚA

<b>DATOS ELÉCTRICOS</b>	
<b>Datos corr. Parásita</b>	2 x 330 kW
<b>Alimentación</b>	400 V / 50 Hz
<b>Protección por fusible</b>	63 A lento
<b>CAMPO DE INDICACIÓN</b>	
<b>Velocidad de ensayo</b>	Máx. 200 km/h
<b>Potencia rueda</b>	30 – máx. 660 kW
<b>Fuerza de tracción</b>	Máx. 25 kN
<b>Núm. de revoluciones</b>	10 – 10000 rpm

Fuente: (Manual del usuario MAHA LPS 3000)

### 2.5.3. Normativa

Actualmente en el Ecuador no existen normativas sobre procedimientos y ensayos para el manejo de equipos de medición como el dinamómetro de chasis, según el fabricante el valor de la potencia normalizada, obtenida a las mejores condiciones ambientales se corrige según las normas internacionales como ISO 1585, SAE-J1349, DIN-70020, JIS D-1001 y EWG 80/1269

Existen normas internacionales que regulan las características críticas con las que deben cumplir los dinamómetros de rodillos para su construcción, es el caso de la norma mexicana NOM-047-SEMARNAT-1999, por otro lado la normativa para los Estados Unidos de América establece su Código Federal de Regulaciones (CFR) en su título 40 y protección al ambiente bajo el apartado 86.108-00 algunas especificaciones técnicas de diseño con las que deben cumplir los dinamómetros, también existe una normativa destinada para el estado de California la norma BAR 97 emitida por el buró de reparaciones automotrices donde se especifica las características de construcción de los dinamómetros de rodillos, a continuación se muestra una síntesis comparativa de los requisitos de diseño para cada una de las normativas antes mencionadas, tabla 4.

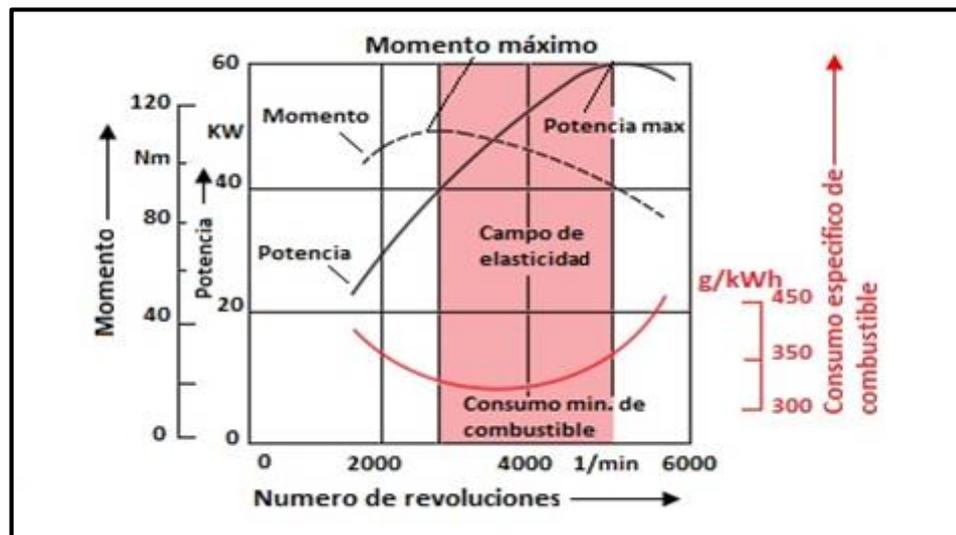
Tabla 4

## Normativas aplicables al diseño de dinamómetros de rodillos

Característica	NOM-047- SEMARNAT-1999	BAR 97	CFR Título 40 apartado 86.108-00
<b>Capacidades</b>			
Peso mínimo de diseño que debe soportar	3500 Kg	600 lb (2718 Kg)	
Velocidad de operación (mín. -máx.)	0-100 Km/h	0 a 60 mph (0 a 96,561 Km/h)	
Ancho de vía mínima que debe poder probarse	86 cm	30 in (76,2 cm)	
<b>Rodillos</b>			
Diámetro	Mín 20,32 cm	8,5 a 21 in	8,65 in o 48 in (21,961 o 121,92 cm)
Distancia entre centro de los rodillos	Distancia entre eje (61,913+D)*seno 31,62° [cm]	Distancia entre eje (24,35+D)*seno 31,52° [in]	17 in (43,18 cm)
Requerimientos especiales		Todos los rodillos acoplados entre ellos	
<b>Unidad de absorción de potencia</b>			
Tipo de unidad de absorción de potencia aceptada	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Eléctrica
Potencia mínima absorbida	19 kW a partir de 22 Km/h	25 hp a partir de 14 mph (18.6 kW a 22,5 Km/h)	
Incrementos de ajuste de la potencia mínima absorbida	0,1 kW	0.1 hp (0,074 kW)	
Tipo de servicio y duración de las pruebas	Continuo con pruebas de 5 min con 30s entre prueba	10 pruebas consecutivas de 5 minutos de duración y reposo 3 min entre pruebas	
<b>Simulación de inercia</b>			
Tipo de simulación de inercia aceptada	Mecánica eléctrica	Mecánica eléctrica	
Rango de ajuste de simulación de inercia		2000 lb a 6000 lb (907,18 a 2721,6 Kg)	
Error por simulación de inercia	1%	3%	
<b>Calibración e incertidumbre del equipo</b>			
Calibración estática	Requerida automáticamente cada 3 días		
Calibración dinámica	Requerida automáticamente cada 30 días	Requerida automáticamente cada 72 horas	
Incertidumbre en la medición de potencia	± 0.186 kW o 2.0 %	± 0,25 hp (± 0.186 kW)	
Incertidumbre en la medición de velocidad	0.1 Km/h	0.1 mph (0.1609 h)	

### 2.5.4. Curvas características del motor de combustión interna

Las características de un motor de combustión interna se deducen de los valores de potencia, momento y consumo específico de combustible medidos en los bancos de pruebas para distintos regímenes de giro. Si esos valores se representan en un sistema de estudio de ordenadas y abscisas mediante la unión de los puntos resultan las curvas características del motor. (Gerschler, 1985)



**Figura 18. Curvas características a plena carga de un motor Otto de cuatro tiempos**

Fuente: (Gerschler, 1985, pág. 214)

Para una correcta interpretación de datos obtenidos mediante el dinamómetro de rodillos es importante conocer los conceptos que se detallan a continuación:

#### a. Torque o par motor

El par de torsión o torque es “la fuerza de giro que puede o no resultar en movimiento” (Crouse, 2007, pág. 78)

El torque o momento en un motor de combustión interna se produce a partir de la fuerza que genera cada explosión dependiendo del valor de la cilindrada y de la eficiencia volumétrica aplicada a la biela para hacer girar el

cigüeñal, es también conocido como esfuerzo de giro de rotación o torsión, las unidades de medición en el sistema internacional es el Newton-metro (N·m) (Arias Paz, 1999)

Este valor en un dinamómetro lo calcula al dividir la potencia normalizada y la velocidad angular mediante la ecuación 6.

$$M_M = \frac{P_n}{2\pi n} [N \cdot m]$$

**Ecuación 10.** Par de torsión

Donde:

$M_M$  Par de torsión  
 $P_n$  Potencia normalizada  
 $n$  Numero de revoluciones

### **b. Potencia**

La potencia de un motor de combustión interna es “la velocidad con la que se efectúa el trabajo” (Crouse, 2007, pág. 78)

La potencia útil máxima que puede generar un motor es la potencia que puede dar un motor de forma continua sin llegar a recalentarse, en la zona situada un poco por debajo de la potencia máxima del motor se considera el rango más económico de funcionamiento del motor, es donde se da el consumo mínimo específico de combustible, en la vida real rara vez el motor funciona a plena carga por lo que es importante las mediciones a carga parcial de la potencia a diferentes regímenes de giro generalmente su unidad de medición es caballos de fuerza (hp) o en kilowatts (kW) en el sistema internacional de medidas. (Gerschler, 1985)

- **Potencia a la rueda**

Es la potencia que entrega el motor a los neumáticos para vencer su inercia, potencia que es desarrollada por el motor y la transmite a través del sistema de transmisión hasta las ruedas para su movimiento.

- **Potencia de arrastre**

La potencia que genera el motor disponible en el volante de inercia nunca es la misma que se obtiene en las ruedas debido a que parte de ella se pierde en la transmisión de movimiento por diferentes causas ya sea térmicas o mecánicas.

- **Potencia motor**

Potencia efectiva es “la que llega al volante de impulsión deducidas las perdidas (rozamiento, accionamiento de auxiliares como la bomba de aceite, la distribución de válvulas)” (Kindler & Kynast, 1986, pág. 150)

Se mide su valor con la ayuda de un dispositivo de freno de corrientes parasitas el mismo que se opone al par motor permitiendo medir su valor, dispositivo utilizado en el dinamómetro de rodillos, su ecuación está dada por la suma de la potencia a la rueda y la potencia de arrastre así:

$$P_m = P_f + P_{arras} (KW)$$

**Ecuación 11.** Potencia motor

Donde:

$P_m$  Potencia motor

$P_f$  Potencia al freno

$P_{arrt}$  Potencia de arrastre

- **Potencia normalizada**

La potencia normalizada es el valor obtenido a las mejores condiciones ambientales, en un dinamómetro este valor se corrige según las normas internacionales como ISO 1585, SAE-J1349, DIN-70020, JIS D-1001 y EWG 80/1269

$$P_n = M_M * w = M_M * 2\pi n \text{ [KW]}$$

**Ecuación 12.** Potencia normal

Donde:

$P_n$	Potencia normal
$M_M$	Par de torsión
$w$	Velocidad angular
$n$	Numero de revoluciones

**a. Consumo específico de combustible**

El consumo específico de combustible es mínimo cuando la dosificación de la relación aire-combustible hacia los cilindros es una mezcla estequiometrica. Si la mezcla es más rica o más pobre el consumo específico de combustible aumenta, el menor consumo se da en la zona media del número de revoluciones del motor de cuatro tiempos, en la zona de revoluciones bajas el consumo aumenta a causa de la defectuosa mezcla de las partículas de combustible con el aire y en la zona de régimen de revoluciones altas el consumo también aumenta por combustión incompleta, sus unidades de medición son litros/100km en el sistema internacional de medidas. (Gerschler, 1985).

El consumo específico de combustible determina cuanto combustible se ha gastado para generar una cierta potencia.

$$c.e.c = \frac{c.c}{P} \left( \frac{gr}{s} \right)$$

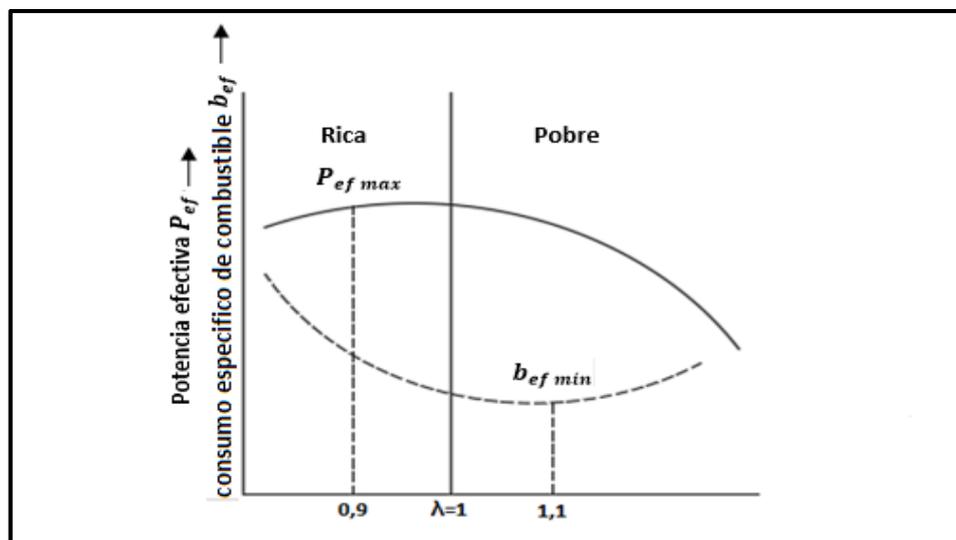
**Ecuación 13.** Consumo específico de combustible

Dónde:

*c.e.c* Consumo específico de combustible

*c.c* Consumo de combustible

*P* Potencia generada



**Figura 19.** Relación de aire vs consumo específico de combustible

Fuente: (Gerschler, 1985, pág. 290)

## 2.6. Analizador de gases CARTEK

El analizador de gases CARTEK es un equipo de medición de gases residuales producidos por el motor de combustión interna a gasolina durante su funcionamiento, es capaz de determinar la composición química de algunos compuestos presentes en los gases combustionados, así como su valor, permitiendo realizar un diagnóstico exacto del nivel de emisiones contaminantes.

De acuerdo a su configuración y diseño, el analizador de gases CARTEK permite la medición de residuos de la combustión como los HC en partes por millón (ppm), el valor de CO, CO<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub> en porcentaje (%) tanto en

ralentí como a velocidad crucero, para su propósito consta de las siguientes componentes:

- Filtro de carbón activo.
- Filtro de retención de humedad.
- Sensores electroquímicos para medir los niveles de contaminantes.
- Sonda de muestreo del tubo de escape.
- Módulo magnético de revoluciones BEAR 57-500.
- Monitor, impresora y CPU.
- Válvula de calibración para altas y bajas.
- Regulador de voltaje.
- Software – Interface.



**Figura 20. Analizador de gases CARTEK y sus partes**

## 2.6.1. Características

**Tabla 5**

### Características del analizador de gases CARTEK

ANALIZADOR DE GASES CARTEK				
Ámbito de aplicación	Medición de gases de escape móvil o fija en procedimiento de corriente y carga parcial en motores Otto en gasolina			
Gases mesurables	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>
Rangos de medición	0-15 Vol. %	0-20 Vol. %	0-2000 ppm Vol.(hexano) 0-4000 ppm Vol.(propano)	0-25,0 Vol. %
Resolución de valores de medición	0,01 Vol. %	0,01 Vol. %	1 ppm Vol.	0,01 Vol. %
Principio de medición	Infrar	Infrarrojos	Infrarrojos	Electroquímico rojos
Valor lambda	Rango de indicación: 0,500-9,999			
Fase de calentamiento	mín. 30s, máx. 10 mín., promedio 2,5mín. Termostato			
Tasa de circulación total	Máx. 3,5 l/mín. Mín. 1,5 l/mín.			
Caudal gas de medición	Máx. 2,5 l/mín. Bomba de membrana			
Suministro de corriente	85-280 V, 50 Hz, 65 W, 12-24 V DC			
Temperatura de funcionamiento	+5-+45°C			
Temperatura de almacenamiento	-10-+60°C			
Prueba de estanqueidad	Guiada por menú			
Prueba de residuos	Automático			
Calibración	Guiada por menú con PC			
Interfaces	LON-OBD-USB			
Dimensiones	560 x 240 x 300 mm			
Peso	aprox. 10kg			
Medidor de revoluciones	Diferentes sensores de captación			
Termómetro de aceite	0 a +150°C			
Clase de precisión	PTB: Clase 1 y OIML: Clase 0			

**Fuente:** (Laboratorio mecánica de patio ESPE-L)

### 2.6.2. Normativa

El monitoreo y control de emisiones contaminantes emitidos al ambiente por los vehículos a gasolina en el Ecuador están regulados según la resolución 078-2008 del reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 017:2008, para su propósito establece los límites permitidos de emisiones contaminantes de vehículos a gasolina para prueba estática y dinámica en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002, también establece el método de ensayo para pruebas estáticas a realizar en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000, los requerimientos y características técnicas del analizador de gases para llevar a cabo dichos procedimientos se especifican en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003

### 2.7. Analizador de gases AGS-688

El analizador de gases AGS-688 es un instrumento de medición de gases combustionados por motores de combustión interna, tiene la capacidad de determinar la composición química de algunos gases presentes durante la combustión como hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) en partes por millón (ppm Vol.), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) en porcentaje (% Vol.), también muestra la medición de lambda permitiendo realizar el diagnostico de una manera eficaz.



Figura 21. Analizador de gases AGS-688

### 2.7.1. Características

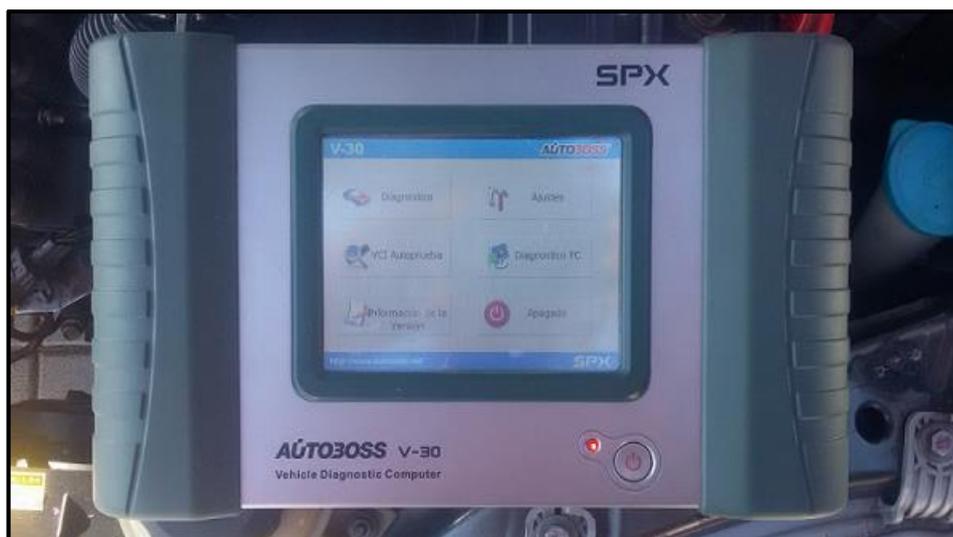
**Tabla 6**

**Características técnicas del analizador AGS-688**

Capacidad de medición de gases	
Monóxido de carbono (CO)	De 0 a 9,99% Vol. Res. 0,01
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	De 0 a 19,9% Vol. Res. 0,1
Hidrocarburos (HC)	De 0 a 99999 ppm Vol.
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	De 0 a 25% Vol. Res. 0,01
Óxidos de nitrógeno NOx	De 0 a 5000 ppm Vol. Res. 1
Lambda	De 0,5 a 5 Res. 0,001
Revoluciones	De 300 a 9990 Res. 10
Temperatura de aceite	De 20 a 150°C Res. 1
Cámara de medición	AMB2 sensores
Aspiración de gas de medición	4 l/mín.
Eliminación condensación	Automática y continua
Prueba de estanqueidad	Semiautomática con cierre manual
Compensación de presión	Automática de 850 a 1060 KPa
Reseteo	Automático
Tiempo de calentamiento	A 20°C: 10 minutos máximo
Tiempo de respuesta	CO, CO <sub>2</sub> y HC < 15 seg

### 2.8. Scanner de diagnóstico automotriz AUTOBOSS V30

El scanner automotriz AUTOBOSS V30 es una herramienta tecnológica indispensable en el diagnóstico de código de fallas y averías del motor de combustión interna, es un scanner multimarcas, gracias a su amplio campo de aplicación y software de actualización por internet permite la detección y solución de problemas relacionados al campo automotriz.



**Figura 22. Scanner automotriz AUTOBOSS V30**

### 2.8.1. Características

**Tabla 7**

#### **Características del scanner AUTOBOSS V30**

<b>CPU</b>	<b>Samsung ARM9 2410, 200Mhz</b>
<b>Memoria</b>	32Mb
<b>Tarjeta de memoria</b>	SD de 512Mb/1Gb
<b>Pantalla</b>	320x240 (con pluma de toque)LCD
<b>Puertos</b>	Diagnóstico, COM, USB y Poder
<b>Sistema operativo</b>	Windows CE
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-30°C a 90°C
<b>Temperatura de operación</b>	-10°C a 80°C
<b>Humedad</b>	<90%
<b>Parámetros técnicos</b>	Cobertura a nivel OEM, para autos Americanos, Asiáticos y Europeos
	Soporte de Multi Idiomas
	Soporte tareas múltiples
	Conexión a la PC vía cable COM para hacer pruebas
	Función de CANBUS a alta y baja velocidad
	Un solo conector OBDII para todos los sockets de 16 pines sin selección y circuito de brinco
Actualizaciones a través de Internet	

**CONTINÚA** 

---

 Función de Auto-análisis
 

---

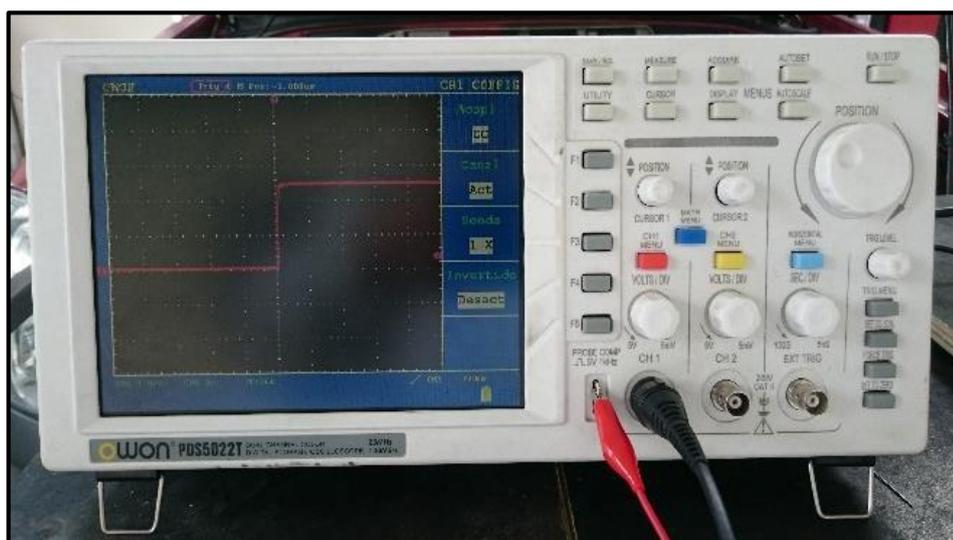
 Tarjeta Electrónica de 6 capas, de alta estabilidad y anti disturbios
 

---

**Fuente:** (Manual de usuario AUTOBOSS V30)

## 2.9. Osciloscopio OWON PDS5022T

El osciloscopio es un instrumento de visualización electrónico de ondas de señales eléctricas que varían en el tiempo, representa gráficamente las señales mediante coordenadas, como amplitud en el eje vertical y tiempo en el eje horizontal. Su capacidad para transformar una magnitud física en señales eléctricas y visualizar en forma de espectro en su interfaz gráfica en tiempo real lo convierte en una herramienta de diagnóstico ideal para el desarrollo de una investigación.



**Figura 23. Osciloscopio OWON PDS5022T**

### 2.9.1. Características técnicas

**Tabla 8**

**Especificaciones técnicas del osciloscopio OWON PDS5022T**

Componente	Característica
Monitor	8 "color TFT-LCD
Ancho de banda	25 MHz

CONTINÚA

<b>Canales</b>	Dos + externo
<b>Tasa máxima de muestreo</b>	100 MS / s
<b>Longitud de registro en tiempo real</b>	5 principales objetivos de ejecución por canal
<b>Fuente de alimentación</b>	100 a 240 V CA, 50 / 60Hz, CAT II o una batería de iones de litio recargable
<b>Dimensiones (HxWxD)</b>	157x350x103 mm
<b>Peso</b>	1.7 Kg

Fuente: (OWON, 2018)

## 2.10. Cuentarrevoluciones MGT 300

El cuentarrevoluciones MGT 300 es un instrumento portátil de medición de las revoluciones del motor por medio de la conexión a la batería del vehículo y también mediante un sensor microfónico colocado en la parte metálica del cabezote, cuenta con una sonda de temperatura para la medición de la temperatura del aceite del motor. Los datos se visualizan en la interfaz gráfica del equipo así también tiene la capacidad de comunicar con el analizador de gases AGS-688 por medio de bluetooth.



Figura 24. Cuentarrevoluciones MGT 300

### 2.10.1. Características técnicas

Tabla 9

#### Características técnicas generales del cuentarrevoluciones MGT 300

Categoría	Especificaciones
RPM del motor	300/9990 min <sup>-1</sup>
Resolución	10 min <sup>-1</sup>
Intervalo de temperatura de aceite	20/200 °C
Alimentación/carga con el cargador	12 Vdc , 10W
Alimentación/batería del vehículo	8/35 Vdc, 10W
Consumo	0,5 A DC
Temperatura de funcionamiento	5/40 °C
Dimensiones	200x35x100 mm
Peso	0,38 Kg

Fuente: (manual del usuario MGT 300 EVO)

### 2.11. Scanner OBDLink SX

El scanner OBDLink SX es una herramienta de diagnóstico automotriz de bajo costo y excelentes características de operación, es un adaptador USB que permite mediante su software libre OBDwiz visualizar los datos y gráficas en tiempo real en la pantalla del ordenador portátil.



Figura 25. Scanner OBDLink SX  
Fuente: (Manual del usuario OBDLink SX)

### 2.11.1. Generalidades

El scanner OBDLink SX trabaja con todos los vehículos fabricados desde 1996 y los nuevos coches y camiones ligeros. También es compatible con EOBD, JOBD, y todas las demás variantes internacionales del OBD II, soporta todos los protocolos OBD II legisladas citadas a continuación:

- ISO 15765-4 (CAN)
- ISO14230-4 (Kwp2000)
- ISO9141-2 (Asia, Europa, los vehículos de Chrysler)
- J1850 VPW (vehículos de GM)
- J1850 PWM (vehículos de Ford)

### 2.11.2. Características

**Tabla 10**

#### **Características del monitor-scanner OBDLink SX**

<b>Dimensiones</b>	<b>3,5 x 1,75 (89 x 45 mm)</b>
<b>Peso</b>	4 oz
<b>Tensión de funcionamiento</b>	8-18V DC
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-4° a 131° F (-20° a 55° C)
<b>Humedad de funcionamiento</b>	10 a 85% (sin condensación)
<b>Parámetros técnicos</b>	Borra y almacena los códigos de diagnóstico
	Control de las emisiones de Preparación (E-test)
	Borra y lee los códigos de averías
	Pantalla gráfica con parámetros en tiempo real
	El firmware es actualizable
	La gran memoria CAN hace del SX un escáner muy estable

**Fuente:** (Manual del usuario OBDLink SX)

## CAPITULO III

### 3. PROTOTIPO DE SISTEMA DE INDUCCIÓN

#### 3.1. Vehículo Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD

Chevrolet es una marca de vehículos perteneciente al grupo General Motors con sede en Estados Unidos, dedicada a la producción en serie de automóviles como el modelo AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD que se utilizó en la investigación.



**Figura 26. Automóvil Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD**

##### 3.1.1. Especificaciones técnicas

Las características y especificaciones técnicas del vehículo Chevrolet modelo AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD facilitan parámetros importantes de fabricación que se consideran en la presente investigación, las mismas que se detallan en la tabla 11.

**Tabla 11****Especificaciones técnicas Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6L 4P STD**

<b>DATOS GENERALES</b>	
Año de fabricación	2011
Categoría	Sedan
VIN	8LATD5861B0076485
Número de motor	F16D37133381
Color	Verde
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
Motor	E-TEC II 1.6 DOHC 16V
Relación de compresión	9,5:1
Potencia (HP a RPM)	103 @ 6000
Torque kg-m (Nm) @ RPM	14.7 @ 3600
Sistema de encendido	Electrónico
Alternador	85 Amp
Batería	12V/60AH
Combustible	Gasolina
Tracción	Delantera
Peso	1.160 kg
Llantas	185/60 R14

**Fuente:** (Chevrolet, 2011)

### **3.2. Revisión técnica mecánica**

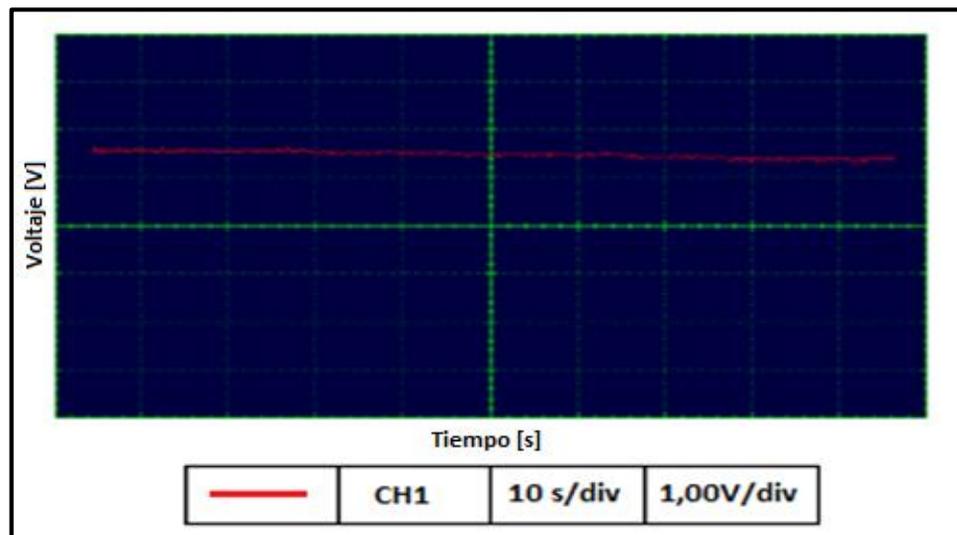
La revisión técnica mecánica consiste en realizar una inspección y mantenimiento preventivo de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos del vehículo a fin de ponerlo a punto antes de realizar los ensayos necesarios requeridos para la tabulación de datos en la investigación.

En la actualidad los vehículos están dotados de sofisticados sistemas de gestión electrónica variando de acuerdo al tipo de sistema de inyección, se realizó la inspección de los sensores, actuadores y demás elementos electrónicos con el fin de garantizar su funcionamiento correcto dentro de los valores teóricos de funcionamiento normal para cada uno de los componentes.

### 3.2.1. Sensor de temperatura de refrigerante de motor (ECT)

En la figura 27, se aprecia la variación de voltaje generado por el sensor ECT de tipo coeficiente negativo de temperatura (NTC).

A medida que aumenta la temperatura del motor la resistencia del sensor disminuye presentando un valor de voltaje bajo, de acuerdo a los valores teóricos normales de operación de 0 a 5 voltios.

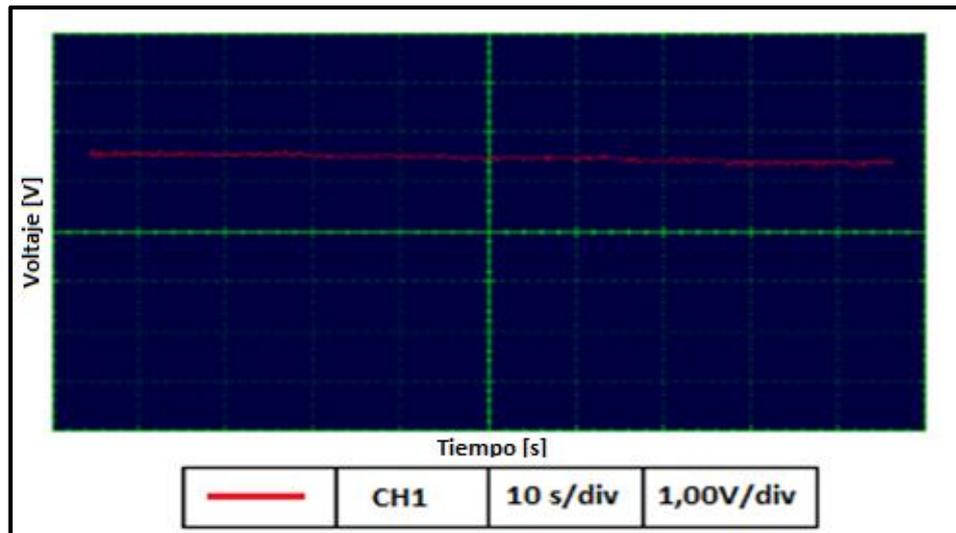


**Figura 27. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor ECT**

### 3.2.2. Sensor de temperatura de aire de la admisión (IAT)

La figura 28, muestra la curva característica del funcionamiento normal del sensor IAT, se observa la caída de voltaje con un valor mínimo mientras aumenta la temperatura del motor, el sensor es de coeficiente de temperatura negativo (NTC).

Los valores que presenta la gráfica están dentro de los parámetros teóricos normales del buen funcionamiento del sensor de 0 a 5 voltios.

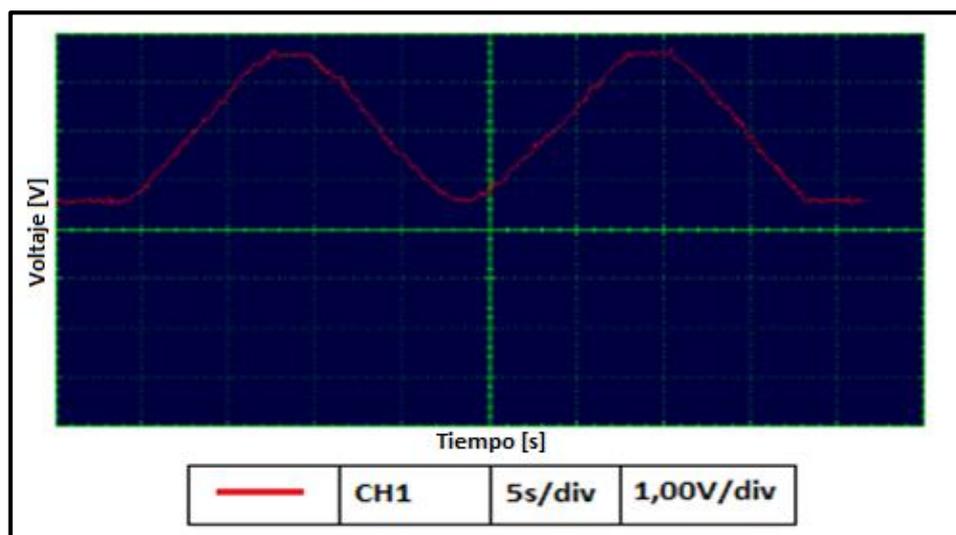


**Figura 28. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor IAT**

### 3.2.3. Sensor de posición del acelerador (TPS)

En la figura 29, se observa la curva de voltaje del funcionamiento normal del sensor TPS, el sensor es de tipo potenciómetro.

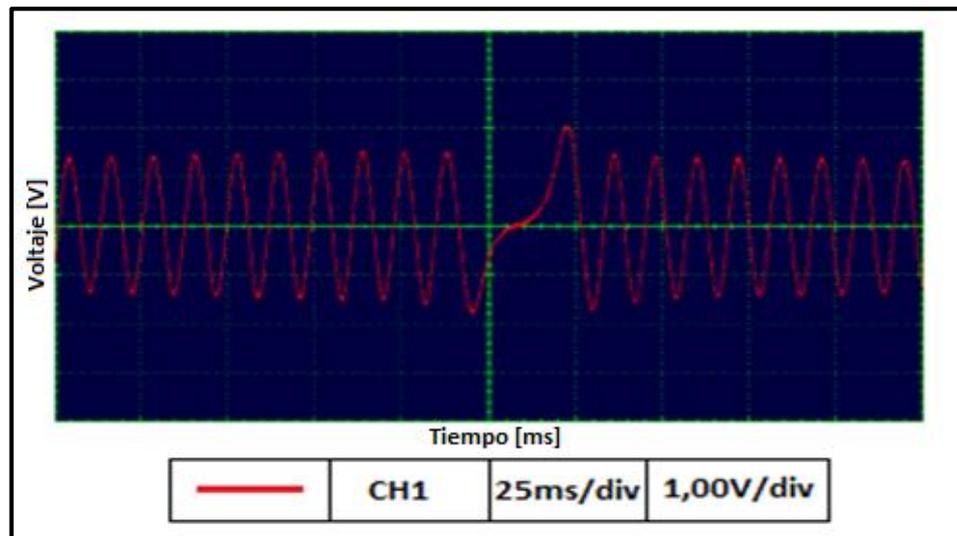
A medida que aumenta las revoluciones del motor se eleva el valor del voltaje, y este disminuye proporcionalmente cuando se reduce las revoluciones, los valores que presenta la gráfica están dentro de los valores teóricos de operación de 0 a 5 voltios.



**Figura 29. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor TPS**

### 3.2.4. Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

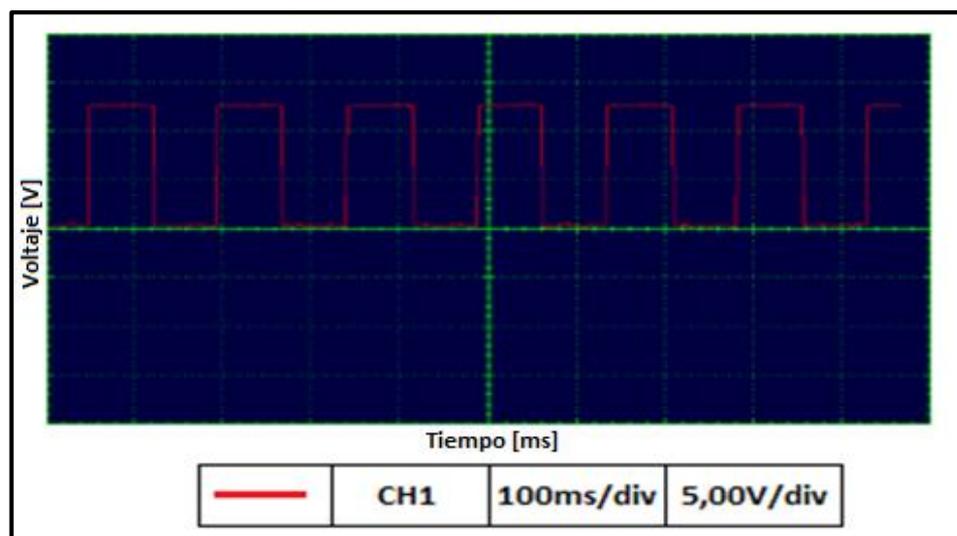
En la figura 30, se aprecia la curva característica del sensor CKP presentando un valor de amplitud de onda de 2V y un período de 12,5 ms que aumenta y disminuye a medida que se elevan las revoluciones del motor.



**Figura 30. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor CKP**

### 3.2.5. Sensor de posición del árbol de levas (CMP)

En la figura 31 se evidencia la curva característica de funcionamiento normal del sensor CMP de efecto Hall.



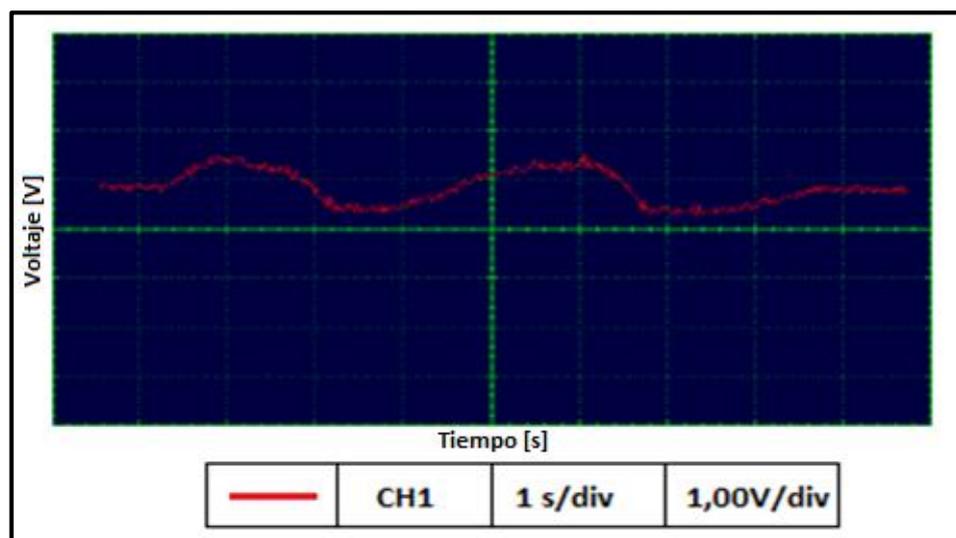
**Figura 31. Curva de voltaje de funcionamiento del sensor CMP**

La gráfica presenta valores de 12 voltios en amplitud de onda y 80 ms de período, encontrando dentro de los parámetros de valores normales de operación y el buen funcionamiento para dicho sensor.

### 3.2.6. Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)

En la figura 32 se observa la curva característica de sensor MAP que varía su voltaje de acuerdo a la carga motor y a la aceleración, el sensor es de tipo piezoeléctrico.

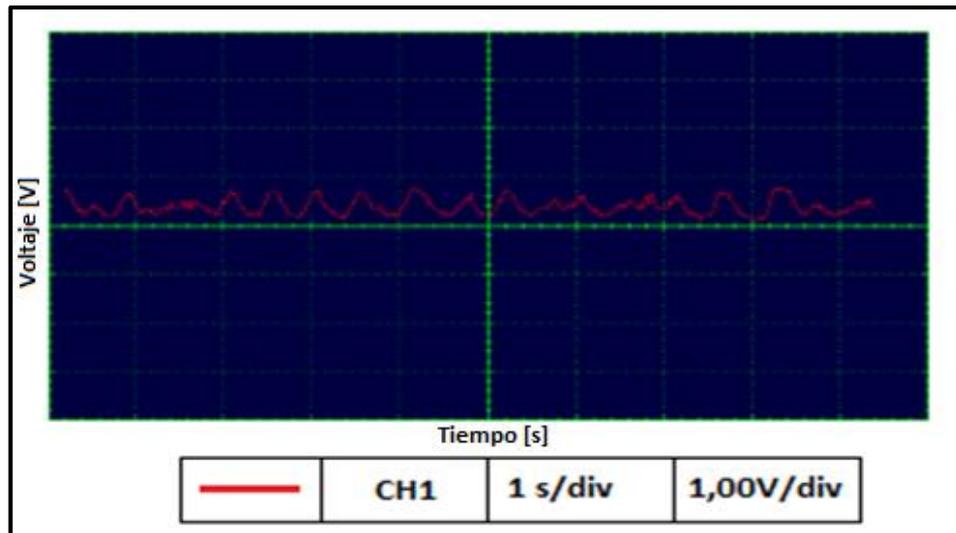
El diagnóstico es el buen funcionamiento de acuerdo a la forma de onda de voltaje en función del tiempo, el valor de amplitud de onda que presenta la gráfica es de 1,2 voltios, evidenciando que se encuentra entre el valor de operación para el tipo de sensor de 0,5 ~ 4,5 voltios



**Figura 32. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor MAP**

### 3.2.7. Sensor de oxígeno (EGO)

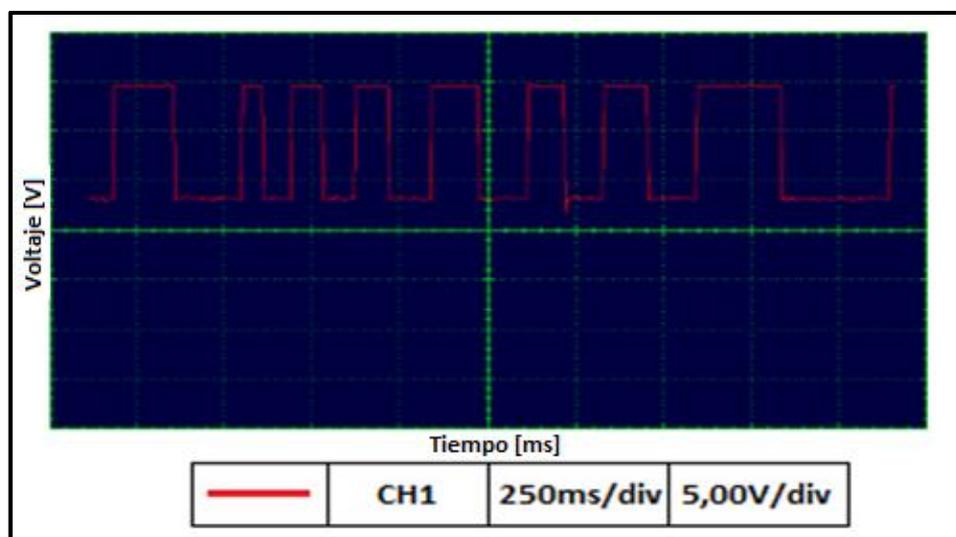
En la figura 33 se observa la curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor de oxígeno que cicla de acuerdo al valor de  $O_2$  presente en los gases de escape dentro de los parámetros de valores teóricos característicos de operación de 0 a 1 voltio.



**Figura 33. Curva de voltaje de funcionamiento normal del sensor EGO**

### 3.2.8. Válvula de control de marcha mínima (IAC)

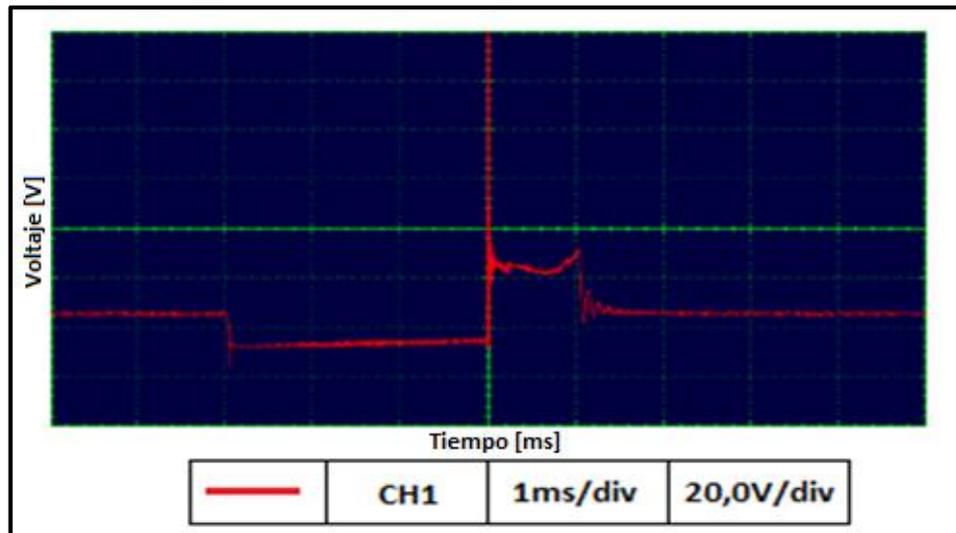
En la figura 34 se aprecia la curva característica de la válvula IAC, presenta una amplitud de onda de 12 voltios y la variación de período en diferentes tiempos, indicativo del funcionamiento correcto del componente.



**Figura 34. Curva de voltaje de funcionamiento normal de la válvula IAC**

### 3.2.9. Primario de la bobina de encendido por chispa perdida (DIS)

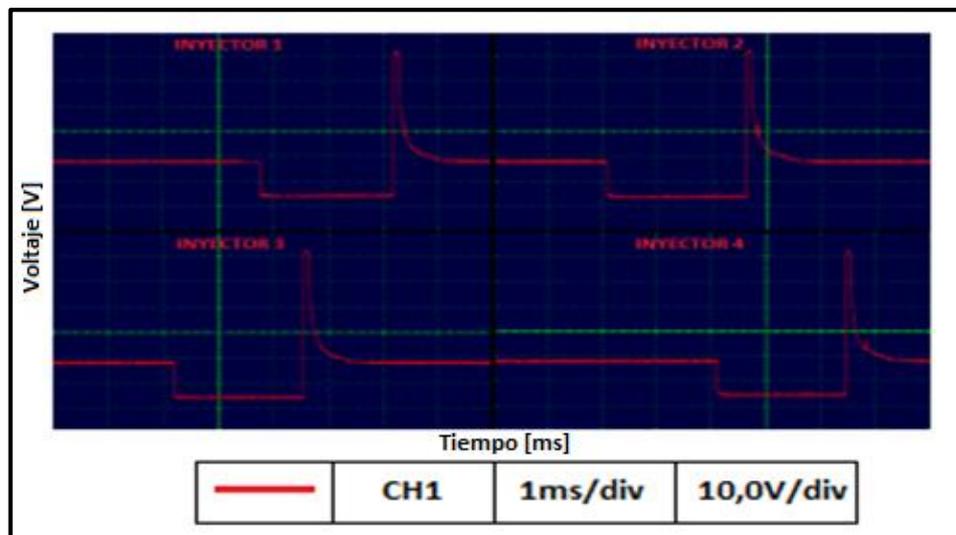
En la figura 35 se observa la curva característica de voltaje del funcionamiento normal del primario de la bobina de encendido



**Figura 35. Curva de voltaje de funcionamiento normal del primario de la bobina de encendido DIS**

### 3.2.10. Inyectores

En la figura 36 se aprecia la curva característica de inyección con un pico máximo de voltaje de 60V y un tiempo de apertura de los inyectores de 2,5 ms en los cuatro inyectores, presentan valores normales de operación.

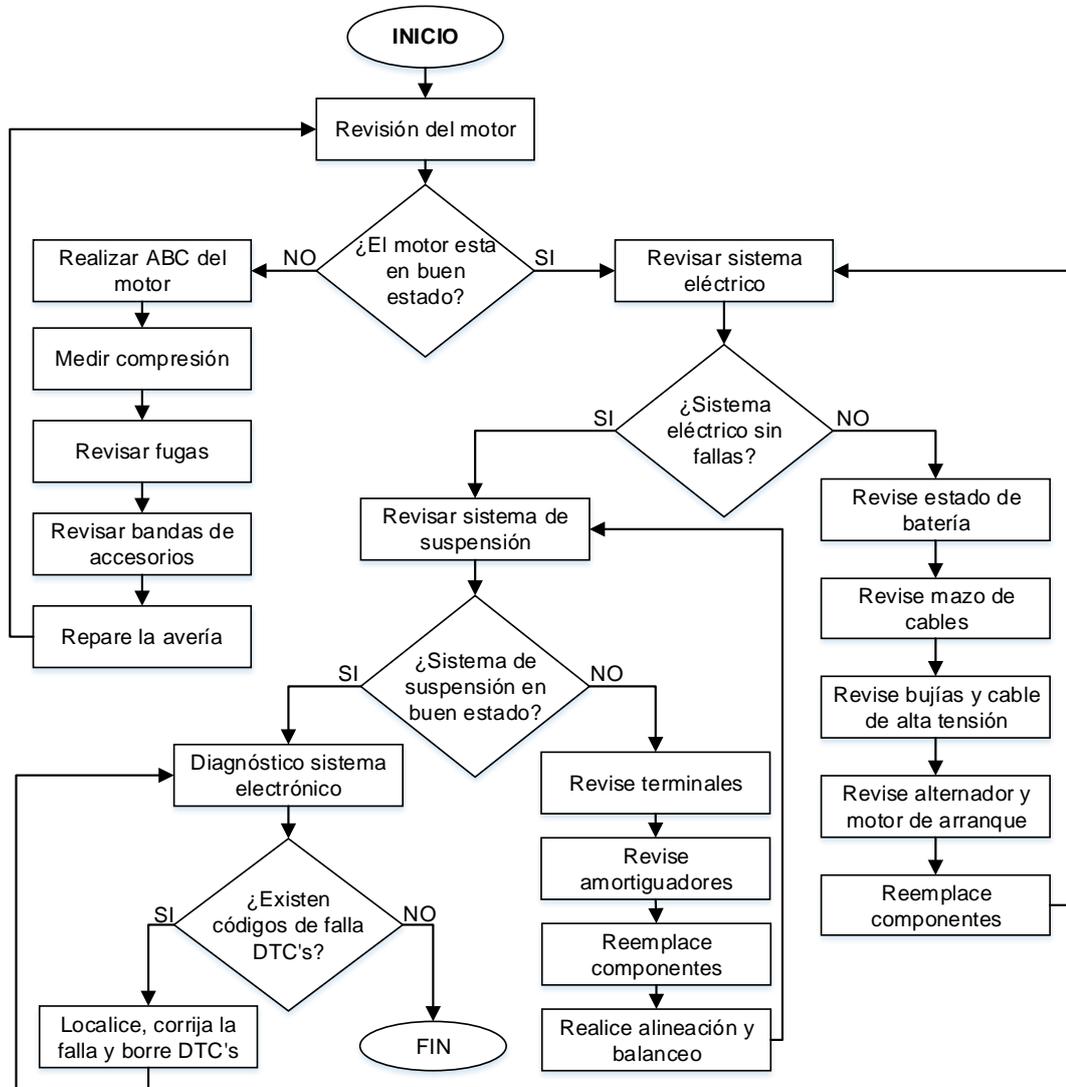


**Figura 36. Curva de voltaje de funcionamiento del inyector**

### 3.2.11. Revisión del motor y sus sistemas mecánicos

La condición óptima de funcionamiento de un vehículo depende del

estado del motor, así como de sus sistemas, se realizó la revisión técnica con el fin de identificar elementos deteriorados que han cumplido con su vida útil y reemplazarlos; se procedió de acuerdo a un plan de mantenimiento programado cada 5000 kilómetros, Anexo A, y según el diagrama de flujo que se detalla en la figura 37.



**Figura 37. Flujograma de la revisión del motor y sus sistemas mecánicos**

### 3.3. Acondicionamiento del monitor-scanner OBDLink SX en el vehículo

Uno de los parámetros importantes para la investigación es el acondicionamiento del scanner OBDLink SX en el vehículo ya que la herramienta de diagnóstico automotriz permite obtener información en

tiempo real sobre el valor de consumo de combustible en litros por kilómetro recorrido mediante una prueba de ruta establecida tomando en cuenta algunos factores.

### **3.3.1. Guía de instalación**

Para la instalación del scanner OBDLink SX en el vehículo es necesaria la percepción de algunos parámetros importantes de manipulación con el objetivo de lograr un funcionamiento idóneo del dispositivo y obtener una lectura correcta evitando daños innecesarios al mismo.

#### **a. Herramientas y material necesario**

La herramienta de diagnóstico automotriz OBDLink SX es un equipo compacto donde se integran funciones avanzadas con características de los scanner de alto performance, debido a esta razón hace posible la conexión directa entre el vehículo y una interfaz gráfica como la computadora portátil dotada de un software que permite la visualización de datos en tiempo real.

#### **b. Ubicación en el vehículo**

La ubicación del scanner OBDLink SX depende del lugar en el que se encuentra ubicado el conector OBD II en el vehículo, generalmente suele encontrarse al lado del conductor bajo el tablero de instrumentos.

#### **c. Conexión del scanner OBDLink SX**

Para la conexión del scanner OBDLink SX se requiere la instalación del software OBDwiz en la computadora personal, la misma que permite la visualización gráfica de datos en tiempo real.

Con el vehículo apagado se conecta el SX al puerto USB de la computadora portátil, el LED ubicado en el scanner se pone de color amarillo significa conexión exitosa, si el LED se pone de color rojo el software de la interfaz gráfica no se instaló correctamente. Seguido se conecta el SX con el

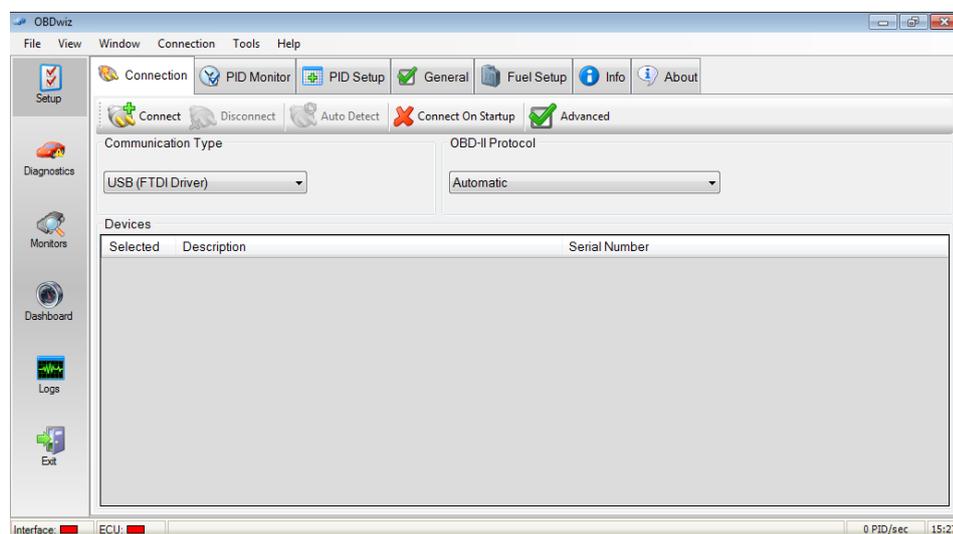
conector OBD II del vehículo y se lleva el switch de encendido a la posición ON, el LED se enciende de color verde.

#### d. Conexión de energía principal

El scanner OBDLink SX es una herramienta automotriz compacta que no necesita de una conexión externa para su demanda de energía, se alimenta directamente de la batería del vehículo por medio del conector OBD II, cuenta con un sistema de BatterySaver que permite dejar enchufado al vehículo sin el peligro de drenar la batería.

### 3.3.2. Interfaz de control y visualización

El scanner OBDLink SX provee al usuario de un software OBDwiz el mismo que presenta una interfaz de control y visualización de los datos y parámetros medidos en tiempo real con una gran cantidad de funciones, permite la interacción de una manera apropiada entre el vehículo, la herramienta de diagnóstico automotriz y el técnico que se encarga de la interpretación de los resultados

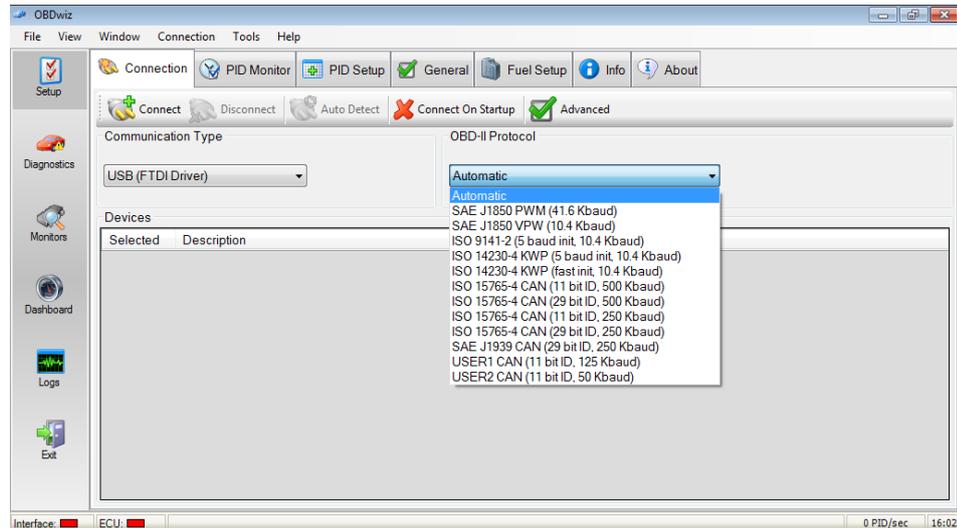


**Figura 38. Interfaz de control y visualización OBDLink SX**

### 3.3.3. Ajuste de parámetros scanner OBDLink SX

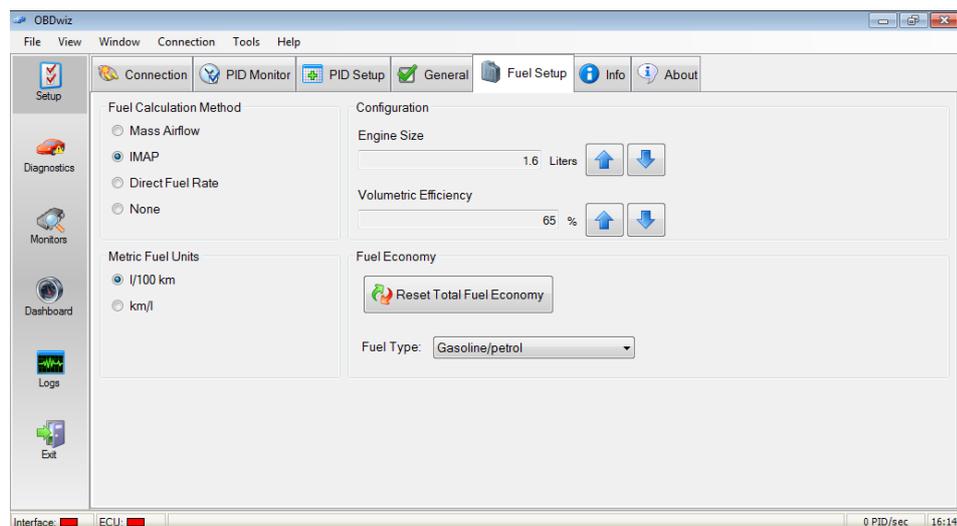
Una vez ejecutado el programa presenta la interfaz de la pantalla

principal donde requiere el ajuste de dos parámetros como son tipo de comunicación y protocolo OBD II, se selecciona la opción USB (FTDI DRIVER) y la opción AUTOMATIC respectivamente para que el scanner seleccione automáticamente el tipo de protocolo del vehículo para establecer.



**Figura 39. Parámetros tipo de comunicación**

Es necesario la configuración de algunos parámetros de funcionamiento del vehículo, es importante saber mediante qué tipo de sensor realiza el control y regulación de combustible, así como la cilindrada y el tipo de combustible que se usa sea gasolina o diésel.



**Figura 40. Parámetros de control y regulación de combustible**

### 3.4. Análisis del proceso catalítico del vehículo CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L

El análisis del proceso catalítico se realizó calculando la eficiencia del catalizador en la transformación de los gases contaminantes a gases inocuos y amigables con el medio ambiente.

Se procedió a la obtención de datos mediante pruebas de análisis de gases de escape, las primeras pruebas corresponden al vehículo sin el convertidor catalítico y las siguientes pruebas al vehículo con el convertidor catalítico a temperatura normal de operación del motor cuyos resultados se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12**

#### Resultados de la prueba de análisis de gases de escape con y sin convertidor catalítico

<b>VEHÍCULO SIN CONVERTIDOR CATALÍTICO</b>				
<b>GAS</b>	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>	<b>PRUEBA 3</b>	<b>PROMEDIO</b>
HC [ppm]	88,00	98,00	113,00	99,67
CO [% Vol.]	0,55	0,37	0,42	0,45
NOx [ppm]	547,00	411,00	396,00	451,33
CO <sub>2</sub> [% Vol.]	12,50	13,50	13,60	13,20
O <sub>2</sub> [% Vol.]	4,26	2,05	2,08	2,80
LAMBDA	1,21	1,09	1,06	1,12
RPM	820,00	810,00	820,00	816,67
T [°C]	90,00	90,00	90,00	90,00
<b>VEHÍCULO CON CONVERTIDOR CATALÍTICO</b>				
HC [ppm]	42,00	46,00	38,00	42,00
CO [% Vol.]	0,26	0,33	0,16	0,25
NOx [ppm]	236,00	254,00	365,00	285,00
CO <sub>2</sub> [% Vol.]	14,90	14,20	14,20	14,43
O <sub>2</sub> [% Vol.]	0,24	1,07	3,19	1,50
LAMBDA	1,00	1,04	1,15	1,06
RPM	770,00	770,00	750,00	763,33
T [°C]	90,00	90,00	90,00	90,00

Finalizado el proceso de pruebas de emisiones se evaluó el comportamiento de los gases residuales. Con el valor promedio se calculó la eficiencia del convertidor catalítico considerando la diferencia de

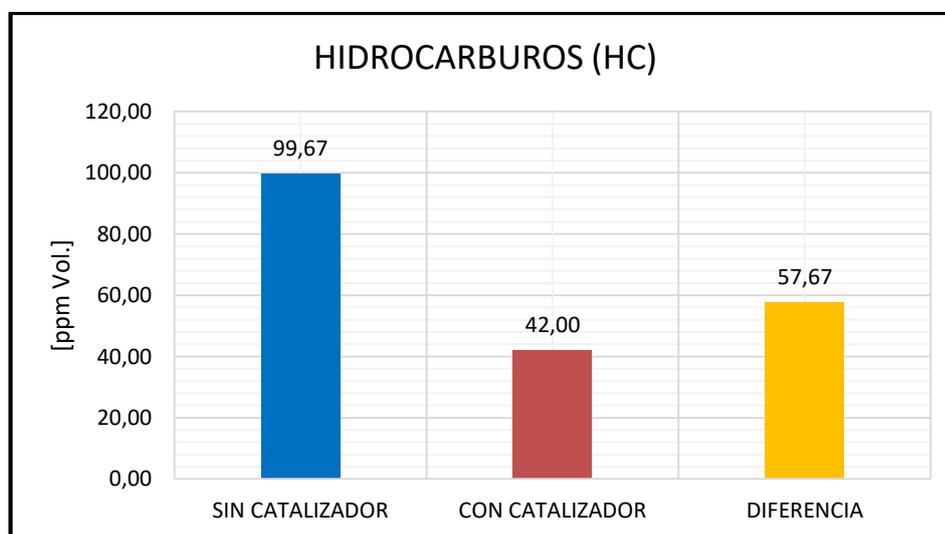
reducción de los gases contaminantes como: (Hidrocarburos no combustionados HC, Monóxido de carbono CO y Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>), mediante la ecuación 1.

**Tabla 13**

**Análisis del comportamiento del proceso catalítico con y sin convertidor catalítico**

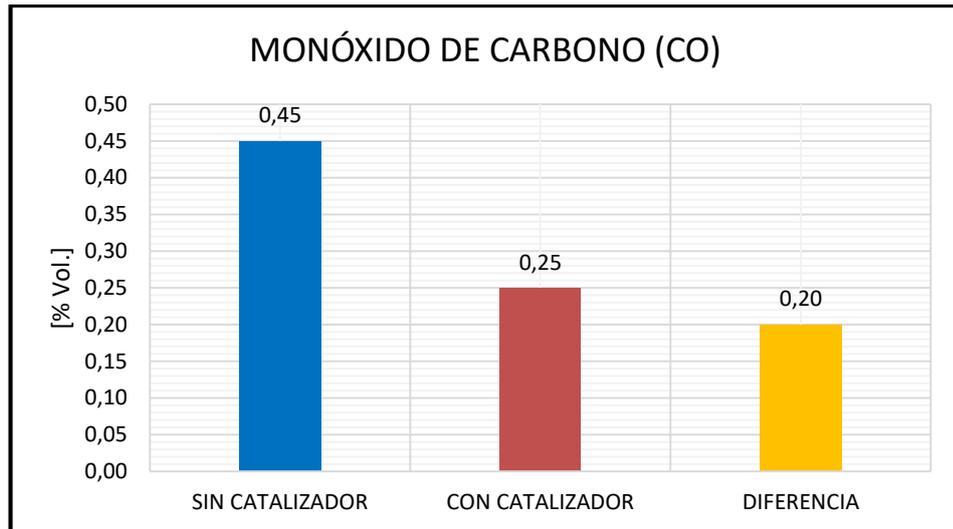
GAS	PRUEBA SIN CATALIZADOR [As]	PRUEBA CON CATALIZADOR [Ac]	ECUACIÓN	EFICIENCIA [%]
HC [ppm]	99,67	42,00	$EF_A = \left[ \frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100$	57,86
CO [% Vol.]	0,45	0,25		44,44
NO <sub>x</sub> [ppm]	451,33	285,00		36,85

La concentración de hidrocarburos no combustionados figura 41, sin catalizador registró un valor de 99,67 ppm y con convertidor catalítico de 42 ppm, existiendo una diferencia de 57,67 ppm, a partir de lo cual se establece matemáticamente una eficiencia del proceso catalítico del 57,86%.



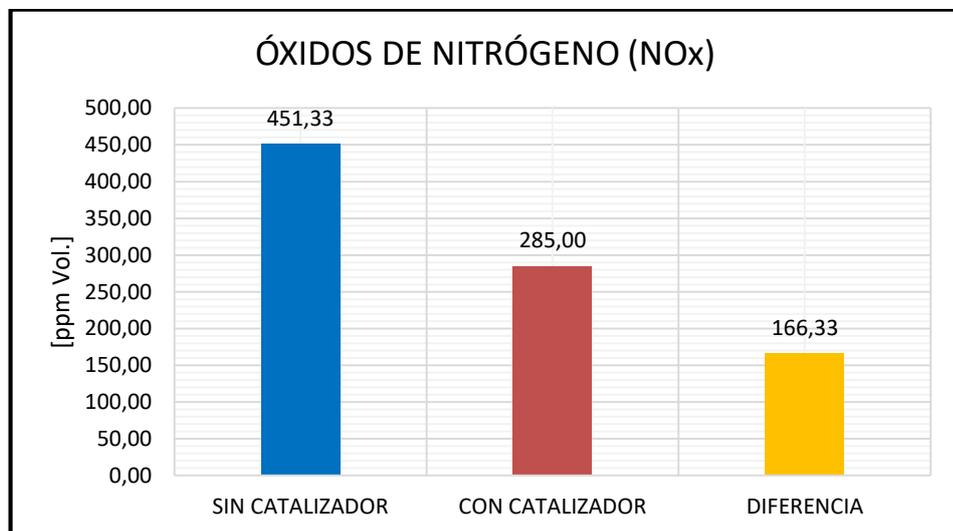
**Figura 41. Diferencia en reducción de Hidrocarburos con y sin convertidor catalítico**

En la figura 42 se observa el comportamiento del Monóxido de carbono con y sin convertidor catalítico marcó 0,45 y 0,25% respectivamente, evidenciando una reducción de 0,20% en volumen, con una eficiencia del catalizador del 44,44%.



**Figura 42. Diferencia en reducción de Monóxido de carbono con y sin convertidor catalítico**

la eficiencia de la conversión catalítica en óxidos de nitrógeno por parte del catalizador es del 36,85% dado la diferencia de las mediciones entre los resultados obtenidos con y sin catalizador que representa 166,33 ppm según la gráfica de la figura 43.



**Figura 43. Diferencia en reducción de óxidos de nitrógeno con y sin convertidor catalítico**

### 3.5. Diseño mecánico

Los requerimientos mecánicos para diseñar e implementar el sistema de inducción para el calentamiento del catalizador durante el

arranque en frío en el vehículo CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6, es la bobina de resistencia como principal componente, el aislante térmico y la carcasa metálica de protección, se diseñaron de acuerdo a las siguientes necesidades.

### **3.5.1. Espacio para el sistema de inducción en el vehículo**

El espacio para el sistema de inducción es imprescindible ya que toman la forma del convertidor catalítico genuino todos los componentes como la bobina de resistencia, aislante térmico, la carcasa metálica de protección y el sensor de temperatura, en el vehículo se cuenta con un espacio limitado que obliga a un diseño muy compacto.

### **3.5.2. Geometría del componente a calentar**

La forma rectangular del componente a calentar es importante ya que determina la geometría apropiada de la bobina de resistencia, el mismo que tiene que situarse en contacto con la superficie exterior del convertidor catalítico genuino.

### **3.5.3. Temperatura de funcionamiento del catalizador**

La temperatura de 309°C que requiere alcanzar el dispositivo a calentar se determinó experimentalmente mediante una termocupla tipo K fijada dentro del catalizador, y un controlador electrónico de temperatura para la lectura de los datos correspondientes.

### **3.5.4. Geometría de la bobina de resistencia**

La geometría de la bobina de resistencia se considera como la parte más importante del sistema ya que se diseñó a partir de la geometría del convertidor catalítico y el modelado del sólido mediante evaluación, simulación, validando el diseño y considerando parámetros eléctricos como la transferencia de calor y velocidad de calentamiento para su construcción.

### a. Transferencia de energía

Para lograr la transferencia de energía de 138,24 Kcal mediante la transferencia de calor por conducción, la superficie del convertidor catalítico y la bobina de resistencia debe estar en contacto directo para interceptar la mayor densidad de flujo de calor de 31,073 W/mm<sup>2</sup>.

### b. Velocidad de calentamiento

Según la geometría de la bobina de resistencia la mayor concentración de calor se da en el centro de la bobina en el caso de una bobina cilíndrica, cuanto mayor sea el consumo de corriente mayor cantidad de calor disipará para calentar el componente, de donde parte el diseño según la velocidad de calentamiento que se requiera y de la disponibilidad de la toma de corriente de 110VAC.

### 3.5.5. Aislamiento eléctrico y térmico

El aislamiento es uno de los factores indispensables tanto para la parte eléctrica y térmica no solo por la seguridad que ofrece el sistema, también reduce las pérdidas de calor a temperaturas de hasta 2300°C, hermetizando el conjunto con el fin de alcanzar la temperatura de 309°C de manera eficiente, se utilizó un material denominado fibra de cerámica cuyas características se observan en la tabla 14.

**Tabla 14**

#### Características de la fibra de cerámica

FIBRA DE CERÁMICA	
Características	Manta Flexible
	No combustible
	Resiste temperaturas de hasta 2300°C
	Corto período de calentamiento y enfriamiento
	Baja densidad y baja conductividad térmica
	Alta resistencia al choque térmico



**Fuente:** (Quiminet, 2017)

### 3.6. Requerimientos de diseño eléctrico y electrónico

Los requerimientos eléctricos y electrónicos necesarios para diseñar e implementar el sistema de inducción para catalizador en el vehículo Chevrolet AVEO ACTIVO 1.6, son: bobina de resistencia, baterías, inversor de potencia, controlador digital de temperatura, módulo de control electrónico, y sensor de temperatura.

#### 3.6.1. Bobina de resistencia

Para la generación de trabajo del sistema de calentamiento se diseñó una bobina de resistencia de alta potencia de 1440 Watt capaz de disipar 576000 Joule de calor, la mayor concentración de calor se concentra en el centro de la bobina sitio apropiado donde se ubica la carga eléctrica captando el mayor flujo de calor e incrementando su temperatura de manera apropiada.



**Figura 44. Bobina de resistencia**

#### 3.6.2. Batería

Dado a las condiciones de operación del sistema y la demanda de energía de 133,33A se utilizó baterías secas de plomo-acido de ciclo profundo con voltaje nominal de 12V, capacidad nominal de 170 A-h y una capacidad de reserva de 10 horas con descarga continua de 17A.

**Tabla 15****Ficha técnica de la batería**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje nominal (V)	12
Capacidad nominal (A-h)	170
Capacidad de reserva	C10
Corriente de cortocircuito (A)	3500
Resistencia interna (mΩ)	3.5
Dimensiones (mm)	125(W)x561 (L)x283(H)
Peso (Kg)	52.5



**Fuente:** (CODESOLAR, 2013)

**3.6.3. Inversor de potencia**

La alimentación de corriente eléctrica para el inductor de potencia demanda de una fuente de corriente alterna, la bobina requirió un consumo con potencia de 1440 Watt, se seleccionó un inversor de potencia disponible con capacidad de convertir 12VDC a 110VAC, y una potencia continua de 3500 Watt para cubrir las necesidades de energía del sistema.

**Tabla 16****Ficha técnica del inversor de potencia**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Peso (lb)	25
Dimensiones (in)	8.9(W)x19.9(L)x6.1(H)
Máxima potencia continua (W)	3500
Potencia máxima pico (W)	7000
Máxima eficacia (%)	Aprox. 90%
Rango de voltaje de entrada (VDC)	10.5-15.5
Toma de salida CA	4x110V CA
Forma de onda	Sinusoidal modificada



**Fuente:** (Manual del usuario PowerBright)

**3.6.4. Controlador digital de temperatura**

El control de la temperatura requirió de un dispositivo electrónico capaz de interpretar la señal generada por la termocupla tipo k y regular la temperatura en el catalizador a 309°C, evitando degradar el monolito cerámico por carga térmica, se utilizó un controlador digital de temperatura que permite gobernar el sistema, permitiendo controlar el arranque del vehículo, así también la activación y desactivación de sistema de inducción.

Tabla 17

## Ficha técnica controlador digital de temperatura

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Alimentación (VCA)	85-265
Dimensiones (mm)	48(W)x48(H)x94(L)
Entrada TC	K, J, R, S, B, E,N,T, U, L
Entrada RTD	PT100, JPT100
Salida	2 de control principal
Relé	Tipo SPST
Algoritmos de control	PID, P, PI, PD, ON/OFF



Fuente: (Manual del usuario TAIE FU48)

## 3.6.5. Módulo de control y monitorización del sistema

Se utilizaron dispositivos electrónicos como regulador de tensión de 12VDC a 5VDC para la alimentación del microcontrolador y amplificación de las señales de monitorización del funcionamiento del sistema utilizando como entradas para el procesamiento y control de la interfaz gráfica, también para el control de elementos de potencia (relevadores).



Figura 45. Módulo de control y monitorización del sistema

### 3.6.6. Relevador

La automatización del sistema de inducción requiere el control de arranque del vehículo activándose una vez superado los 150°C de temperatura, dado que el accionamiento se realiza desde el switch de encendido y el flujo de corriente mediante esta acción es de 15 amperes se utilizó un relevador que soporte dicha carga.



**Figura 46. Relevador automotriz**

### 3.6.7. Sensor de temperatura

La lectura de la temperatura del sistema de inducción demanda la utilización de un sensor de temperatura con rango mínimo de lectura de 0 a 400°C, se utilizó una termocupla tipo k que cumple los requerimientos necesarios cuyas especificaciones se detallan en la tabla 18.

**Tabla 18**

#### Ficha técnica termocupla tipo k

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Símbolo	K
Aleación de metal +	Níquel-cromo
Aleación de metal -	Níquel-Aluminio
Rango de temperatura °C	-150+1100
F.e.m a 100°C	4.095
Tensión (mV)	-5,891 a 54,886

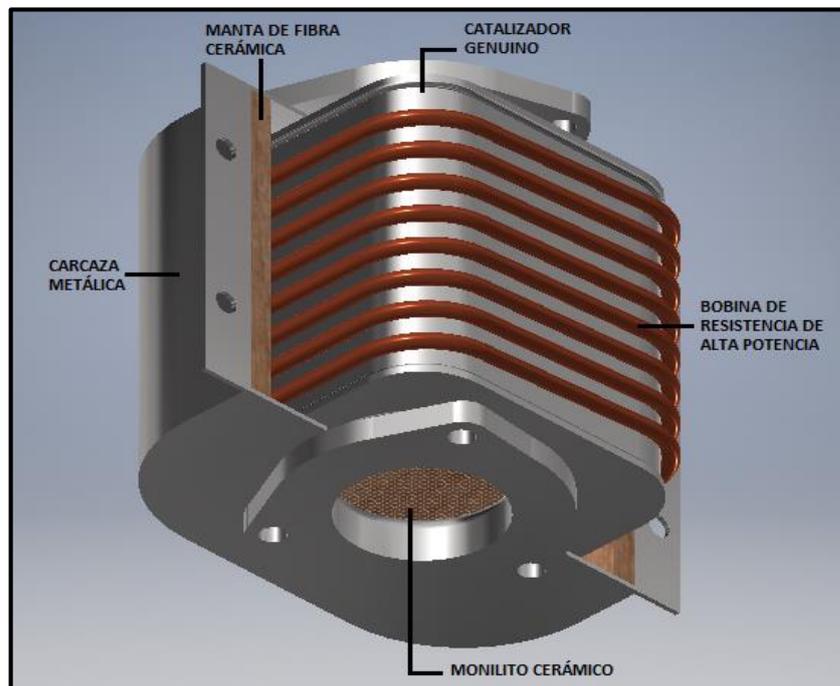


**Fuente:** (Weisz, 2014)

### 3.7. Modelado

El modelado se realizó en software CAD se utilizó un software del modelado paramétrico de sólidos, se modeló el catalizador genuino con sus medidas reales, Anexo B, utilizados para el diseño de la bobina de resistencia de alta potencia, aislante térmico y carcasa de protección de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- La bobina de resistencia de alta potencia debe cubrir todo el espacio del componente a calentar con un espacio mínimo entre espiras.
- Considerar un aislante térmico que se implementa entre la bobina y la carcasa de protección, a manera de concentrar el calor hacia el interior del sistema de inducción.
- Considerar la necesidad de una carcasa de protección con material que soporte altas cargas térmicas y mecánicas.
- Requerimientos mecánicos.



**Figura 47. Modelado CAD de sistema de inducción**

**Tabla 19****Materiales seleccionados mediante software para simulación y análisis**

Componente	Material	Propiedades	Valor
Catalizador genuino y carcasa metálica	Acero inoxidable	Módulo de Young (GPa)	190,29
		Módulo cortante (GPa)	85,98
		Límite de elasticidad (GPa)	0,228
Bobina de resistencia de alta potencia	Aleación de cromo-níquel	Aleación	80% Ni, 20% Cr
		Resistividad eléctrica ( $\Omega \cdot m$ )	100E-08
		Resistencia eléctrica ( $\Omega/m$ )	0,5250
Monolito cerámico y aislante térmico	Nitrato de silicio	Módulo de Young (GPa)	420,20
		Módulo cortante (GPa)	119,96
		Límite de elasticidad (GPa)	0,6099

En la figura 47 se muestra el modelado completo del sistema de inducción; para conocer la resistencia eléctrica total de la bobina de resistencia eléctrica del sistema de inducción, tabla 19, se determinó el área transversal de la bobina a partir del diámetro y longitud, valores tomados del modelado CAD, Anexo B.

Según (Giancoli, 1995) en su libro menciona que el alambre de Nicromo, 80% níquel, 20% cromo calibre 14, presenta una resistividad de  $100 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ , valor tomado a temperatura normal de  $20^\circ C$ .

**Tabla 20****Cálculo de resistencia de la bobina a partir del modelado CAD**

Valores obtenidos				Ecuaciones
Diámetro	$6.543 \times 10^{-3} m$	Número $\pi$	3,141592653	$A = \pi * \frac{d^2}{4}$
<b>Área de la resistencia (A)= <math>3,38 \times 10^{-5} m^2</math></b>				
Longitud	3,6 m	Resistividad	$100 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$R = \rho * \frac{L}{A}$
<b>Resistencia total de la bobina (R)= 0,1 <math>\Omega</math></b>				

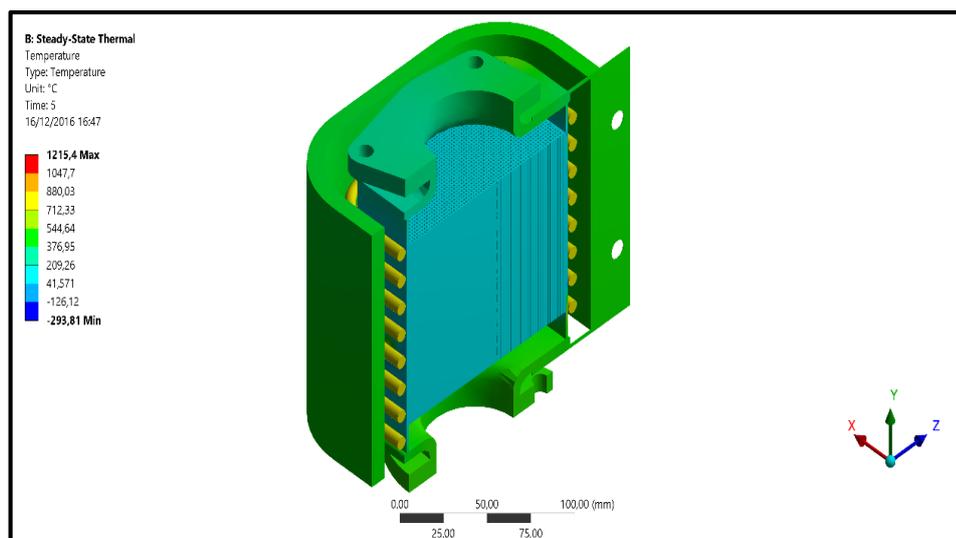
### 3.8. Simulación y análisis de funcionamiento en software CAD

La simulación y análisis del modelado de sistema de inducción se realizó con el software de simulación ingenieril, con el objetivo de predecir el funcionamiento y la reacción del sistema bajo parámetros reales, software ingenieril que permitió realizar un estudio estático térmico del componente para validar su diseño.

La simulación se realizó a partir de condiciones iniciales como la temperatura ambiente de 22°C, temperatura que debe alcanzar el catalizador en el monolito cerámico de 309°C, tiempo de transmisión de calor mediante conducción térmica de 3,75 minutos y materiales seleccionados mediante software, tabla 19, obteniendo los siguientes resultados que se ilustran a continuación:

#### 3.8.1. Concentración de temperatura

En la figura 48, se observa la concentración de temperatura del sistema de inducción, con un valor máximo del conjunto de 1215,4°C, la carcasa metálica de protección de 544,64°C, de la bobina de resistencia eléctrica de 880,03°C, concentrando una temperatura de operación del catalizador de 309°C en el monolito cerámico.



**Figura 48. Concentración de temperatura**

### 3.8.2. Flujo de calor direccional

El valor máximo de flujo de calor direccional es de  $31,073 \text{ W/mm}^2$  y valor mínimo de  $-45,798 \text{ W/mm}^2$ , figura 49, se observa que el flujo de calor no es uniforme y únicamente dicho fenómeno se presenta cuando la transferencia de calor se da por conducción térmica entre el convertidor catalítico y la bobina de resistencia que están en contacto directo.

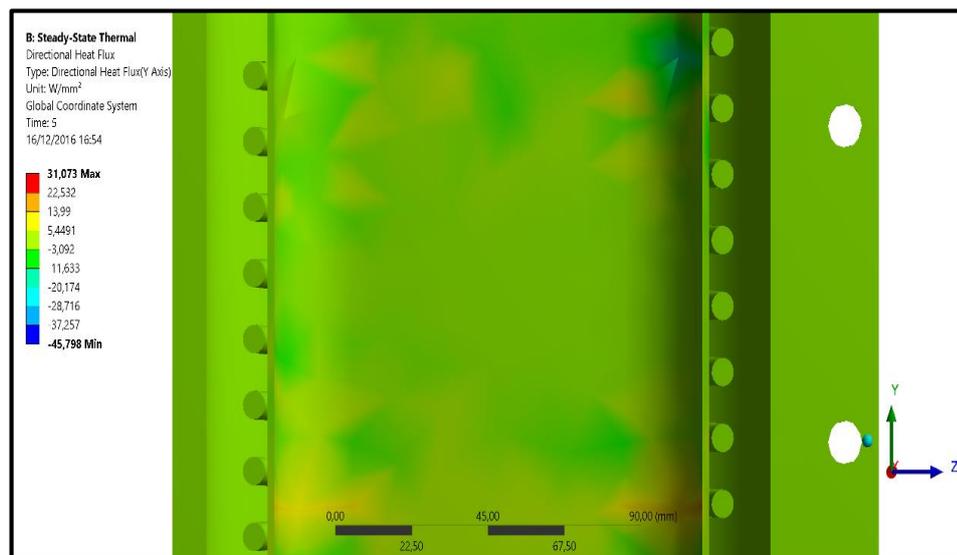


Figura 49. Flujo de calor direccional

### 3.8.3. Flujo de calor total

El flujo de calor total presenta un valor máximo de  $96,048 \text{ W/mm}^2$ , figura 50, se observa la propagación de calor en todo el sistema sometido a la transferencia de calor por conducción térmica, a distintos valores de acuerdo al flujo y concentración de calor.

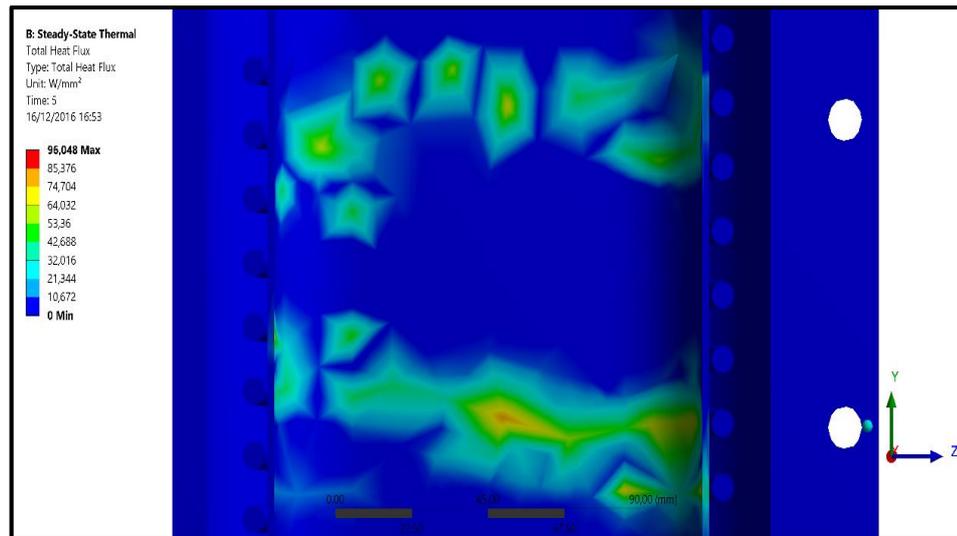


Figura 50. Flujo de calor total

Tabla 21

**Cálculo de cantidad de calor que disipa la bobina de resistencia**

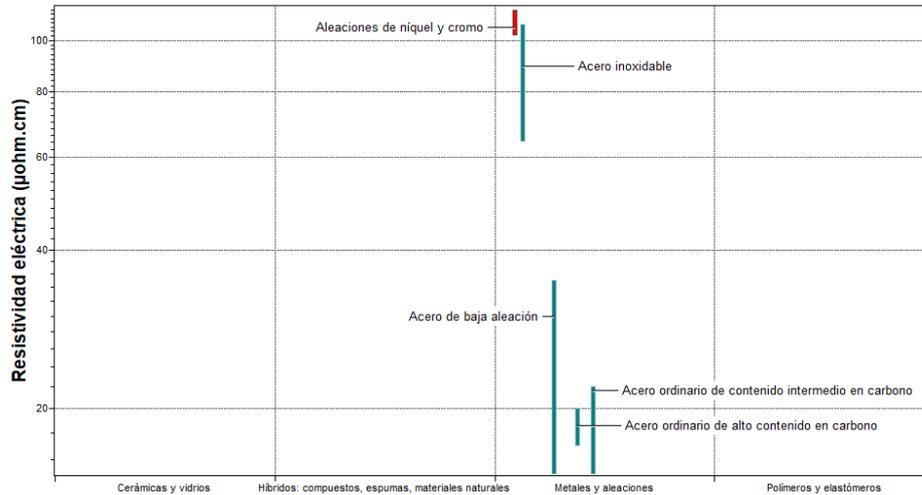
Valores Obtenidos				Ecuaciones
Voltaje nominal de la batería	12	Resistencia	0,1 $\Omega$	$I = \frac{V}{R}$
<b>Intensidad de consumo de la bobina (I)= 120 A</b>				
Resistencia	0,1 $\Omega$	Intensidad	120 A	$P = I^2 * R$
<b>Potencia de la bobina (P)= 1440 W</b>				
Tiempo promedio de funcionamiento			400 s	$W = P * t$
<b>Trabajo de la bobina (W)= 576000 Joule</b>				
Intensidad	27,29 A	Resistencia	4,03 $\Omega$	$Q = 0.24 * I^2 * R * t$
<b>Cantidad de energía que disipa la bobina (Q)= 138,24 Kcal</b>				

**3.8.4. Selección del material de construcción**

Una vez validado el diseño se seleccionó los materiales de construcción del sistema de inducción considerando la disponibilidad del mercado local, costo y a través de un software de estudio de materiales, y mediante las propiedades y características de los materiales seleccionados por software, tabla 19, considerando el procedimiento de selección de materiales.

### a. Material para bobina de resistencia

Según los valores de las características y propiedades seleccionados en el modelado de la bobina de resistencia se elige un material con una resistividad eléctrica superior a  $100 \mu\text{ohm.cm}$  para su construcción mediante el software de estudio de materiales como se aprecia en la figura 51.



**Figura 51. Material para bobina de resistencia**

### b. Material para carcasa de protección

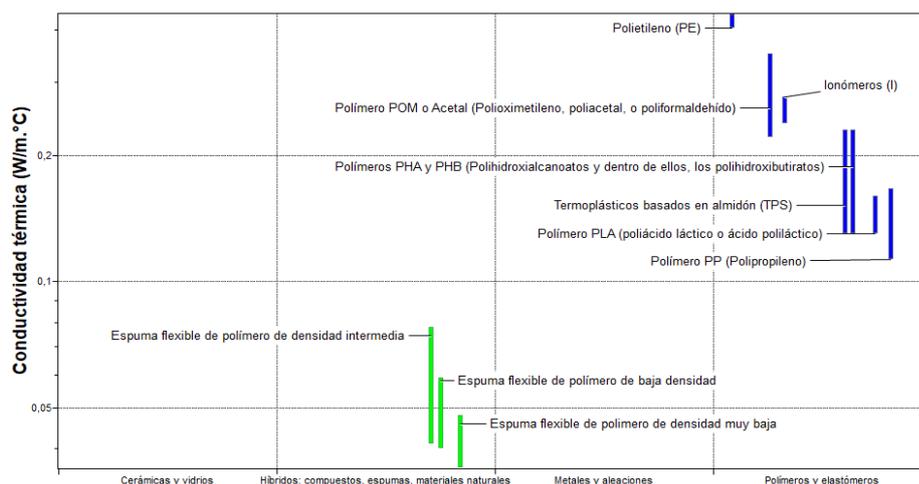
El material para la carcasa metálica de protección del sistema de inducción se seleccionó se acuerdo al estudio mediante software de materiales el acero inoxidable con un módulo de Young máximo de 210 GPa como se observa en la figura 52.



**Figura 52. Material para carcasa de protección**

### c. Material para aislante térmico

El aislante térmico se seleccionó mediante el software de estudio de materiales a partir de las propiedades del material elegido en el modelado CAD, tabla 19, con valores de conductividad térmica superiores a 0,2 W/m.°C.



**Figura 53. Material para aislante térmico**

### 3.9. Construcción del sistema de inducción

La construcción del sistema de inducción se diseñó por software CAD en función de los materiales seleccionados para su construcción, para cada uno de los componentes, la resistencia de la bobina tiene un valor de 0,1Ω, tabla 20, en la figura 54, se ilustra la bobina y su montaje en el catalizador.



**Figura 54. Bobina de resistencia y montaje en catalizador**

La carcasa metálica de protección y el aislante térmico se construyó de acero inoxidable y la fibra de cerámica respectivamente, en la figura 55, se muestran los componentes.



**Figura 55. Carcasa metálica y aislante térmico**

Con los componentes construidos se implementó el sistema de inducción en el vehículo de prueba considerando que el aislante térmico se tiene que ubicar entre la bobina y carcasa metálica, garantizando estanqueidad del conjunto, para lo cual se utilizó silicona de alta temperatura, figura 56.



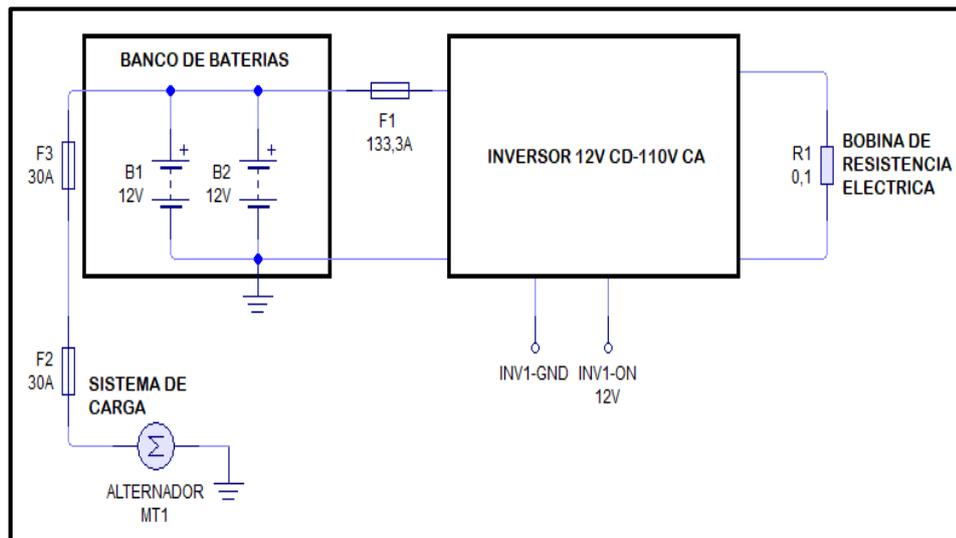
**Figura 56. Sistema de inducción**

### 3.10. Diseño eléctrico del circuito de control y potencia

El circuito de control y potencia monitorea la temperatura de funcionamiento del sistema de inducción, regulando en valor de 309°C en un tiempo aproximado de 3,75 minutos. El circuito eléctrico encargada de satisfacer y controlar la demanda de energía eléctrica para el calentamiento y control de arranque.

#### 3.10.1. Circuito de potencia

El circuito de potencia suministra de energía eléctrica alterna que demanda la bobina de resistencia para calentar el catalizador, la C.A se obtiene mediante un inversor de potencia de 12VCD a 110VCA y un banco de baterías de 12V y 340 A-h.



**Figura 57. Circuito esquemático de potencia**

El sistema de generación y carga del vehículo mientras permanece encendido cubre la demanda de energía del banco de baterías, proporciona un voltaje continuo de 14,5 voltios al inversor de voltaje de alta potencia que convierte en 110 VCA y 60 Hz a la bobina de resistencia y controlador electrónico de temperatura.

Tabla 22

**Cálculo de energía necesaria para el banco de baterías**

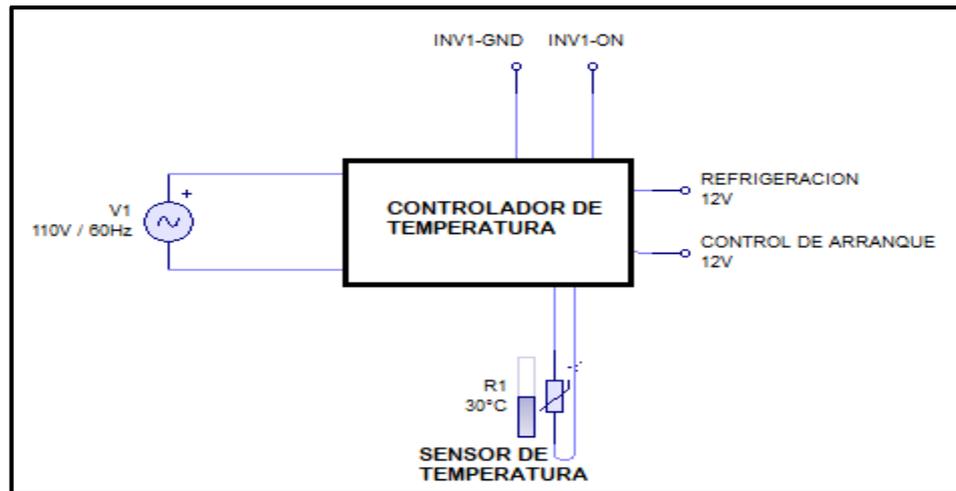
Valores obtenidos				Ecuaciones
Potencia de la bobina	1440 W	Tiempo de descarga	1 h	$E = P * t$
<b>Energía necesaria (E)= 1440 W-h</b>				
Energía necesaria	1440 W-h	Eficiencia inversor	90%	$E_T = \frac{E}{n_b}$
<b>Energía necesaria total (E<sub>T</sub>)= 1600 W-h</b>				
Energía necesaria total	1600 W-h	Voltaje batería	12 V	$C = \frac{E_T}{V}$
<b>Energía necesaria para el banco de baterías (C)= 133,33 A-h</b>				

La Intensidad de descarga que entrega el control de potencia al banco de baterías para el funcionamiento del sistema de inducción se calculó a partir del consumo de energía total y el voltaje nominal de la batería, tabla 22, mediante la ecuación 4. Se seleccionó dos baterías de 170 A-h, tabla 15, conectadas en paralelo manteniendo su tensión nominal de 12 voltios, sumando su capacidad de descarga a un valor de 340 A-h que cubre la demanda de energía del sistema implementado.

La selección del inversor de alta potencia, tabla 16, consideró el valor de potencia de la bobina de resistencia, valor que se obtuvo a partir de la resistencia y la intensidad de consumo de la bobina, tabla 21, mediante la ecuación 5.

**3.10.2. Circuito de monitoreo de temperatura del sistema**

El monitoreo de la temperatura del sistema de inducción se realizó mediante el controlador electrónico de temperatura mediante el control por relé tipo SPST y un sensor de temperatura con un rango de medición de -150+1100°C y tensión de -5,891 a 54,886 mV ubicado y fijado en el interior del catalizador.

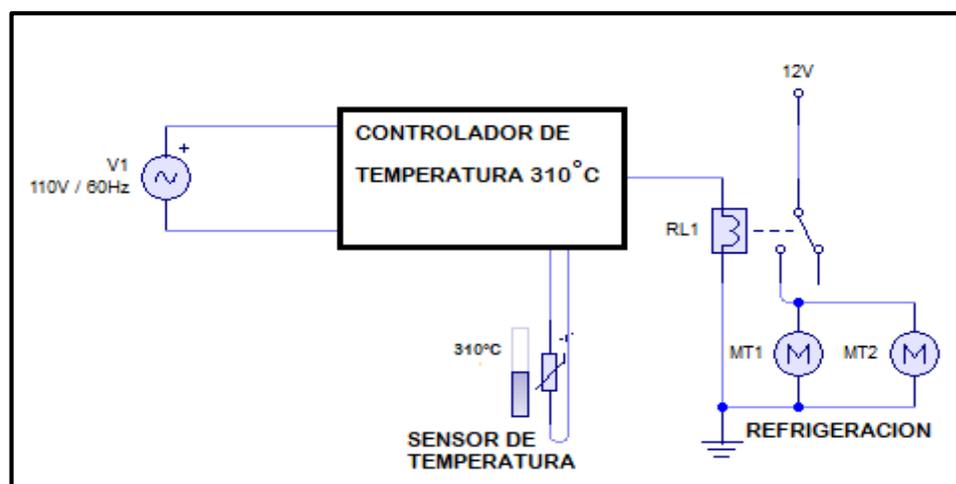


**Figura 58. Esquema de monitoreo y control de temperatura**

El controlador electrónico de temperatura, tabla 17, trabaja con una tensión de 110 VCA y 60 Hz procedente del inversor, recibe la señal del sensor de temperatura, tabla 18, el microcontrolador procesa la información y determina la temperatura del sistema, este componente permite el control de dispositivos a diferentes temperaturas según los requerimientos de diseño.

### 3.10.3. Circuito de refrigeración

El circuito de refrigeración regula la temperatura del sistema de inducción, evitando una sobrecarga térmica del componente y manteniendo valores ideales de funcionamiento.

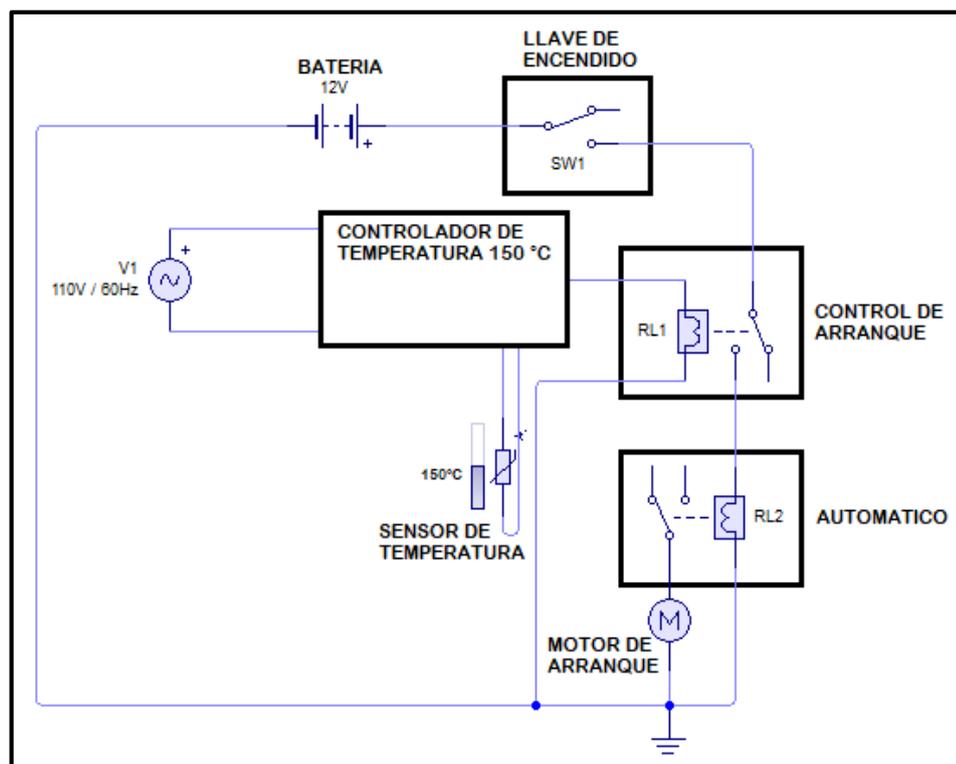


**Figura 59. Circuito esquemático de refrigeración**

El circuito gobernado por el controlador electrónico de temperatura permanece inactivo durante la fase de calentamiento, cuando la temperatura es superior a 309°C envía una señal de 12 VDC activa el relé de control de refrigeración, regulando la temperatura del sistema al valor normal de funcionamiento.

#### 3.10.4. Control de arranque

El control de arranque funciona como un contacto normalmente abierto durante el tiempo de precalentamiento hasta una temperatura de 150 °C evitando el arranque del vehículo, controlando la activación en condición normal del switch de encendido y el solenoide del motor de arranque.



**Figura 60. Circuito esquemático de control de arranque**

El valor de la intensidad de corriente que circula por el contacto del relé del control de arranque es de 15 amperios. Se calculó en base al voltaje nominal de la batería y la resistencia del solenoide, tabla 23, mediante la ecuación 4.

Tabla 23

## Cálculo de la intensidad de consumo de dispositivos eléctricos

Elemento	Valor obtenido		Valor medido	Ecuación	Valor calculado
	Voltaje de la batería (V)	Factor de diseño (f)	Resistencia ( $\Omega$ )		Intensidad de consumo (A)
Relé de arranque	12	2	1,6	$I = \frac{V}{R}$	15
Bobina del relé			81		0,296

## 3.10.5. Selección del dispositivo electromecánico

Se seleccionó de acuerdo a la intensidad de corriente que circula por los contactos del relé de control de arranque, el valor calculado es de 15 amperios, razón por la cual es necesario un relé de 20 A cuyas características se detallan en el Anexo C. La corriente de consumo del relé para su activación se calculó en base a la resistencia interna y a la tensión nominal de la batería, tabla 23, mediante la ecuación 4.

## 3.10.6. Protección del circuito de alta potencia

Por el circuito de alta potencia circula una intensidad de corriente de 133,33 amperios por lo que el sistema de protección a cortocircuitos o sobrecarga es, mediante un fusible tipo cuchilla de 150 amperios y una porta fusible de burbuja.

## 3.10.7. Selección del conductor eléctrico

Para la selección del conductor eléctrico se calculó la intensidad de corriente eléctrica que circula por el circuito. De la tabla AWG, Anexo D, se estableció un conductor eléctrico de cobre para el circuito de alta y baja potencia respectivamente, tabla 24.

Tabla 24

## Selección del conductor eléctrico

Circuito	Valor calculado		Valor seleccionado	
	Intensidad (A)	Calibre AWG	Área (mm <sup>2</sup> )	Corriente máxima (A) a 75°C
Alta potencia	133,33	1/0	53.48	150
Baja potencia	15	14	2.082	20

## 3.11. Diseño electrónico del circuito de control y potencia

El sistema electrónico cumple dos funciones, la primera regular la tensión de alimentación de 12VDC a 5VDC para el microcontrolador y el dispositivo de interfaz gráfica; la segunda monitoriza las etapas de funcionamiento obteniendo señales digitales de 5 y 0 voltios, información procesada por el microcontrolador y visualizada en interfaz gráfica que despliega mensajes de funcionamiento correcto del sistema.

## 3.11.1. Fuente de alimentación

El voltaje nominal de la batería del vehículo de 12VDC se transforma en 5VDC por un regulador de tensión LM7805, Anexo E, a partir de una tensión de entrada en el rango de 7 a 35 voltios a 5 voltios constantes y una corriente máxima de 1,5 amperios.

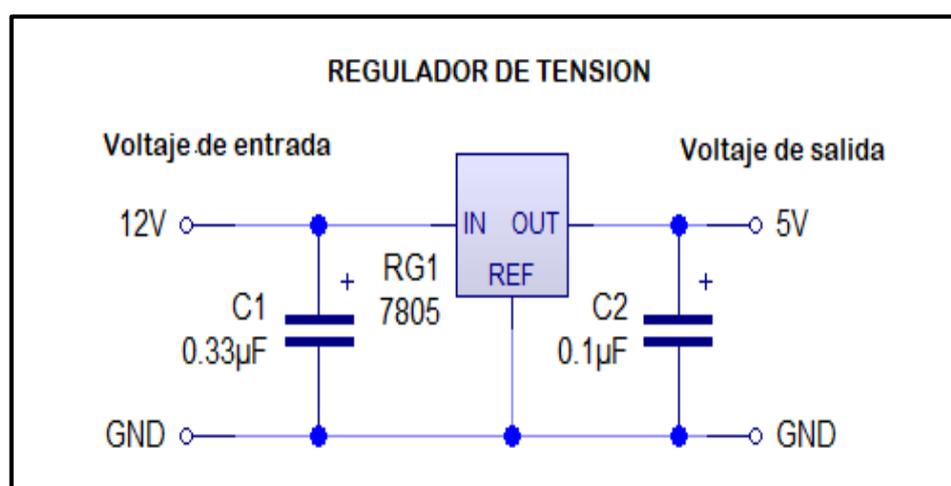


Figura 61. Circuito esquemático del regulador de tensión

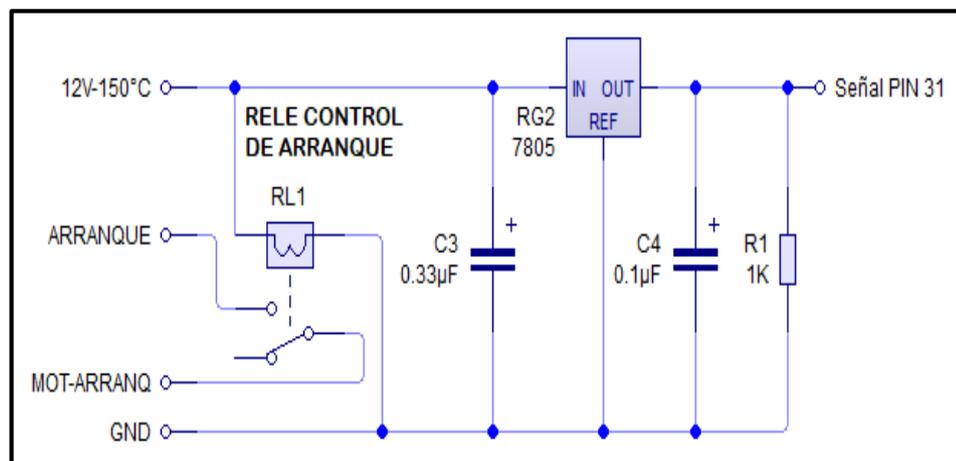
Su utilización en un ambiente con interferencia como el ruido es recomendable la incorporación al circuito de dos condensadores electrolíticos de  $0,33\ \mu\text{f}$  a la entrada y  $0,1\ \mu\text{f}$  a la salida, actúa como un filtro electrónico estabilizando el voltaje de salida.

### 3.11.2. Monitorización de funcionamiento del sistema

La monitorización del sistema se realizó mediante la obtención de señales digitales de las fases de funcionamiento del sistema de inducción permitiendo controlar el encendido y apagado del sistema, así también verificar su funcionalidad en una interfaz gráfica.

#### a. Señal de control electrónico de arranque

Durante la fase de precalentamiento del catalizador el sistema de inducción no permite el arranque del vehículo, superando dicha fase a una temperatura superior a  $150^\circ\text{C}$  el sistema interactúa con el usuario informando la habilitación normal del arranque.



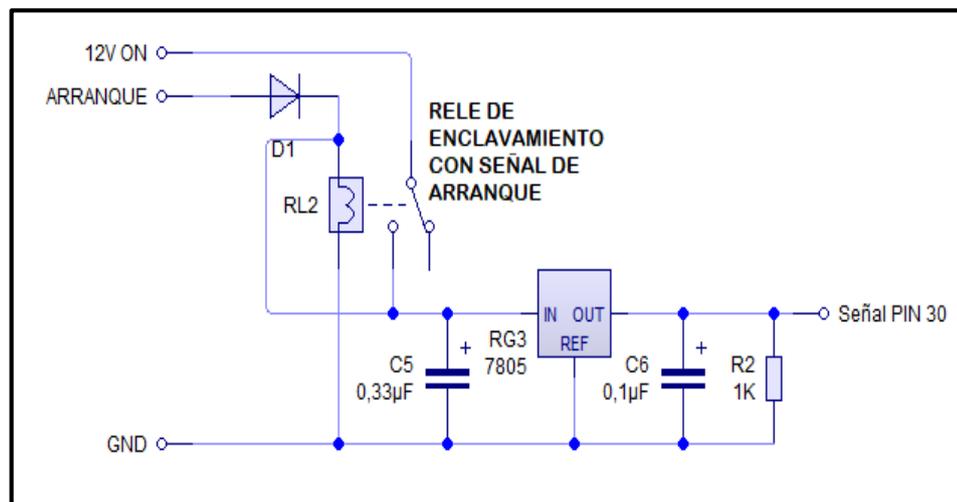
**Figura 62. Circuito esquemático de señal de control de arranque**

Durante la etapa de precalentamiento del sistema el sensor detecta una señal en bajo de cero voltios, el sistema está gobernado por el controlador electrónico de temperatura evitando el arranque del vehículo, cuando supera los  $150^\circ\text{C}$  activa el relé y cierra los contactos, el vehículo

arranca normalmente, el microcontrolador detecta una señal en alto de 5 voltios enviando un mensaje hacia la interfaz gráfica.

### b. Señal de calentamiento del sistema de inducción

El sistema requiere el encendido del vehículo una vez superada la temperatura de precalentamiento, para entrar en la fase de calentamiento en combinación con el vehículo en funcionamiento y el sistema de inducción.

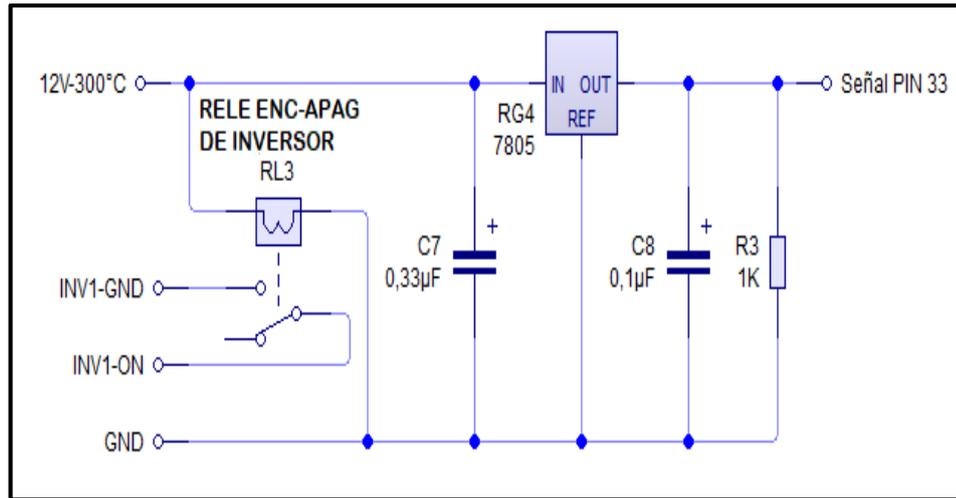


**Figura 63. Circuito esquemático de señal de calentamiento**

Con el arranque del vehículo el sistema entra en la fase de calentamiento, se requirió obtener una señal en alto de 5 voltios que indique que el vehículo se encuentra encendido y el sistema funciona correctamente, para este propósito se enclavo un relé con la señal del arranque mientras el vehículo permanezca encendido, dicha señal es procesada por el microcontrolador y enviada a la interfaz gráfica como un mensaje de interacción con el usuario.

### c. Señal de encendido y apagado del sistema

El sistema se apaga automáticamente cuando detecta que ha superado la temperatura de 309°C en el catalizador, mientras tanto el sistema se mantiene activo.



**Figura 64. Circuito esquemático de señal de apagado del sistema**

Mientras el relé de encendido-apagado del inversor recibe una señal de 12 voltios desde el controlador de temperatura este mantendrá activo el sistema, dicha señal se regula a 5 voltios para la entrada digital del microprocesador que se encarga de procesar la información y enviar un mensaje a la interfaz gráfica, cuando la señal es cero voltios el sistema se apaga automáticamente.

### 3.11.3. Selección del microcontrolador

Para la selección del microcontrolador se tomó en cuenta la necesidad de utilizar una interfaz gráfica de interacción con el usuario para la monitorización del funcionamiento del sistema, puertos digitales de salida, puertos digitales de entrada y capacidad de memoria.

La interfaz gráfica se seleccionó tomando en cuenta 50 caracteres mínimos de visualización del mensaje de interacción con el usuario, espacio para su instalación, tamaño, resolución, controlador y voltaje de alimentación cuyas características se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

## Características de la interfaz gráfica

PANTALLA TFT LCD TOUCH 2.4	
Chip controlador	LCD ILI9341
Resolución	320x240 pixeles
Panel táctil	resistivo de 4 hilos
Alimentación	5 voltios
Conexión	Shield para Arduino
Tamaño	71 x 52 x 7 mm (L x A x H)



El microcontrolador debe disponer de 28 puertos de conexión para la comunicación con la interfaz gráfica, tres puertos para entrada y salida de señal digital, además la capacidad de memoria RAM debe ser mínimo de 8 kB para garantizar la ejecución del algoritmo de programación. Para la selección del microcontrolador se comparó dos opciones disponibles en el mercado.

Tabla 26

## Criterios de selección del microcontrolador

Características	Arduino UNO	Arduino MEGA
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560
Voltaje de operación	7-12V	5-12V
Memoria SRAM	2KB	8KB
Puertos analógicos/digitales	6/20	16/54
Velocidad	16 MHz	16 MHz
Lenguaje de programación	C/Processing	C/Processing
Librerías	SI	SI
Interfaz PC (software)	Arduino-IDE	Arduino-IDE

Imagen



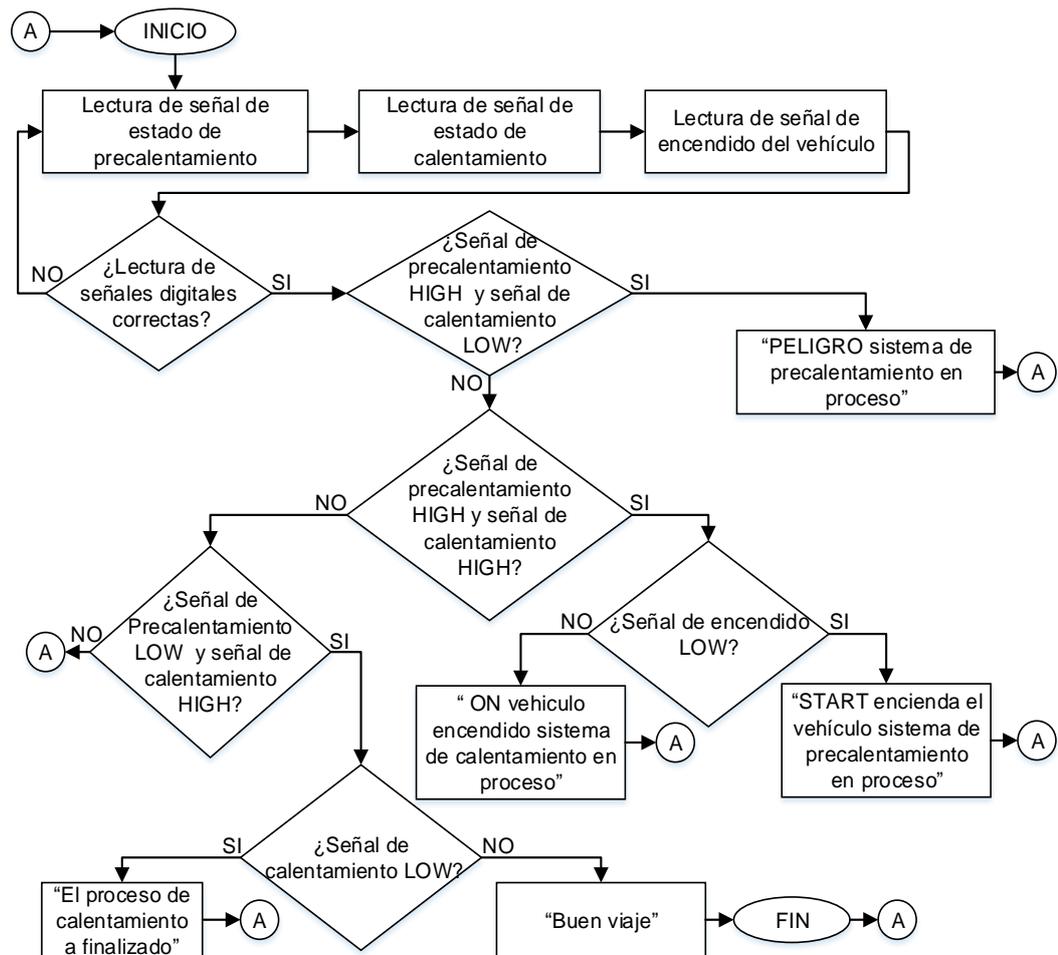
Se seleccionó la placa de desarrollo Arduino MEGA que trae incorporado el microcontrolador ATmega2560 porque satisface con la demanda de puertos analógicos y digitales necesarios para las conexiones de dispositivos empleados, además la memoria SRAM es más amplia asegurando la compilación y ejecución de un algoritmo de programación más extenso.

#### **3.11.4. Programación**

La programación se realizó con el software libre de desarrollo Arduino-IDE basado en el lenguaje de programación C++ y referenciado a una programación de alto nivel considerando puertos de entrada y salida digitales.

Se utilizó el entorno de desarrollo C/Processing para realizar el algoritmo de programación, declarando con palabras reservadas (comandos) puertos digitales como entradas y salidas según la necesidad con una sintaxis simplificada, de acuerdo a la estructura del algoritmo y a las líneas de código, Anexo F.

Los sectores del microprocesador se reconocen automáticamente, son encargadas de ejecutar funciones específicas sin la necesidad de conocer su estructura interna. En la figura 65 se ilustra el flujograma de la programación.



**Figura 65. Flujograma de programación**

### 3.11.5. Protección del sistema electrónico

Se utilizó un fusible con el propósito de prevenir daños a los dispositivos y componentes electrónicos cuando excede un valor de intensidad de corriente en el circuito, considerando el consumo de corriente producida del relé de arranque, relés electrónicos de la placa de control, microcontrolador e interfaz gráfica, tabla 27, se muestra el consumo total de estos dispositivos.

Los valores de corriente se obtuvieron a partir del diseño eléctrico y electrónico, a partir de los cuales se validó de acuerdo a las especificaciones técnicas de los interruptores electromagnéticos, microcontrolador e interfaz gráfica, Anexo G, Anexo H, Anexo I.

Tabla 27

## Cálculo de consumo de corriente total en el circuito electrónico

Dispositivo	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Corriente total (A)
Relé automotriz	1	12	0,3	3,55	0,3
Relé electrónico	4	12	0,15	1,8	0,6
Microcontrolador	1	5	0,4	2	0,4
Interfaz gráfica	1	5	0,4	2	0,4
<b>Total</b>				9,35	1,7

La corriente total que circula por el circuito cuando todos sus componentes están en funcionamiento es de 1,7 amperios, se seleccionó un fusible tipo uña de 1,5 amperios debido a que el circuito se diseñó para el trabajo en tres fases de funcionamiento.

## 3.12. Construcción

El diseño del circuito para la construcción de la placa electrónica se realizó con un software de simulación eléctrico y electrónico que permite diseñar y simular esquemas electrónicos. La esquematización del diseño electrónico se realizó en un solo circuito.

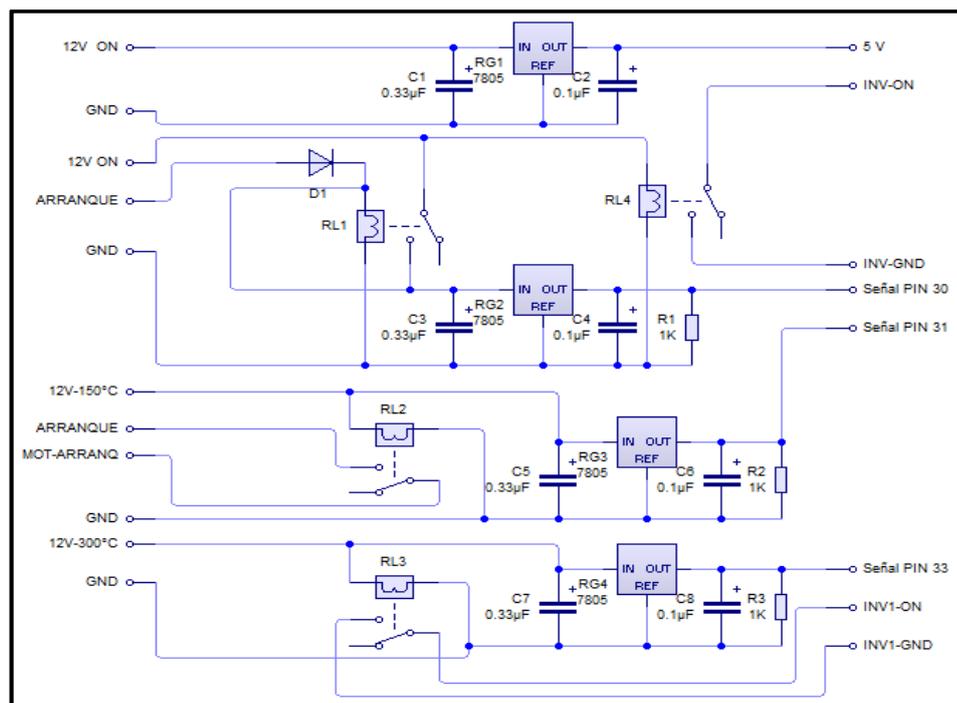
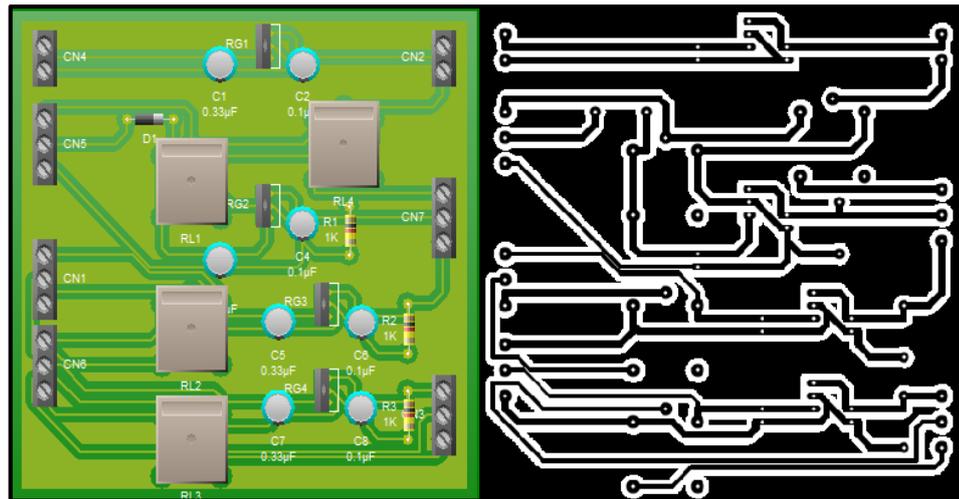


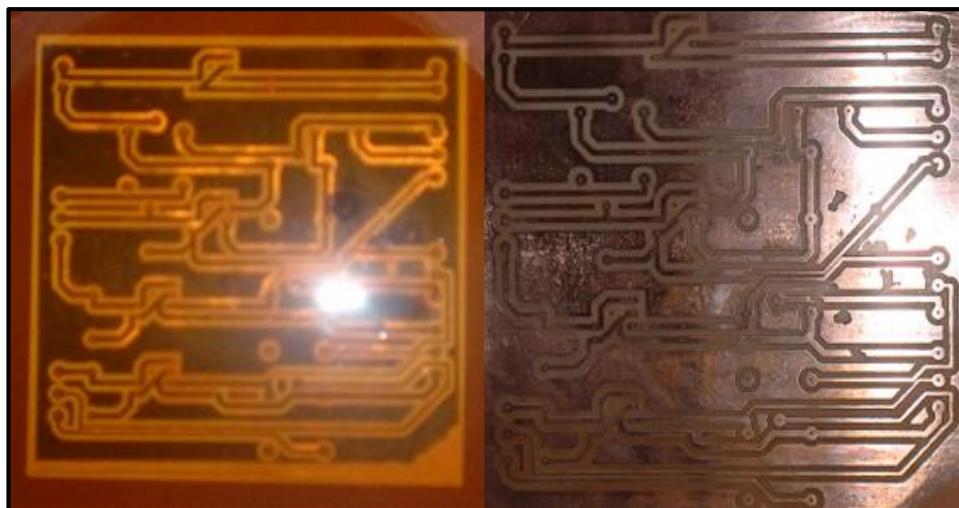
Figura 66. Diseño del circuito electrónico completo

El circuito impreso se diseñó mediante un software de diseño de placas impresos, a partir del cual se obtiene automáticamente un esquema sólido y en dos dimensiones con características propias de manufactura como ancho de pista, ángulo de posición y huella del componente electrónico, de acuerdo a los requerimientos. En la figura 67 se ilustra el circuito impreso.



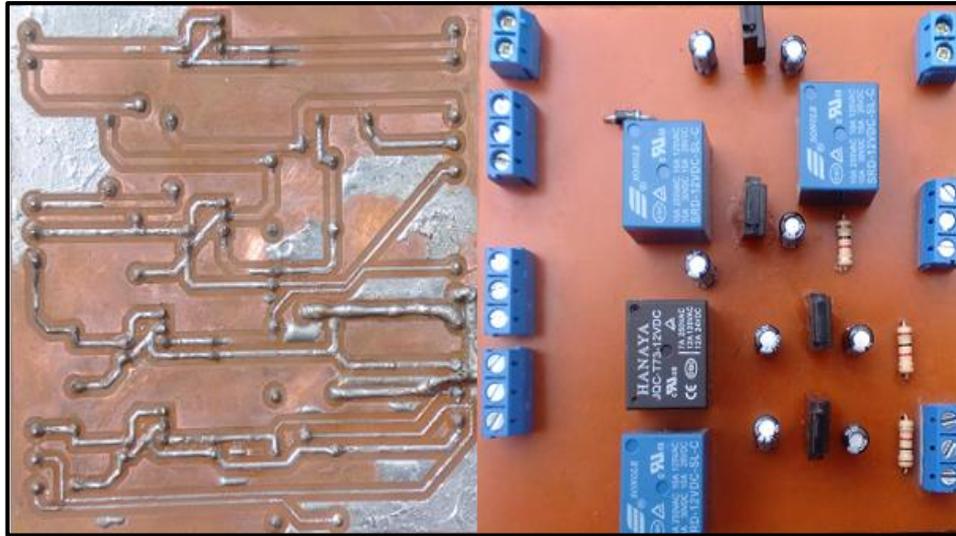
**Figura 67. Circuito electrónico impreso**

Para la fabricación de la tarjeta el circuito se imprime a laser en papel termotransferible, se transfiere el circuito mediante calor a una placa de baquelita; la placa con el circuito se sumerge en una solución de percloruro de hierro eliminando el cobre no protegido obteniendo la placa con el circuito requerido, figura 68.



**Figura 68. Placa sumergida en ácido y circuito resultante**

Se realizaron las perforaciones necesarias en la placa a partir de la huella de los componentes electrónicos de forma correcta según el diseño mediante una conexión de tipo permanente.



**Figura 69. Unión de terminales y placa finalizada**

### 3.13. Implementación

Se implementó el sistema de inducción considerando la ubicación de los componentes implementados sin afectar el espacio y estructura normal del vehículo. En la figura 70 se observa la instalación del catalizador y sistema para calentamiento con su respectivo sensor de temperatura y un sistema de fijación no permanente.



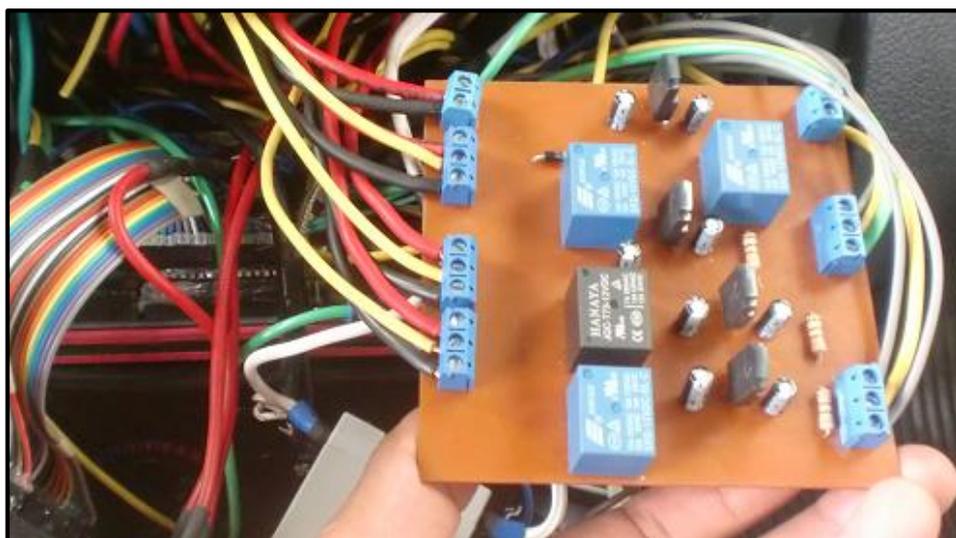
**Figura 70. Instalación y conexión del sistema de calentamiento**

La fuente de alimentación se instaló en el compartimento posterior del vehículo, consta de dos baterías conectadas en paralelo, un fusible y un inversor de potencia fijados a un soporte como se observa en la figura 71.



**Figura 71. Implementación y conexión de la fuente de alimentación**

La placa de control y monitorización de operación normal del sistema de inducción y el microcontrolador se instaló en el compartimento de la radio en el tablero de instrumentos fijando mediante sujetadores plásticos, figura 72.



**Figura 72. Montaje y conexión de la placa de control y microcontrolador**

El controlador electrónico de temperatura y la interfaz gráfica se ubicó en el espacio determinado para la pantalla de la radio en el tablero de instrumentos construido en una placa de policarbonato, figura 73.



**Figura 73. Montaje y conexión de la interfaz gráfica y controlador electrónico de temperatura**

### 3.14. Pruebas de funcionalidad

La funcionalidad se controla mediante la monitorización del sistema de inducción, figura 74, ilustra el estado inicial, fase de precalentamiento, sistema advertencia con un mensaje de interacción con el usuario con la acción a ejecutar que determina los modos de operación de dicho sistema.



**Figura 74. Estado de precalentamiento del sistema**

Una vez superado la fase de precalentamiento el sistema permite el arranque normal del vehículo, comunicándose con usuario mediante la interfaz gráfica, figura 75.



**Figura 75. Estado final de precalentamiento del sistema**

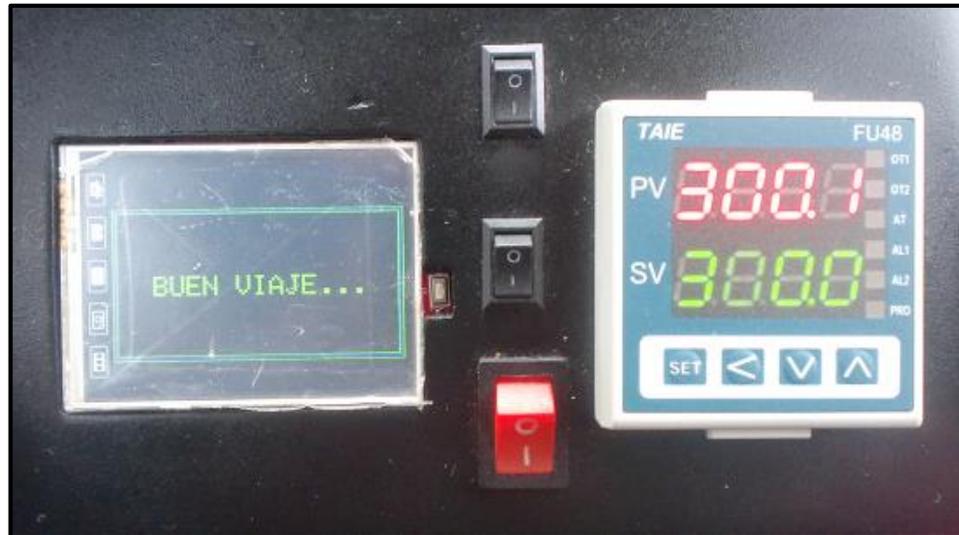
En la figura 76, se observa la monitorización del sistema en fase de calentamiento con el vehículo encendido comunicando al usuario las temperaturas de trabajo.



**Figura 76. Estado de calentamiento del sistema**

Una vez que se alcanza la temperatura normal de operación del catalizador de 309°C, el sistema se desactiva informando al usuario

mediante la interfaz gráfica, ingresando en un estado de control de la temperatura del catalizador mediante la regulación de activación y desactivación del sistema de inducción, figura 77.



**Figura 77. Estado de control y regulación de temperatura**

## CAPITULO IV

### **4. INCIDENCIA DEL SISTEMA DE INDUCCIÓN DE CATALIZADOR EN PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L**

#### **4.1. Protocolo de pruebas**

En el presente apartado se especifica los requisitos previos al desarrollo de las pruebas y obtención de datos mediante la utilización de equipos tecnológicos de medición de parámetros de rendimiento del motor. El procedimiento de pruebas de gases residuales se basa en el método de ensayo especificado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:2000, denominada prueba estática para la determinación de concentración de emisiones de escape, en base a los valores máximos permitidos para dichos gases de combustión según la NTE INEN 2204:2002.

##### **4.1.1. Requisitos previos para la prueba**

Antes de proceder con el desarrollo de las pruebas de las variables en investigación de acuerdo al funcionamiento normal de equipos de medición, vehículo así también la seguridad del operario y área de trabajo.

##### **a. Afinación del vehículo**

La afinación del vehículo se realizó siguiendo el plan de mantenimiento preventivo por cada 5000 kilómetros de recorrido, Anexo A, y de acuerdo al flujograma de la revisión de los sus sistemas automotrices, figura 42.

##### **b. Seguridad del operario y área de trabajo**

Previo al procedimiento de las pruebas correspondientes considerando la seguridad y bienestar del operario. El operario utiliza un equipo de protección personal EPP como guantes, mandil, casco, gafas. El

área de trabajo debe ofrecer la estructura, herramientas y equipos necesarios para el procedimiento de cada prueba. (Osalan, 2018)

## 4.2. Procedimiento de pruebas

Para el desarrollo de las pruebas se utilizaron equipos tecnológicos para la medición de cada uno de las variables en investigación, los procedimientos en detalle se especifican en el Anexo J, en el siguiente apartado se describe el procedimiento generalizado para la toma de datos.

### 4.2.1. Prueba de torque y potencia

Para la prueba de torque y potencia se utilizó un dinamómetro de rodillos LPS 3000 realizado en el del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV).

A partir de los factores de seguridad, el acondicionamiento y la preparación del equipo configuran los parámetros de medición en la interfaz gráfica del dinamómetro, ejecutando la prueba de acuerdo a los requerimientos y acciones que el software solicita.

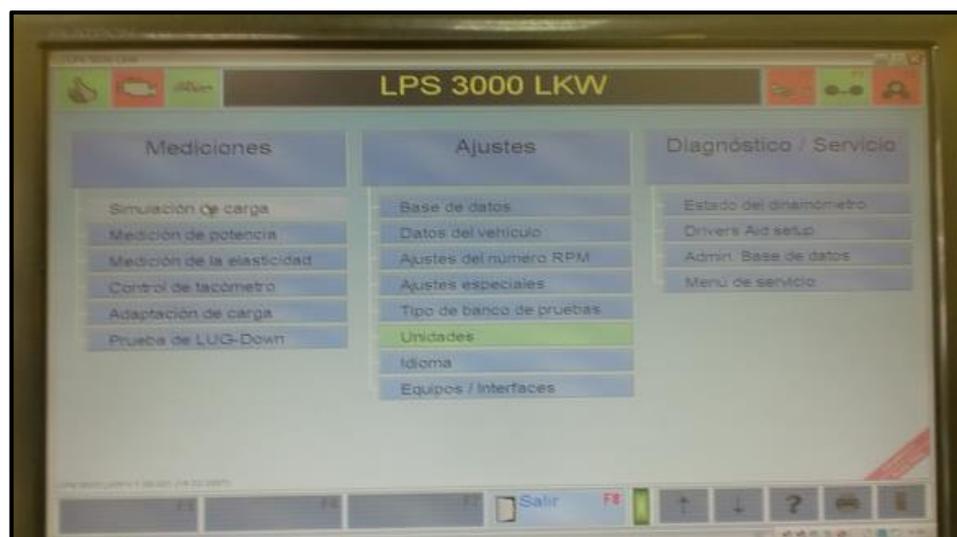
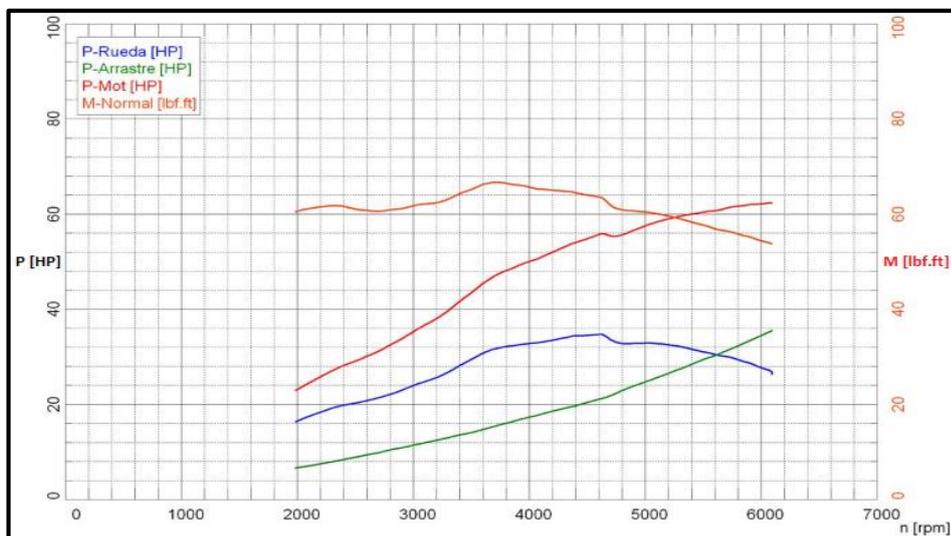


Figura 78. Interfaz gráfica del dinamómetro de rodillos

Los informes técnicos de los resultados de las pruebas de evaluación se presentan mediante reportes gráficos, figura 79, y los datos en forma ordenada por cada tipo de parámetro medido.



**Figura 79. Representación gráfica de resultados con el dinamómetro de rodillos**

#### 4.2.2. Prueba de gases residuales

Debido a que no existe un método de ensayo para la prueba estática de gases residuales en frío, se adoptó el método de ensayo que se especifica en la NTE INEN 2203:2000. Las pruebas de gases residuales se realizaron con el catalizador estándar y con el sistema de inducción instalado, mediante dos equipos de medición de la concentración de gases residuales.

##### a. Prueba de gases residuales en ralentí y velocidad crucero

Para la evaluación de la concentración de los gases residuales en ralentí y velocidad crucero se utilizó el analizador de gases CARTEK, propiedad de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga de Laboratorio de Mecánica de Patio, según el procedimiento del Anexo J.

En el desarrollo de la prueba se consideró el buen estado de todos los componentes del equipo de medición, así como la vigencia de la calibración, se acondiciono el medidor en el vehículo, también el medidor de revoluciones por tensión de batería, ejecutando el software de medición siguiendo y efectuando las acciones que el software indica.

The screenshot shows the ESPE software interface with the following sections:

- Header:** ESPE logo, date 16/08/2016 14:16:02, CODIGO DEL CENTRO: 0000, RESOLUCION: XXXXXXXX DEL 05/11/2015, CERTIFICADO ACTUAL: 149.
- Banco de Gases:**
  - MARCA DEL BANCO: BEAR, ULTIMA CALIBRACION: 18-07-2016 APROBADA
  - SERIAL INTERNO: 556749, ULTIMA PRUEBA DE FUGAS: 15-08-2016 APROBADA
  - MARCA DEL DISPOSITIVO: HORIBA BE140
  - SERIAL DEL EQUIPO: COD001
  - PEF: 0.194
  - Status: Banco funciona correctamente (Green box with checkmark icon)
  - Buttons: Test, Fugas, Calibraciones, Pruebas de Auditoria
- Banco de Opacidad:**
  - MARCA DEL BANCO: BEAR, ULTIMA CALIBRACION: 26-07-2016 APROBADA
  - SERIAL INTERNO: -
  - MARCA DEL DISPOSITIVO: -
  - SERIAL DEL EQUIPO: 8181
  - Status: Banco fuera de Comunicación (Red box with X icon)
  - Buttons: Test, Calibraciones, Pruebas de Auditoria
- Modulo de RPM y Temperatura:**
  - MARCA DEL BANCO: BEAR
  - MARCA DEL DISPOSITIVO: -
  - Status: Módulo fuera de comunicación (Red box with X icon)
- Navigation:** Información del Sistema, Administración, Alarmas de Seguridad, Backups, Reimpresion de Resultados, Finalizar Sesión.
- Security:** Seguridad del Banco (Dispositivo de seguridad deshabilitado).
- Compliance:** Certificados, calibraciones y Fugas (No hay obligaciones pendientes).

Figura 80. Interfaz gráfica del analizador de gases CARTEK

Los resultados del análisis se presentan de acuerdo al parámetro medido en comparación a la configuración del valor máximo de HC y CO según NTE INEN para el control de emisiones de fuentes móviles, determinando un resultado general de aprobado o rechazado.

The screenshot shows the ESPE software interface with the following sections:

- Header:** ESPE logo, LATA CUNGA, Tet: 0000000, Email: \_\_\_\_\_
- DATOS DEL CLIENTE:**
  - NOMBRE: FREDDY
  - APELLIDO: SALAZAR
  - IDENTIFICACION: 0502823230
  - DISPOSITIVO: COD001
- DATOS DEL VEHICULO:**
  - PLACA: PBN7396, MODELO: 2011
  - MARCA: CHEVROLET, LINEA: AVEO
  - MOTOR: \_\_\_\_\_, COMBUSTIBLE: GASOLINA
  - VIN: 8LATD5961B0076485
- DATOS DE LA PRUEBA:**

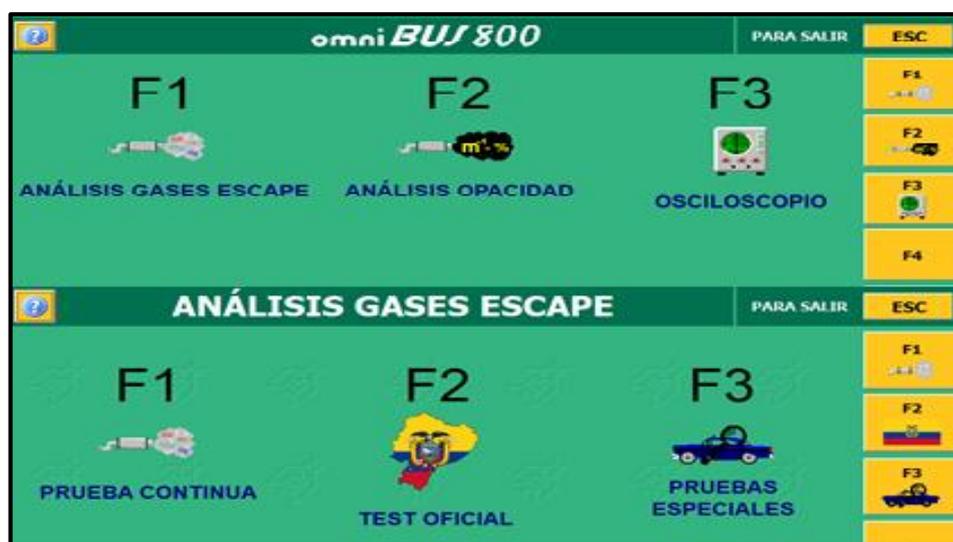
RALENTI				CRUCERO			
RESULTADOS		NORMA		RESULTADOS		NORMA	
HC:	2.00	HC LIMITE:	200.00 ppm	HC:	2.00	HC LIMITE:	200.00 ppm
CO:	0.00	CO LIMITE:	1.00 %	CO:	0.00	CO LIMITE:	1.00 %
CO2:	14.16	CO2 MINIMO:	7.00 %	CO2:	14.15	CO2 MINIMO:	7.00 %
O2:	0.18	O2 MAXIMO:	5.00 %	O2:	0.10	O2 MAXIMO:	5.00 %
RPM:	841	RPM MIN:	500 rpm	RPM:	2,567	RPM MIN:	2,000 rpm
TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °	TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °
RESULTADO APROBADA				RESULTADO APROBADA			
- FECHA DE LA PRUEBA:** 8/17/2016 15:44:07
- RESULTADO GENERAL:** APROBADA
- OPERARIO RESPONSABLE:** LEONIDAS QUIROZ

Figura 81. Resultado de la prueba de gases con analizador CARTEK

## b. Prueba de gases residuales en medición continua

Para la realización de la prueba de gases en medición continua se utilizó el analizador de gases AGS-688 siguiendo el procedimiento especificado en detalle en el Anexo J.

Con la respectiva revisión, preparación y acondicionamiento del analizador en el vehículo se ejecuta la prueba continua, mediante la interfaz gráfica del software se sigue los procedimientos y acciones.



**Figura 82. Selección de análisis de gases de escape en prueba continua**

El informe de la prueba se genera en un documento de texto según el requerimiento del ensayo para la investigación.



**Figura 83. Resultados de la medición continua con analizador de gases AGS-688**

#### 4.2.3. Prueba de consumo de combustible

Para la prueba de consumo de combustible se utilizó el monitor-scanner OBDLink SX, acorde a una ruta de prueba mediante tres condiciones de tráfico en diferentes horas del día, con el catalizador estándar y con sistema de inducción, mediante el procedimiento, Anexo J.

Con el acondicionamiento del scanner en el vehículo y el protocolo de comunicación J1850 VPW se ejecuta el software, ubicando en la interfaz gráfica como indica la figura 84.



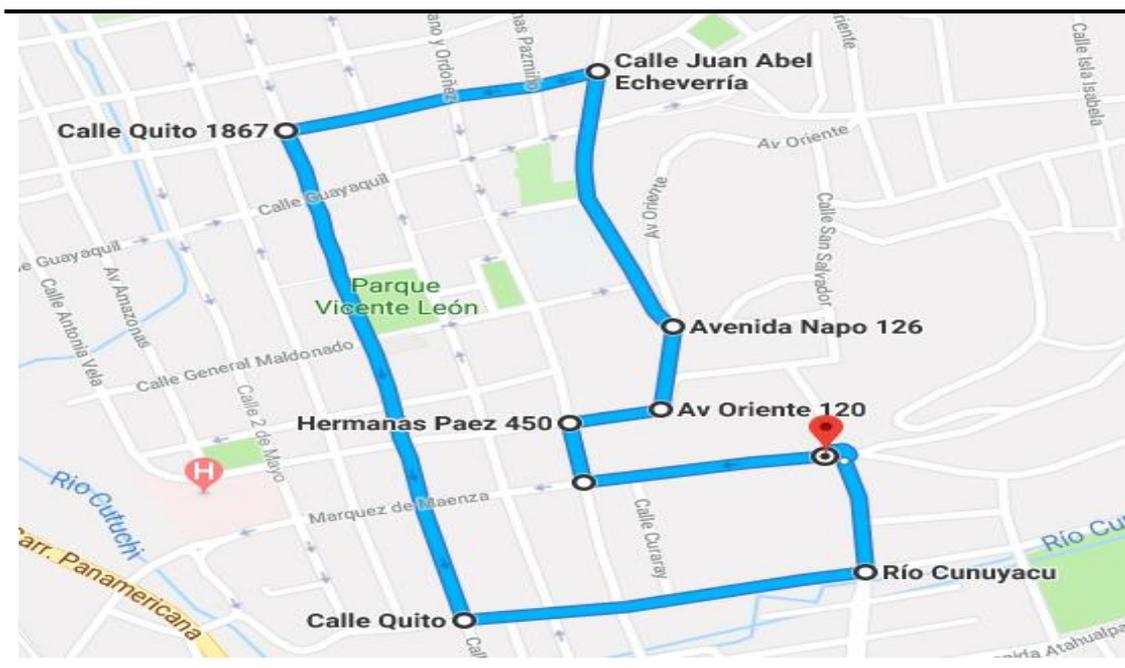
**Figura 84. Interfaz gráfica de medición del software OBDwiz**

### a. Ruta establecida para la prueba

La ruta para la prueba de consumo de combustible se estableció dentro del perímetro urbano de la ciudad de Latacunga

**Tabla 28**

### Ruta y distancia para la prueba de consumo de combustible



TRAMO DE RUTA	DISTANCIA (Km)
Redondel mama negra-Quijano y Ordoñez	0,295
Quijano y Ordoñez-Hermanas Páez	0,105
Hermanas Páez-Av. Oriente	0,130
Av. Oriente- Av. Napo	0,195
Av. Napo-Calle Juan Abel Echeverría	0,545
Calle Juan Abel Echeverría-Calle Quito	0,460
Calle Quito-Av. Rumiñahui	0,840
Av. Rumiñahui-Av. Roosevelt	0,580
Av. Roosevelt-Redondel de la mama negra	0,520

### b. Itinerarios de prueba de ruta

Para el desarrollo de las pruebas de consumo de combustible se estableció un itinerario de pruebas programadas en días diferentes y en condiciones distintas de tráfico como muestra la tabla 29.

Tabla 29

## Itinerario de prueba de ruta

Pruebas	Día	Tráfico ligero 21h00	Tráfico moderado 7h00	Alto tráfico 10h00	Fecha
<b>Evaluación con convertidor catalítico estándar</b>					
<b>Prueba 1</b>	Miércoles	X	X	X	14-sep-16
<b>prueba 2</b>	Jueves	X	X	X	15-sep-16
<b>Prueba 3</b>	Lunes	X	X	X	19-sep-16
<b>Evaluación con sistema de inducción</b>					
<b>Prueba 1</b>	Jueves	X	X	X	07-sep-17
<b>Prueba 2</b>	Viernes	X	X	X	08-sep-17
<b>Prueba 3</b>	Lunes	X	X	X	11-sep-17

## 4.2.4. Prueba de gestión electrónica del vehículo

Para la recolección de datos de los códigos de información de parámetros de operación del vehículo (PID's) en la gestión electrónica del vehículo se utilizó un scanner AUTOBOSS V-30, realizando las pruebas con catalizador estándar y con sistema de inducción según el procedimiento de prueba especificado en el Anexo J.

Con el acondicionamiento del Scanner en el vehículo se determina el tipo y modelo de vehículo, para la selección y medición de los PID's en tiempo real, tomando los datos con una variación ascendente cada 5°C de temperatura del refrigerante del motor (ECT).



Figura 85. Interfaz gráfica del scanner AUTOBOSS V-30

Los resultados de la prueba se generan automáticamente en forma de un archivo de texto plano de cada uno de los parámetros monitoreados, como indica la figura 86.

```
Lectura de valores de sensores
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
Nombre                               Valor
DTC_CNT:DTC números almacenados     0
MIL Indicador de estado de errores   de
FUELSYS1: Fuel System 1 Status      Curvatura cerrada,USANDO sensor HO H02S
FUELSYS2: Fuel System 2 Status      ---
LOAD_PCT: Valor de carga calculado   3.1
ECT Temperatura del refrigerante de motor 95
SHRTFT1: Short Term Fuel Trim - Bank1 1.56
LONGFT1: Long Term Fuel Trim - Bank1 9.38
MAP: Presión absoluta del colector de entrada 27
RPM revoluciones motor              825
VSS:Sensor de Velocidad              0
SPARKADV: Avance de tiempo de ignición para #1 1
IAT:Temperatura de aire de entrada   21
TP: Posición absoluta de acelerador  0.0
O2SLOC: Location of Oxygen Sensors   B1:S12--B2:S---
O2S11: Oxygen Sensor Output Voltage(B1-S1) 0.725
SHRTFT11: Short Term Fuel Trim(B1-S1) -2.34
O2S12: Oxygen Sensor Output Voltage(B1-S2) 0.440
SHRTFT12: Short Term Fuel Trim(B1-S2) 99.22
OBDSUP:OBD requerida para los vehículos diseñados OBD II(Comisión de Administración de Recursos de Aire
MIL_DIST: Distancia recorrida desde que MIL ha sido activado 0
FRP: Fuel Rail Pressure Relative To Manifold Vacuum 0.000
```

**Figura 86. Resultados de la lectura de PID's con escáner AUTOBOS V-30**

### 4.3. Tiempo de calentamiento del convertidor catalítico

En la tabla 30 se muestran los resultados del tiempo de calentamiento del catalizador a una temperatura óptima de funcionamiento, con sistema de inducción y en condiciones estándar del vehículo.

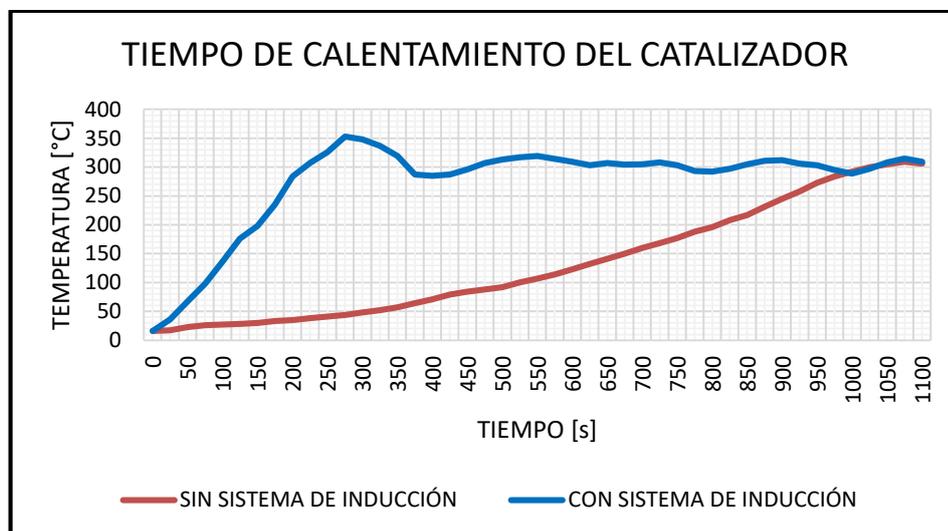
**Tabla 30**

#### **Tiempo de calentamiento del catalizador**

<b>CALENTAMIENTO DE CATALIZADOR</b>		
<b>CONVERTIDOR CATALÍTICO</b>	<b>TIEMPO [s]</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>
Sin sistema de inducción	1050	309
Con sistema de inducción	225	309
Variación	825	--
Porcentaje de efectividad de calentamiento en relación al funcionamiento sin sistema (%)	78,57	--

La gráfica de la figura 87, muestra el tiempo de calentamiento del convertidor catalítico, con funcionamiento normal alcanza una temperatura máxima de 309°C en un tiempo de 1050 segundos, mientras que con el

funcionamiento del sistema de calentamiento tarda 225 segundos en alcanzar dicha temperatura. La efectividad de calentamiento es de 78,57% en relación al funcionamiento sin sistema



**Figura 87. Tiempo de calentamiento del convertidor catalítico**

#### 4.4. Tabulación de resultados de rendimiento del motor sin sistema de inducción

Se presenta la tabulación de resultados y la tendencia central de todas las pruebas realizadas sin el sistema de inducción para el manejo estadístico y su posterior análisis.

##### 4.4.1. Torque

La tabla 30 muestra los resultados de las tres pruebas realizadas en el dinamómetro mediante el funcionamiento normal del convertidor catalítico, así también el promedio de las pruebas para el manejo estadístico.

**Tabla 31**

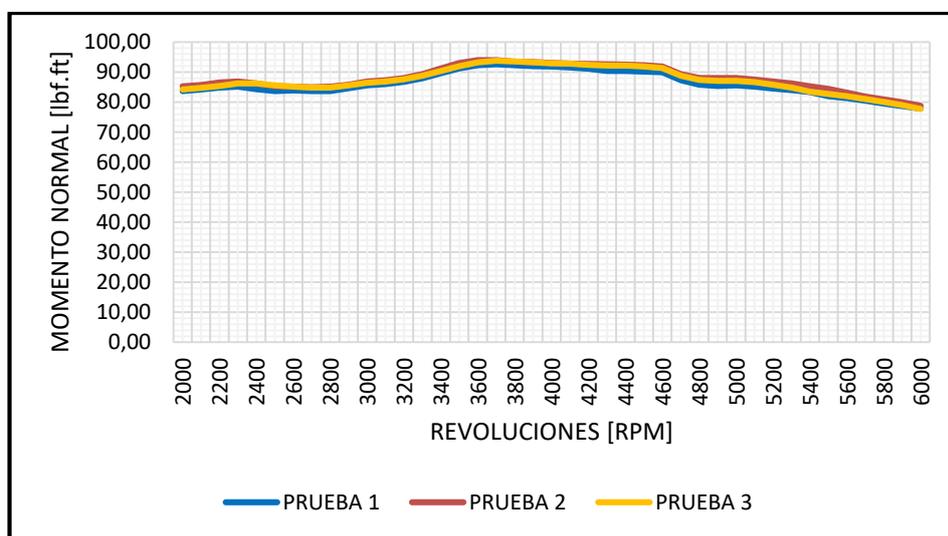
#### Momento normal sin sistema de inducción

MOMENTO NORMAL [lbf.ft]				
RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
2000	83,70	85,30	84,20	84,40
2500	83,70	85,30	85,60	84,87

CONTINÚA 

3000	85,60	86,80	86,40	86,27
3500	91,20	93,00	92,00	92,07
4000	91,80	93,00	92,90	92,57
4500	90,10	92,30	91,80	91,40
5000	85,60	88,00	87,10	86,90
5500	82,00	84,40	82,70	83,03
6000	77,80	78,80	77,70	78,10

En la figura 88, se observa que los valores del torque sin la utilización del sistema de inducción son similares, con un valor máximo de 93 lbf. ft de 3500 a 4000 rpm y el valor mínimo es de 77,70 lbf. ft cuando alcanza los 6000 rpm.



**Figura 88. Momento normal vs revoluciones sin sistema de calentamiento**

#### 4.4.2. Potencia

Las pruebas de potencia se realizaron con el dinamómetro de rodillos, en el siguiente apartado se presentan los resultados correspondientes a pruebas con el convertidor catalítico estándar.

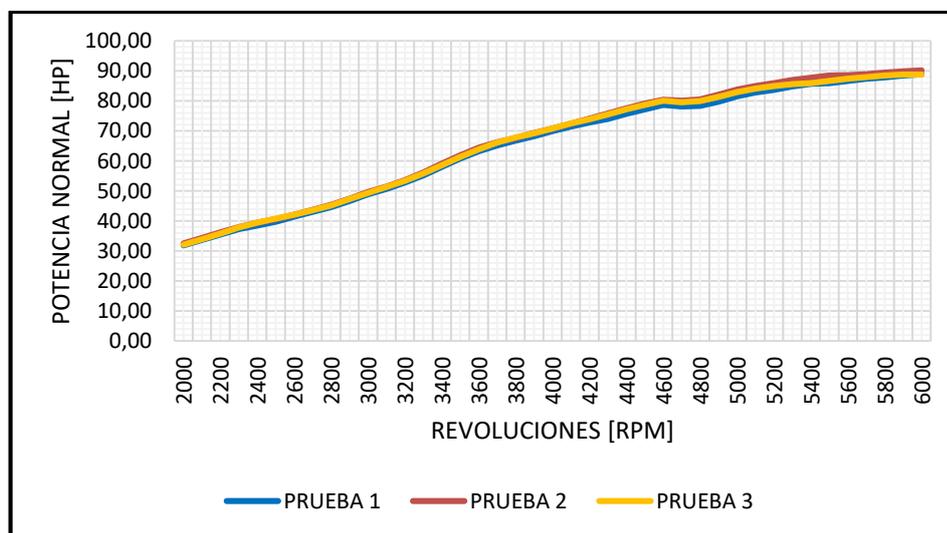
### a. Potencia normal

**Tabla 32**

**Potencia normal sin sistema de inducción**

POTENCIA NORMAL [HP]				
RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
2000	31,90	32,50	32,10	32,17
2500	39,80	40,60	40,80	40,40
3000	48,90	49,60	49,30	49,27
3500	60,80	61,90	61,30	61,33
4000	69,90	70,80	70,80	70,50
4500	77,20	79,10	78,70	78,33
5000	81,50	83,80	82,90	82,73
5500	85,90	88,40	86,60	86,97
6000	88,90	90,10	88,80	89,27

La potencia normal sin el sistema de inducción presenta curvas y valores similares en las tres pruebas, alcanzando el valor máximo de 90,10 HP a 6000 rpm y un valor mínimo de 31,90 HP a 2000 rpm como se indica en la figura 89.



**Figura 89. Potencia normal vs revoluciones sin sistema de inducción**

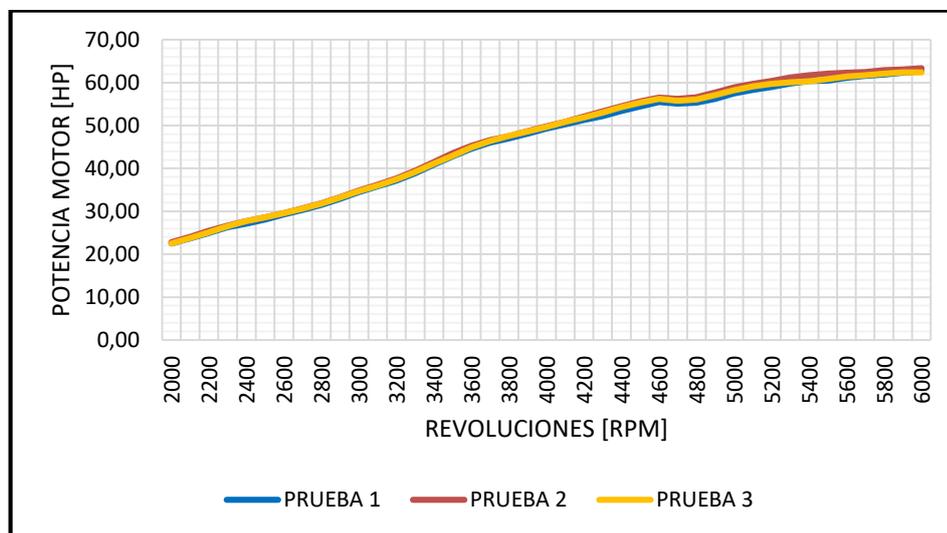
## b. Potencia motor

**Tabla 33**

### Potencia motor sin sistema de inducción

POTENCIA MOTOR [HP]				
RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
2000	22,50	22,80	22,50	22,60
2500	28,10	28,60	28,60	28,43
3000	34,50	34,90	34,70	34,70
3500	42,80	43,60	43,00	43,13
4000	49,30	49,80	49,70	49,60
4500	54,40	55,60	55,30	55,10
5000	57,50	58,90	58,20	58,20
5500	60,50	62,10	60,80	61,13
6000	62,60	63,40	62,40	62,80

En la figura 90, se aprecia la curva de la potencia motor con valores similares en las pruebas, su valor máximo es de 63,40 HP a 6000 rpm, el valor mínimo se presenta al inicio de la prueba con un valor de 22,50 HP.



**Figura 90. Potencia motor vs revoluciones sin sistema de inducción**

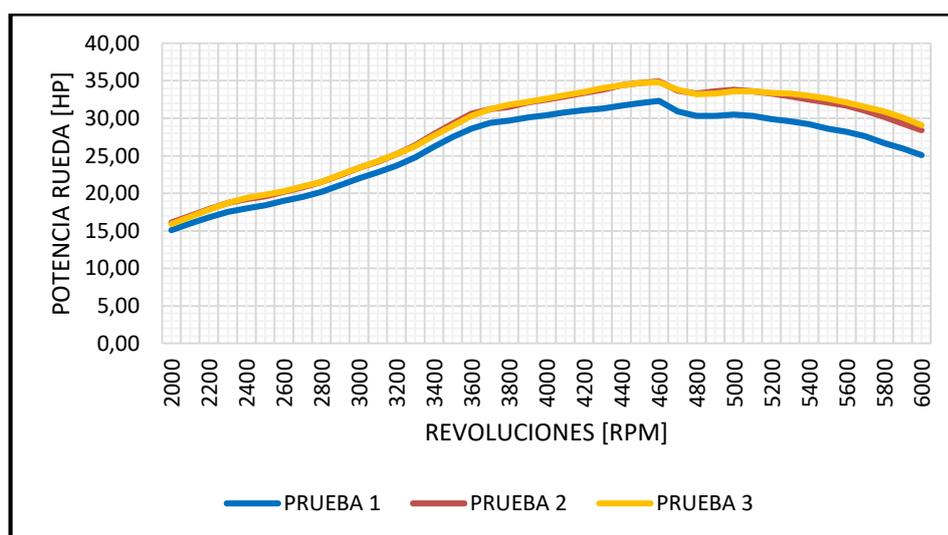
### c. Potencia rueda

**Tabla 34**

**Potencia rueda sin sistema de inducción**

POTENCIA RUEDA [HP]				
RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
2000	15,10	16,10	15,90	15,70
2500	18,40	19,60	19,80	19,27
3000	22,00	23,40	23,40	22,93
3500	27,50	29,30	29,00	28,60
4000	30,40	32,50	32,60	31,83
4500	32,00	34,70	34,70	33,80
5000	30,50	33,80	33,60	32,63
5500	28,60	32,10	32,60	31,10
6000	25,10	28,40	29,10	27,53

La potencia rueda sin el sistema de inducción presenta en la prueba un menor rendimiento en comparación a las pruebas posteriores, el valor mínimo es de 15,10 HP a 2000 rpm y su valor máximo es de 29,10 HP a 6000 rpm, figura 91.



**Figura 91. Potencia rueda vs revoluciones sin sistema de inducción**

#### 4.4.3. Gases de combustión

##### a. Prueba de emisiones en ralentí y velocidad crucero

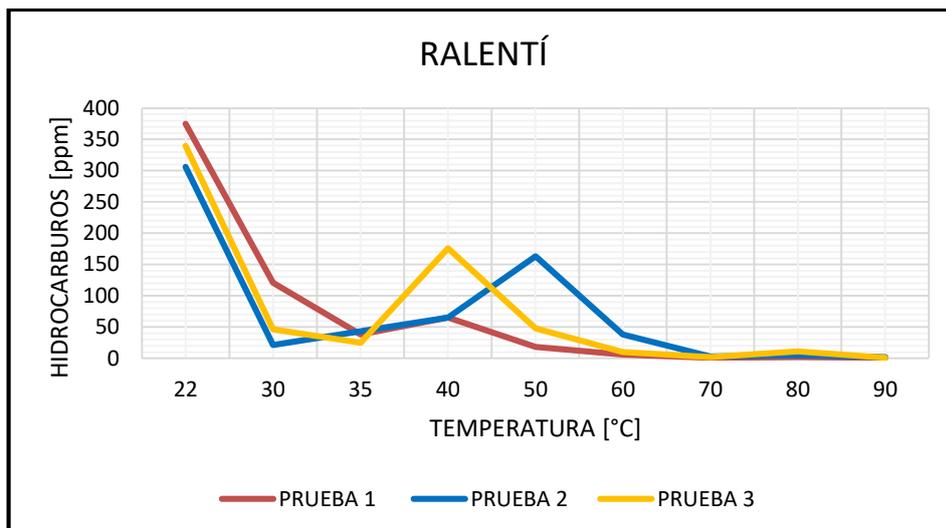
El desarrollo de la prueba se realizó con el analizador de gases CARTEK, midiendo la concentración de HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en los gases combustionados, los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 35**

##### Prueba de hidrocarburos con sistema de inducción

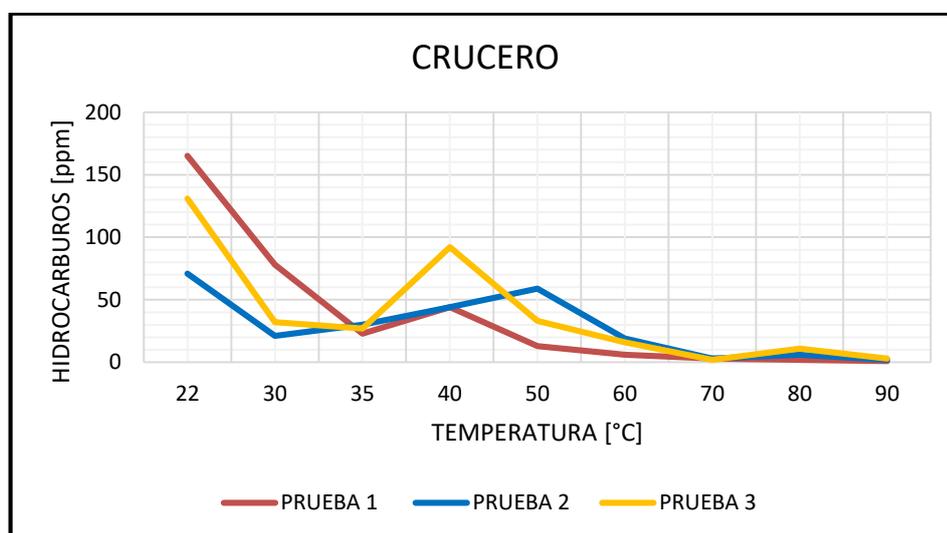
HIDROCARBUROS [ppm]				
RALENTÍ				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
22,00	375,00	306,00	340,00	340,33
30,00	121,00	21,00	46,00	62,67
35,00	38,00	43,00	25,00	35,33
40,00	65,00	65,00	176,00	102,00
50,00	18,00	163,00	48,00	76,33
60,00	6,00	38,00	10,00	18,00
70,00	1,00	3,00	2,00	2,00
80,00	2,00	5,00	11,00	6,00
90,00	1,00	2,00	1,00	1,33
CRUCERO				
22,00	165,00	71,00	131,00	122,33
30,00	78,00	21,00	32,00	43,67
35,00	23,00	30,00	27,00	26,67
40,00	44,00	44,00	92,00	60,00
50,00	13,00	59,00	33,00	35,00
60,00	6,00	19,00	16,00	13,67
70,00	3,00	3,00	2,00	2,67
80,00	2,00	6,00	11,00	6,33
90,00	1,00	2,00	3,00	2,00

En la figura 92, se observa que el nivel máximo de hidrocarburos en ralentí es de 375 ppm a 22°C; evidenciando una tendencia a un valor próximo a cero en la medida en que la temperatura del motor llega a los 90°C con un valor intermedio de 176 ppm entre los 40 y 50 °C.



**Figura 92. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de calentamiento en ralentí**

El valor máximo de hidrocarburos en velocidad crucero es de 165 ppm a una temperatura de 22°C en comparación con la prueba en velocidad ralentí la cantidad de este gas disminuye notablemente, la tendencia mientras la temperatura del motor aumenta son valores cercanos a cero como se evidencia en la figura 93.



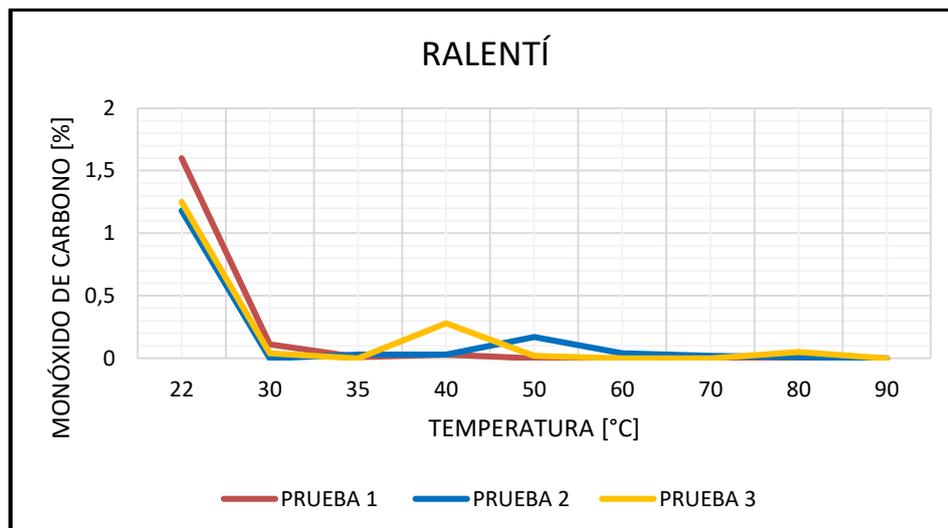
**Figura 93. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero**

Tabla 36

## Prueba de monóxido de carbono sin sistema de inducción

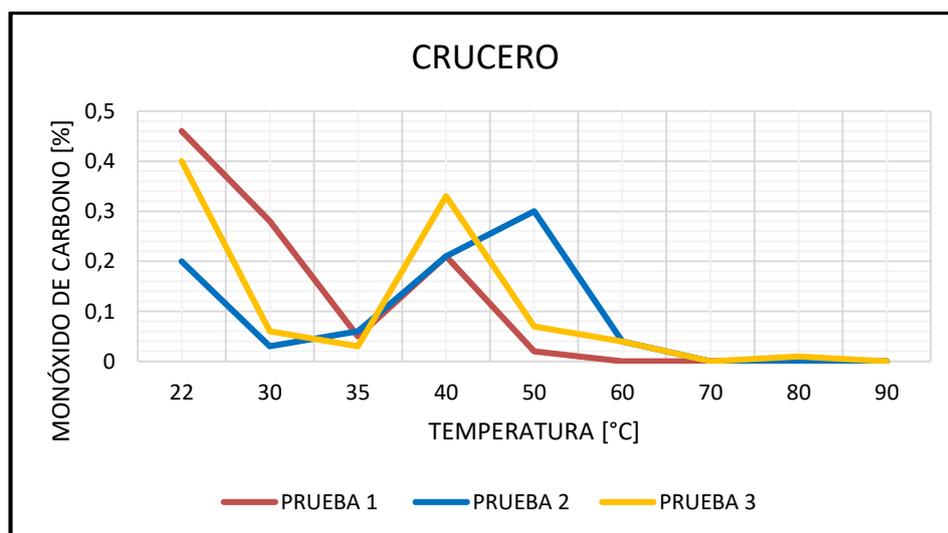
MONÓXIDO DE CARBONO [%]				
RALENTÍ				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
22,00	1,60	1,18	1,25	1,34
30,00	0,11	0,00	0,04	0,07
35,00	0,01	0,03	0,00	0,02
40,00	0,03	0,03	0,28	0,11
50,00	0,00	0,17	0,02	0,06
60,00	0,00	0,04	0,00	0,04
70,00	0,00	0,02	0,00	0,02
80,00	0,00	0,01	0,05	0,03
90,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CRUCERO				
22,00	0,46	0,20	0,40	0,35
30,00	0,28	0,03	0,06	0,12
35,00	0,05	0,06	0,03	0,05
40,00	0,21	0,21	0,33	0,25
50,00	0,02	0,30	0,07	0,13
60,00	0,00	0,04	0,04	0,04
70,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80,00	0,00	0,00	0,01	0,01
90,00	0,00	0,00	0,00	0,00

En la figura 94, se observa el valor máximo de CO en ralentí de 1,6% a una temperatura de 22°C bajando su valor progresivamente cercano a cero cuando alcanza una temperatura de 30°C, se incrementa su valor en un rango de temperatura intermedio de 40 a 50°C, manteniendo un valor cercano a cero mientras la temperatura alcanza su valor de operación.



**Figura 94. Monóxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en ralenti**

El comportamiento del CO en velocidad crucero se evidencia en tres etapas, la primera presenta un valor máximo de 0,46 % a 22°C mucho menor en comparación al medido en velocidad ralenti, la segunda etapa presenta un valor intermedio de 0,33% a temperatura de 40 a 50°C estabilizándose su valor cercano a cero mientras alcanza la temperatura de funcionamiento normal, figura 95.



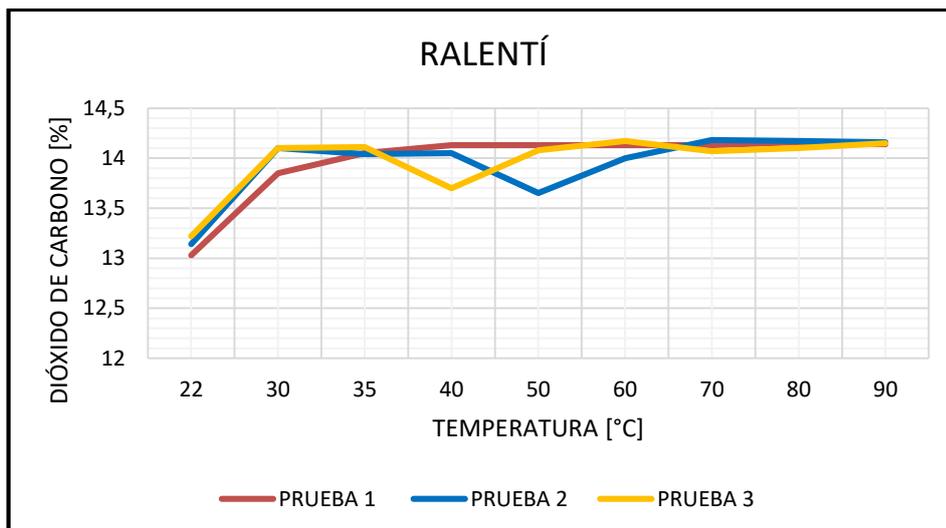
**Figura 95. Monóxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en velocidad crucero**

Tabla 37

## Prueba de dióxido de carbono sin sistema de inducción

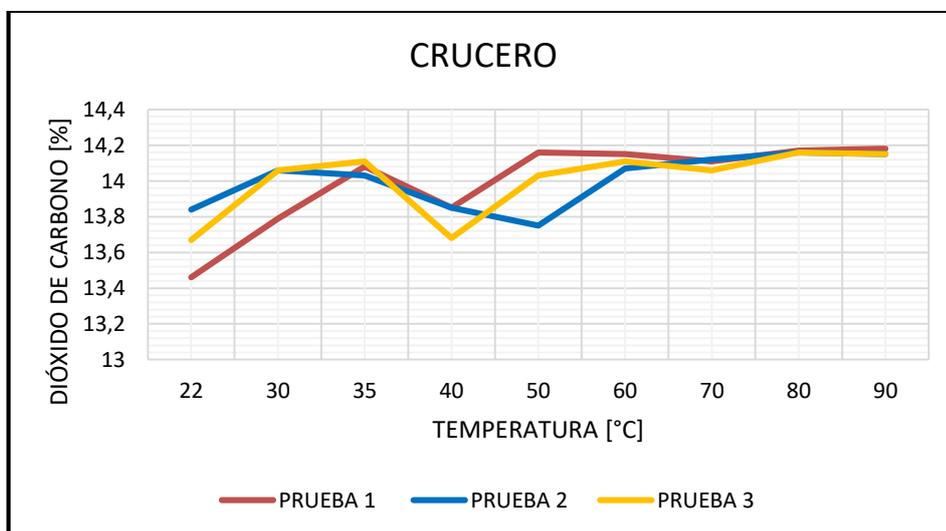
DIÓXIDO DE CARBONO [%]				
RALENTÍ				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
22,00	13,03	13,14	13,22	13,13
30,00	13,85	14,10	14,10	14,02
35,00	14,05	14,04	14,11	14,07
40,00	14,13	14,05	13,70	13,96
50,00	14,13	13,65	14,08	13,95
60,00	14,13	14,00	14,17	14,10
70,00	14,13	14,18	14,07	14,13
80,00	14,16	14,17	14,10	14,14
90,00	14,14	14,16	14,15	14,15
CRUCERO				
22,00	13,46	13,84	13,67	13,66
30,00	13,79	14,06	14,06	13,97
35,00	14,08	14,03	14,11	14,07
40,00	13,85	13,85	13,68	13,79
50,00	14,16	13,75	14,03	13,98
60,00	14,15	14,07	14,11	14,11
70,00	14,11	14,12	14,06	14,10
80,00	14,17	14,16	14,16	14,16
90,00	14,18	14,15	14,15	14,16

En la figura 96, se observa la prueba de CO<sub>2</sub> en ralentí, presenta su valor de 13,03% a una temperatura de 22°C, estabilizándose en valores superiores a 14%, en un rango de temperatura 40 a 50°C se observa un descenso a 13,65%; lo que indica que el proceso de combustión no fue el adecuado.



**Figura 96. Dióxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en ralentí**

La prueba de CO<sub>2</sub> en velocidad crucero presenta un valor mínimo entre pruebas de 13,46% a 22°C y valores intermedios de 13,68% a una temperatura de 40 a 50 °C estabilizándose a 60°C con valores superiores a 14%, figura 97.

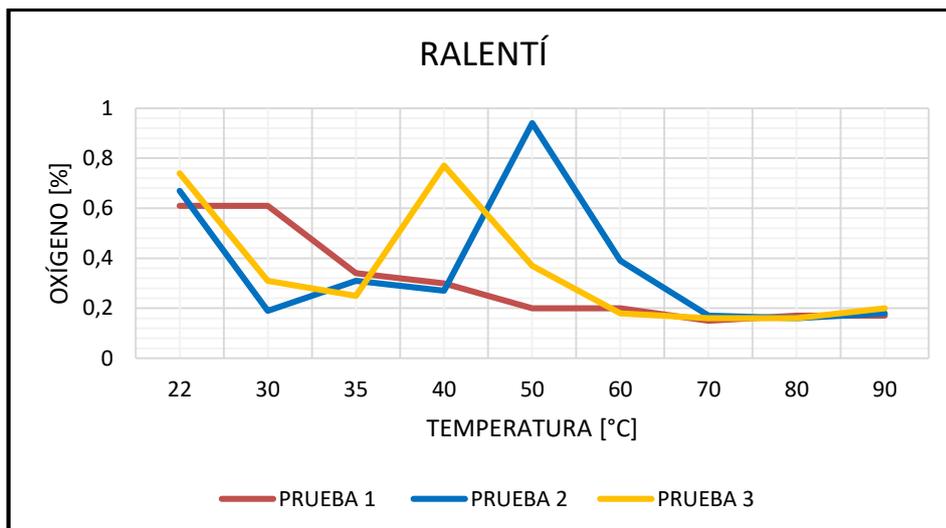


**Figura 97. Dióxido de carbono vs temperatura sin sistema de inducción en velocidad crucero**

**Tabla 38****Prueba de oxígeno sin sistema de inducción**

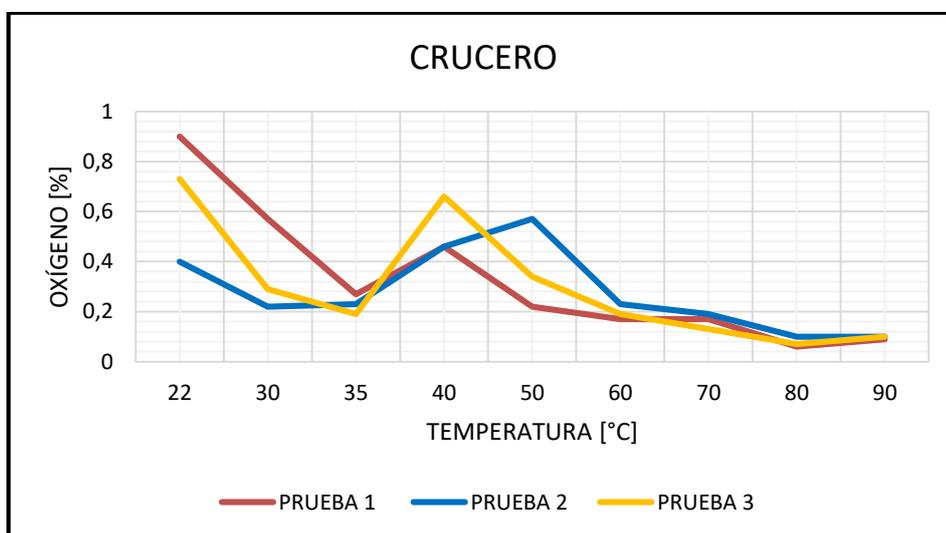
<b>OXÍGENO [O<sub>2</sub>]</b>				
<b>RALENTÍ</b>				
<b>T [°C]</b>	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>	<b>PRUEBA 3</b>	<b>PROMEDIO</b>
22,00	0,61	0,67	0,74	0,67
30,00	0,61	0,19	0,31	0,37
35,00	0,34	0,31	0,25	0,30
40,00	0,30	0,27	0,77	0,45
50,00	0,20	0,94	0,37	0,50
60,00	0,20	0,39	0,18	0,26
70,00	0,15	0,17	0,16	0,16
80,00	0,17	0,16	0,16	0,16
90,00	0,17	0,18	0,20	0,18
<b>CRUCERO</b>				
22,00	0,9	0,4	0,73	0,68
30,00	0,57	0,22	0,29	0,36
35,00	0,27	0,23	0,19	0,23
40,00	0,46	0,46	0,66	0,53
50,00	0,22	0,57	0,34	0,38
60,00	0,17	0,23	0,19	0,20
70,00	0,17	0,19	0,13	0,16
80,00	0,06	0,10	0,07	0,08
90,00	0,09	0,10	0,10	0,10

En la figura 98, se aprecia el O<sub>2</sub> en ralentí con un valor de 0,74% con el motor frío, el valor máximo de 0,94% a una temperatura entre 40 y 50°C; estabilizándose su valor a medida que la temperatura llega a su valor normal de funcionamiento.



**Figura 98. Oxígeno vs temperatura sin sistema de inducción en ralentí**

En velocidad crucero la cantidad máxima de  $O_2$  es de 0,90% a 22°C con tendencia a cero mientras se eleva la temperatura del motor, se presentan valores intermedios de 0,66% en temperatura entre 40 y 50 °C, figura 99.



**Figura 99. Oxígeno vs temperatura sin sistema de inducción en velocidad crucero**

#### b. Prueba de emisiones con medición continua

Las mediciones continuas de gases se desarrollaron en valores progresivos ascendentes de 5°C hasta los 95°C de temperatura del motor

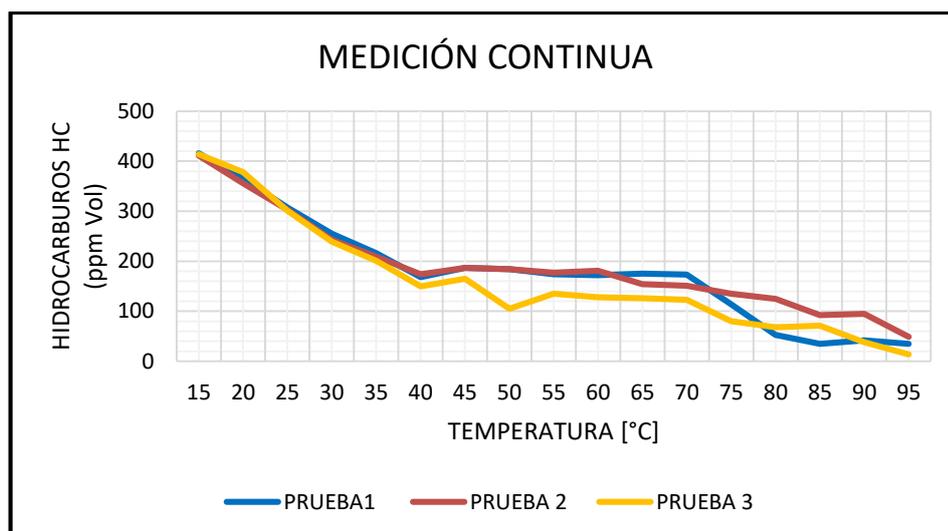
con el analizador de gases AGS-688, los resultados las pruebas se presentan a continuación, con el promedio de las tres mediciones realizadas.

**Tabla 39**

**Hidrocarburos con medición continua sin sistema de inducción**

HIDROCARBUROS HC (ppm Vol.)				
T (°C)	PRUEBA1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	416,00	411,00	414,00	413,67
20,00	365,00	356,00	378,00	366,33
25,00	307,00	303,00	301,00	303,67
30,00	255,00	243,00	239,00	245,67
35,00	216,00	209,00	201,00	208,67
40,00	168,00	174,00	150,00	164,00
45,00	187,00	187,00	165,00	179,67
50,00	184,00	184,00	105,00	157,67
55,00	174,00	177,00	135,00	162,00
60,00	172,00	181,00	128,00	160,33
65,00	175,00	154,00	126,00	151,67
70,00	173,00	151,00	123,00	149,00
75,00	114,00	135,00	80,00	109,67
80,00	53,00	125,00	68,00	82,00
85,00	35,00	92,00	71,00	66,00
90,00	42,00	95,00	38,00	58,33
95,00	35,00	49,00	14,00	32,67

En la figura 100, se observa la medición continua de HC presentando un valor máximo entre pruebas de 416 ppm a una temperatura de 15°C, a medida que se eleva la temperatura del motor su valor baja progresivamente hasta valores cercanos a cero, se evidencia una mayor contaminación con el motor y catalizador por debajo de la temperatura normal de operación.



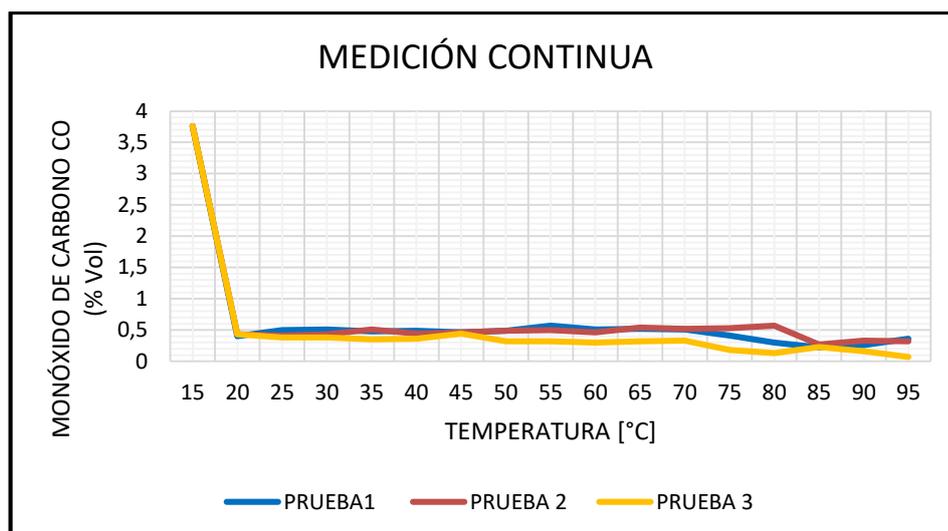
**Figura 100. Hidrocarburos vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

**Tabla 40**

**Monóxido de carbono con medición continua sin sistema de inducción**

MONÓXIDO DE CARBONO CO (% Vol.)				
T (°C)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	3,76	3,76	3,76	3,76
20,00	0,40	0,43	0,43	0,42
25,00	0,5	0,41	0,38	0,43
30,00	0,51	0,43	0,38	0,44
35,00	0,48	0,51	0,35	0,45
40,00	0,49	0,44	0,36	0,43
45,00	0,46	0,46	0,44	0,45
50,00	0,49	0,49	0,32	0,43
55,00	0,57	0,5	0,32	0,46
60,00	0,51	0,46	0,30	0,42
65,00	0,52	0,54	0,32	0,46
70,00	0,51	0,52	0,33	0,45
75,00	0,41	0,53	0,18	0,37
80,00	0,30	0,57	0,13	0,33
85,00	0,22	0,27	0,23	0,24
90,00	0,26	0,33	0,16	0,25
95,00	0,36	0,32	0,07	0,25

La cantidad máxima de CO en medición continua es de 3,76% a 15°C estabilizando su valor cercano a cero desde los 20°C hasta que el motor alcanza su temperatura de funcionamiento, figura 101.



**Figura 101. Monóxido de carbono vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

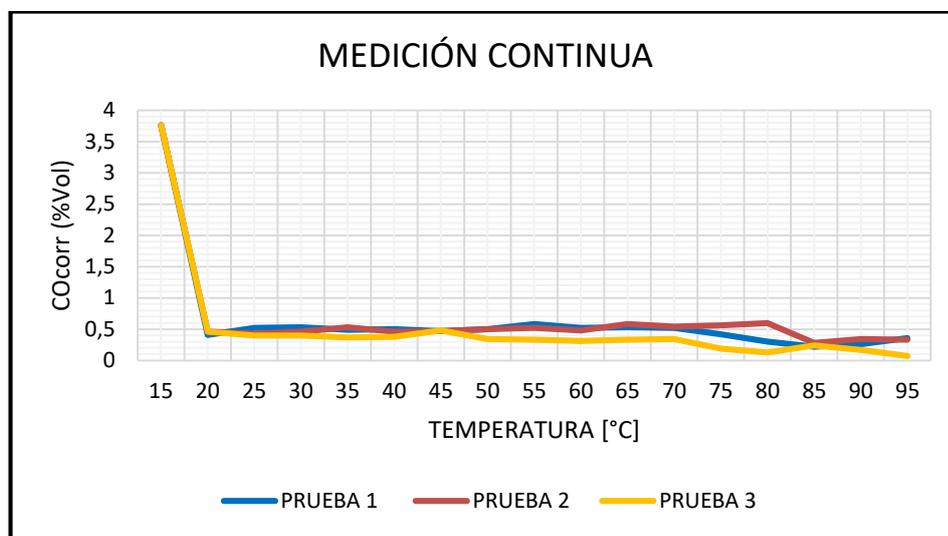
**Tabla 41**

**Monóxido de carbono corregido con medición continua sin sistema de inducción**

COcorr (%Vol.)				
T (°C)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	3,76	3,76	3,76	3,76
20,00	0,41	0,46	0,46	0,44
25,00	0,52	0,43	0,40	0,45
30,00	0,53	0,46	0,40	0,46
35,00	0,49	0,53	0,37	0,46
40,00	0,50	0,46	0,38	0,45
45,00	0,47	0,47	0,48	0,47
50,00	0,50	0,50	0,34	0,45
55,00	0,58	0,52	0,33	0,48
60,00	0,52	0,48	0,31	0,44
65,00	0,53	0,58	0,33	0,48
70,00	0,52	0,54	0,34	0,47
75,00	0,42	0,56	0,19	0,39
80,00	0,30	0,60	0,13	0,34
85,00	0,22	0,28	0,24	0,25
90,00	0,26	0,34	0,17	0,26
95,00	0,36	0,33	0,07	0,25

En la figura 102, la cantidad de monóxido de carbono corregido en medición continua presenta su máximo valor a una temperatura de 15°C

estabilizando su valor cercano a cero desde los 20°C hasta la temperatura normal de funcionamiento del motor



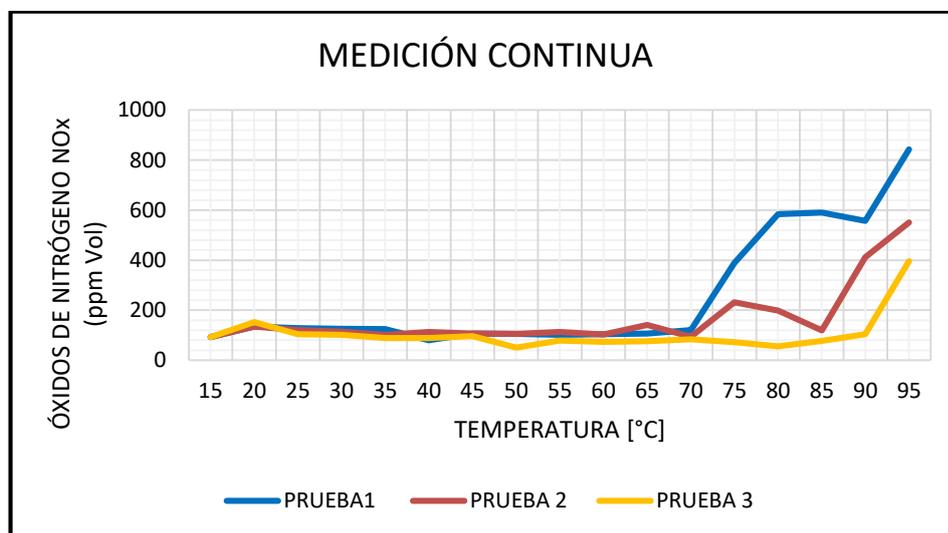
**Figura 102. Monóxido de carbono corregido vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

**Tabla 42**

**Óxidos de nitrógeno con medición continua sin sistema de inducción**

ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx (ppm Vol.)				
T (°C)	PRUEBA1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	93,00	93,00	93,00	93,00
20,00	135,00	135,00	152,00	140,67
25,00	128,00	120,00	104,00	117,33
30,00	126,00	114,00	101,00	113,67
35,00	124,00	101,00	89,00	104,67
40,00	80,00	113,00	89,00	94,00
45,00	106,00	106,00	96,00	102,67
50,00	105,00	105,00	50,00	86,67
55,00	102,00	113,00	79,00	98,00
60,00	104,00	103,00	73,00	93,33
65,00	107,00	141,00	76,00	108,00
70,00	121,00	94,00	83,00	99,33
75,00	389,00	232,00	72,00	231,00
80,00	584,00	198,00	55,00	279,00
85,00	590,00	119,00	77,00	262,00
90,00	557,00	411,00	104,00	357,33
95,00	843,00	551,00	396,00	596,67

Las pruebas de NOx presentan una estabilidad entre los 15 hasta los 70°C de temperatura de operación del motor con un valor próximo a los 93 ppm notándose su incremento desde los 75 hasta los 95°C con un valor pico de 843 ppm, figura 103.



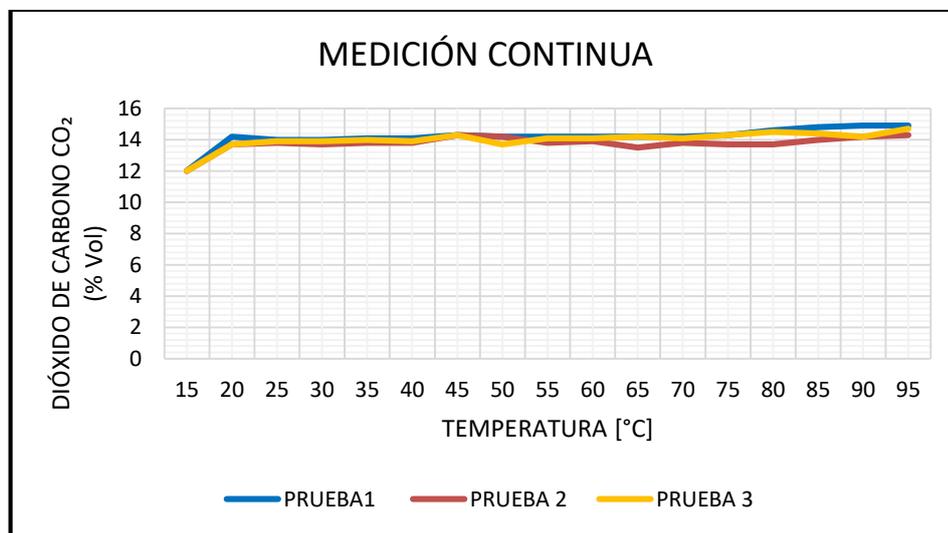
**Figura 103. Óxidos de nitrógeno vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

**Tabla 43**

**Dióxido de carbono con medición continua sin sistema de inducción**

DIÓXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> (% Vol.)				
T (°C)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	12,00	12,00	12,00	12,00
20,00	14,20	13,70	13,70	13,87
25,00	14,00	13,80	13,90	13,90
30,00	14,00	13,70	13,90	13,87
35,00	14,10	13,80	14,00	13,97
40,00	14,10	13,80	13,90	13,93
45,00	14,30	14,30	14,30	14,30
50,00	14,20	14,20	13,70	14,03
55,00	14,20	13,80	14,10	14,03
60,00	14,20	13,90	14,10	14,07
65,00	14,20	13,50	14,20	13,97
70,00	14,20	13,80	14,10	14,03
75,00	14,30	13,70	14,30	14,10
80,00	14,60	13,70	14,50	14,27
85,00	14,80	14,00	14,40	14,40
90,00	14,90	14,20	14,20	14,43
95,00	14,90	14,30	14,70	14,63

En la figura 104, se aprecia la prueba de CO<sub>2</sub> con medición continua, presentando valores de 12% a 15°C y estabilizándose desde los 20°C con valores que oscilan desde los 14 a 15% hasta la temperatura normal de funcionamiento.



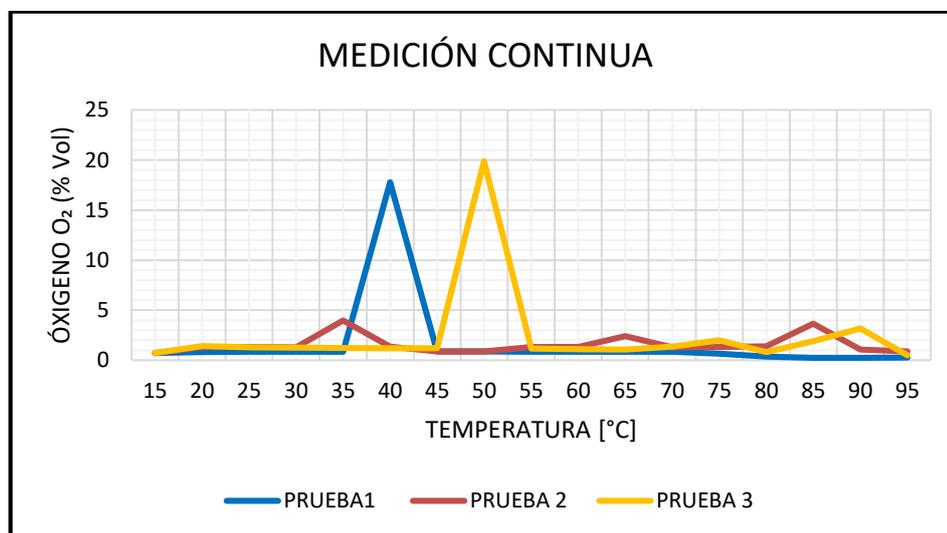
**Figura 104. Dióxido de carbono vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

**Tabla 44**

**Oxígeno con medición continua sin sistema de inducción**

OXÍGENO O <sub>2</sub> (% Vol.)				
T (°C)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	0,72	0,72	0,72	0,72
20,00	0,82	1,31	1,42	1,18
25,00	0,86	1,31	1,28	1,15
30,00	0,84	1,29	1,25	1,13
35,00	0,86	3,98	1,24	2,03
40,00	17,8	1,37	1,19	6,79
45,00	0,87	0,87	1,21	0,98
50,00	0,87	0,87	19,9	7,21
55,00	0,84	1,33	1,18	1,12
60,00	0,84	1,31	1,1	1,08
65,00	0,85	2,42	1,07	1,45
70,00	0,85	1,28	1,35	1,16
75,00	0,64	1,34	1,99	1,32
80,00	0,37	1,38	0,83	0,86
85,00	0,25	3,65	1,9	1,93
90,00	0,24	1,07	3,19	1,50
95,00	0,26	0,89	0,49	0,55

El oxígeno con medición continua presenta a baja temperatura un valor cercano a cero y valores máximos de 19,9% en temperaturas de 40 a 50°C, estabilizando su valor cercano a cero mientras alcanza su temperatura normal de operación del motor, figura 105.



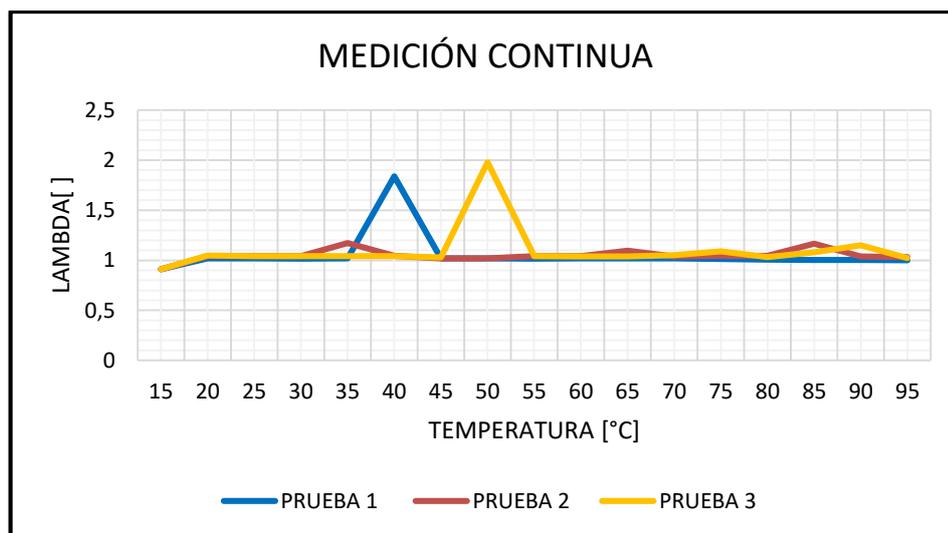
**Figura 105. Oxígeno vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

**Tabla 45**

**Lambda con medición continua sin sistema de inducción**

LAMBDA				
T (°C)	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	0,910	0,910	0,910	0,91
20,00	1,019	1,042	1,047	1,04
25,00	1,018	1,043	1,043	1,03
30,00	1,017	1,043	1,042	1,03
35,00	1,019	1,171	1,043	1,08
40,00	1,838	1,046	1,041	1,31
45,00	1,020	1,02	1,030	1,02
50,00	1,019	1,019	1,979	1,34
55,00	1,016	1,042	1,042	1,03
60,00	1,018	1,042	1,039	1,03
65,00	1,018	1,097	1,037	1,05
70,00	1,018	1,04	1,05	1,04
75,00	1,014	1,044	1,088	1,05
80,00	1,006	1,045	1,033	1,03
85,00	1,004	1,167	1,081	1,08
90,00	1,002	1,038	1,149	1,06
95,00	1,000	1,031	1,021	1,02

El valor de lambda con medición continua presenta un valor mínimo durante el arranque en frío de 0,91 manteniendo una mezcla rica y estabilizando su valor desde los 20°C con valores cercanos a uno hasta la temperatura normal de operación del motor a excepción del rango de temperatura entre 40 y 50°C donde evidencia su máximo valor de 1,97 que representa una mezcla pobre como se aprecia en la figura 106.



**Figura 106. Lambda vs temperatura con medición continua sin sistema de inducción**

#### 4.4.4. Consumo de combustible

Las pruebas de consumo de combustible sin el sistema de inducción tomando en cuenta tres tipos de tráfico y siguiendo la ruta establecida para la prueba.

##### a. Tráfico ligero

**Tabla 46**

#### Consumo de combustible en tráfico ligero

TRÁFICO LIGERO					
CONDICIÓN	DISTANCIA [Km]	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
PRUEBA 1	3,57	0,34	9,54	13,60	0,67
PRUEBA 2	3,57	0,32	9,10	12,20	0,68
PRUEBA 3	3,57	0,29	8,15	11,50	0,68
PROMEDIO	3,57	0,32	8,93	12,43	0,68

### b. Tráfico moderado

Tabla 47

#### Consumo de combustible en tráfico moderado

TRÁFICO MODERADO					
CONDICIÓN	DISTANCIA [Km]	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
PRUEBA 1	3,57	0,41	10,74	13,42	0,73
PRUEBA 2	3,57	0,40	11,17	12,23	0,71
PRUEBA 3	3,57	0,41	10,74	11,96	0,70
PROMEDIO	3,57	0,41	10,88	12,54	0,71

### c. Alto tráfico

Tabla 48

#### Consumo de combustible en alto tráfico

ALTO TRÁFICO					
CONDICIÓN	DISTANCIA [Km]	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
PRUEBA 1	3,57	0,56	11,44	15,60	0,76
PRUEBA 2	3,57	0,54	11,54	12,80	0,72
PRUEBA 3	3,57	0,58	11,57	12,00	0,73
PROMEDIO	3,57	0,56	11,52	13,47	0,74

El consumo de combustible es proporcional al tráfico presente durante la prueba, es así que con alto tráfico se generó un consumo de 0,56 litros de combustible respecto del menor consumo en tráfico ligero que fue de 0,32 litros lo que representa un incremento de 57,14%.

#### 4.4.5. Gestión electrónica sin sistema de inducción

A continuación, se presenta la tabulación de resultados de la gestión electrónica de combustible sin el sistema de inducción.

Tabla 49

## Valor de carga calculado sin sistema de inducción

LOAD_PCT: Valor de carga calculado [%]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	4,30	0,00	0,00	4,30
20	4,30	5,10	5,10	4,83
25	5,10	4,30	5,10	4,83
30	5,10	4,30	4,30	4,57
35	4,30	4,30	4,30	4,30
40	4,30	4,30	4,30	4,30
45	4,30	4,30	4,30	4,30
50	4,30	4,30	4,30	4,30
55	4,30	3,10	4,30	3,90
60	3,10	3,10	4,30	3,50
65	3,10	3,10	4,30	3,50
70	3,10	3,10	4,30	3,50
75	3,10	3,10	4,30	3,50
80	3,10	3,10	4,30	3,50
85	3,10	3,10	4,30	3,50
90	5,30	5,30	4,30	4,97

En la figura 107, se observa el valor de carga calculado por la gestión electrónica del vehículo con un valor mínimo de 0% a 15°C durante el arranque en frío y su valor máximo de 5,30% a temperatura normal de funcionamiento.

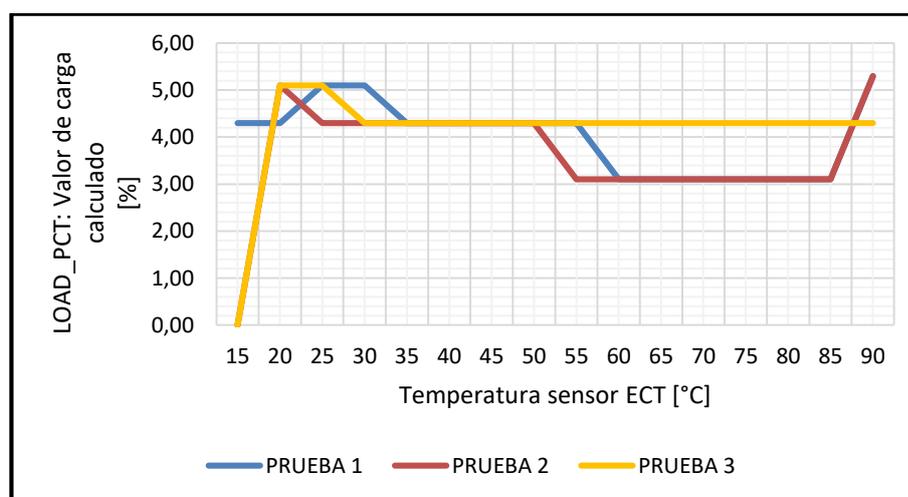


Figura 107. Valor de carga calculado vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción

Tabla 50

## Recorte de combustible a corto plazo sin sistema de inducción

SHRTFT1: Short Term Fuel Trim - Bank1 [%]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	-1,56	-1,56
35	12,50	0,00	1,56	7,03
40	12,50	0,78	3,13	5,47
45	10,16	1,56	0,78	4,17
50	14,06	5,47	1,56	7,03
55	14,06	0,78	2,34	5,73
60	1,56	0,00	-2,34	-0,78
65	0,00	-2,34	-2,34	-2,34
70	0,78	0,78	1,56	1,04
75	0,00	0,00	0,78	0,78
80	1,56	-2,34	-1,56	-0,78
85	0,00	0,00	0,78	0,78
90	6,25	2,34	3,91	4,16

El ajuste de combustible a corto plazo mediante la gestión electrónica del vehículo sin el sistema de inducción presenta un valor máximo entre pruebas de 14,06 % a temperaturas entre 50 y 55°C y un valor mínimo de -2,34% a temperaturas que varían de 55 a 80°C, de acuerdo al valor de la señal del sensor de oxígeno, figura 108.

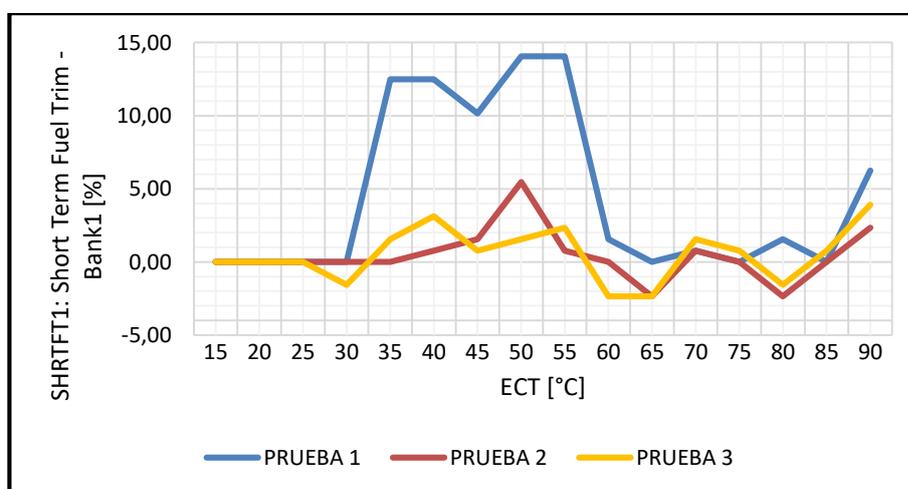


Figura 108. Recorte de combustible a corto plazo vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción

Tabla 51

## Recorte de combustible a largo plazo sin sistema de inducción

LONGFT1: Long Term Fuel Trim - Bank1 [%]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00
65	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00

En la figura 109, se aprecia que el valor del recorte de combustible a largo plazo presenta un valor de cero en todas las tres pruebas desde que se enciende el vehículo en frío de 15°C hasta la temperatura normal de operación de 90°C, es un indicativo del funcionamiento correcto de los componentes que forman parte de la gestión electrónica del vehículo.

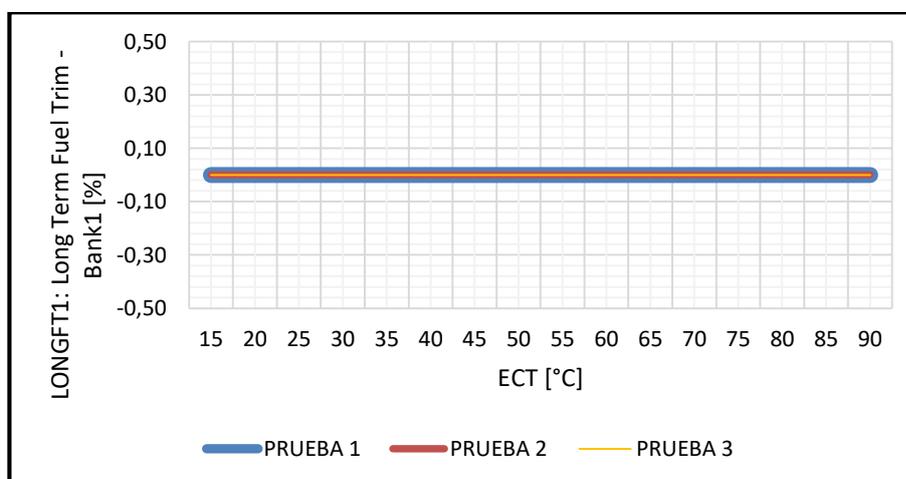


Figura 109. Recorte de combustible a largo plazo vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción

Tabla 52

## Presión absoluta del colector de entrada sin sistema de inducción

MAP: Presión absoluta del colector de entrada [KPa]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	30,00	73,00	73,00	58,67
20	30,00	37,00	34,00	33,67
25	32,00	32,00	31,00	31,67
30	30,00	30,00	30,00	30,00
35	30,00	30,00	31,00	30,33
40	30,00	30,00	30,00	30,00
45	30,00	30,00	30,00	30,00
50	29,00	30,00	29,00	29,33
55	28,00	30,00	29,00	29,00
60	28,00	29,00	30,00	29,00
65	28,00	29,00	28,00	28,33
70	27,00	28,00	28,00	27,67
75	27,00	28,00	27,00	27,33
80	27,00	28,00	27,00	27,33
85	27,00	27,00	26,00	26,67
90	27,00	20,00	25,00	24,00

Las pruebas de la presión absoluta del colector de entrada indica un valor máximo de presión de 73KPa a temperatura de 15°C, estabilizando su valor a 30KPa con una temperatura de 25°C mientras alcanza la temperatura óptima de funcionamiento el motor, figura 110.

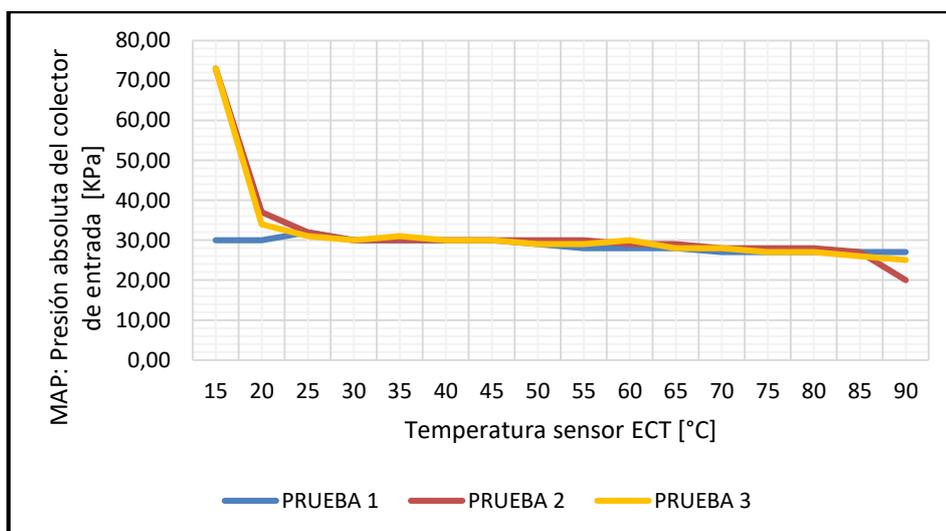


Figura 110. Presión absoluta del colector de entrada vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción

Tabla 53

## Avance del tiempo de ignición sin sistema de inducción

SPARKADV: Avance de tiempo de ignición para #1 [°]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	7,00	0,00	0,00	7,00
20	7,00	6,00	5,00	9,00
25	4,00	5,00	4,00	6,50
30	3,00	4,00	5,00	6,00
35	2,00	3,00	2,00	3,50
40	2,00	3,00	2,00	3,50
45	2,00	3,00	2,00	3,50
50	1,00	1,00	2,00	2,00
55	0,00	2,00	1,00	1,50
60	1,00	2,00	1,00	2,00
65	0,00	0,00	1,00	1,00
70	1,00	1,00	1,00	1,00
75	1,00	1,00	1,00	1,00
80	1,00	1,00	1,00	1,00
85	1,00	1,00	2,00	2,00
90	2,00	2,00	2,00	3,00

En la figura 111, se observa el avance del tiempo de ignición, el valor máximo entre pruebas se presenta durante el encendido en frío con un valor de 7 grados, mientras la temperatura del motor se eleva a temperatura óptima de operación el avance al tiempo de ignición su valor tiende a cero.

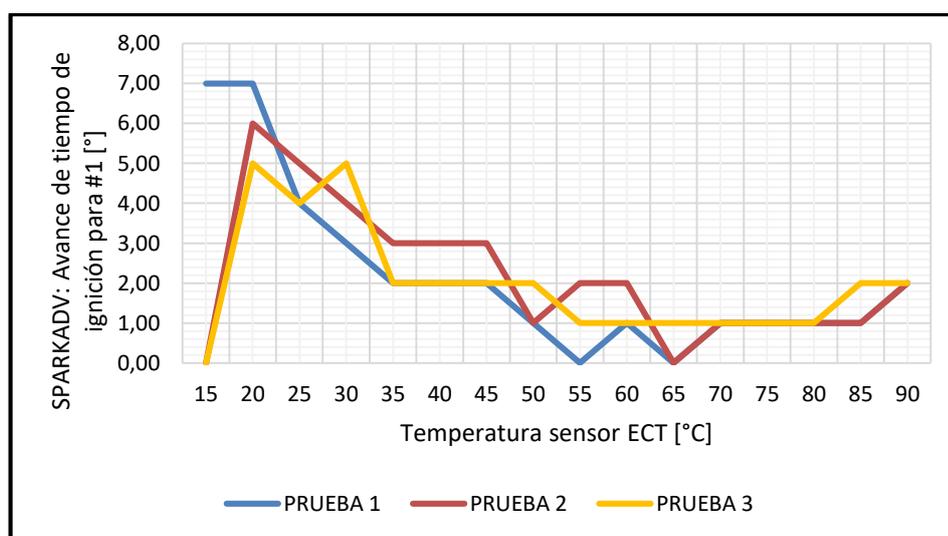


Figura 111. Avance del tiempo de ignición vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción

Tabla 54

## Voltaje del sensor de oxígeno sin sistema de inducción

O2S11: Oxygen Sensor Output Voltage(B1-S1) [V]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	0,44	0,44	0,44	0,44
20	0,44	0,44	0,44	0,44
25	0,44	0,45	0,46	0,45
30	0,30	0,59	0,51	0,47
35	0,81	0,33	0,56	0,57
40	0,27	0,29	0,79	0,45
45	0,31	0,35	0,30	0,32
50	0,22	0,70	0,48	0,47
55	0,72	0,56	0,52	0,60
60	0,65	0,46	0,35	0,49
65	0,45	0,45	0,34	0,41
70	0,79	0,66	0,44	0,63
75	0,55	0,42	0,60	0,52
80	0,82	0,23	0,27	0,44
85	0,42	0,35	0,44	0,40
90	0,70	0,54	0,49	0,58

El voltaje generado por el sensor de oxígeno durante el arranque en frío presenta un valor de 0,45 voltios manifestando mezcla rica, y oscila con valores de 0,7 a 0,9 lo que indica una mezcla pobre, figura 112, observando una disminución en su amplitud normal de operación (0,1V a 0,9V) lo que refleja pérdida en su capacidad de respuesta.

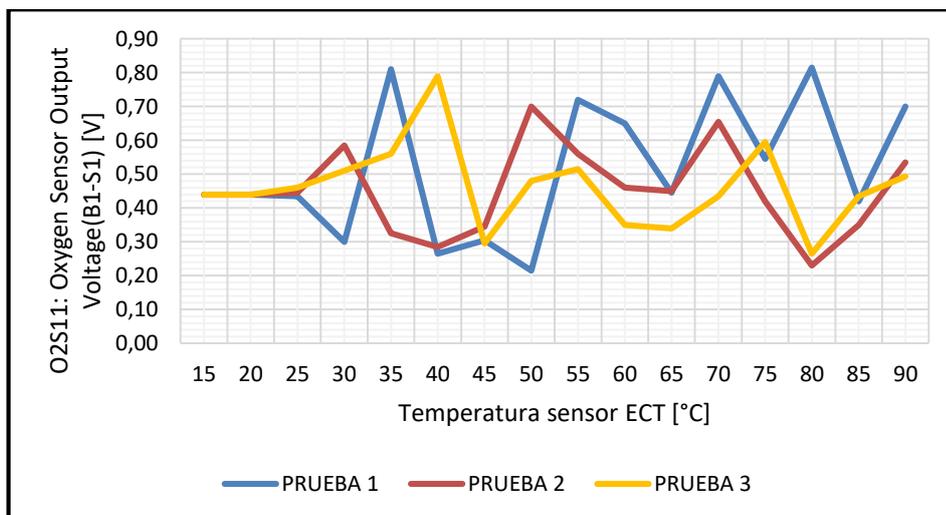


Figura 112. Voltaje del sensor de oxígeno vs temperatura del sensor ECT sin sistema de inducción

#### 4.5. Tabulación de resultados de rendimiento del motor con sistema de inducción

Los resultados de las pruebas de rendimiento con el funcionamiento del sistema de inducción, así también la tendencia central para cada tipo de prueba minimizando el margen de error para el manejo estadístico se presenta continuación:

##### 4.5.1. Torque

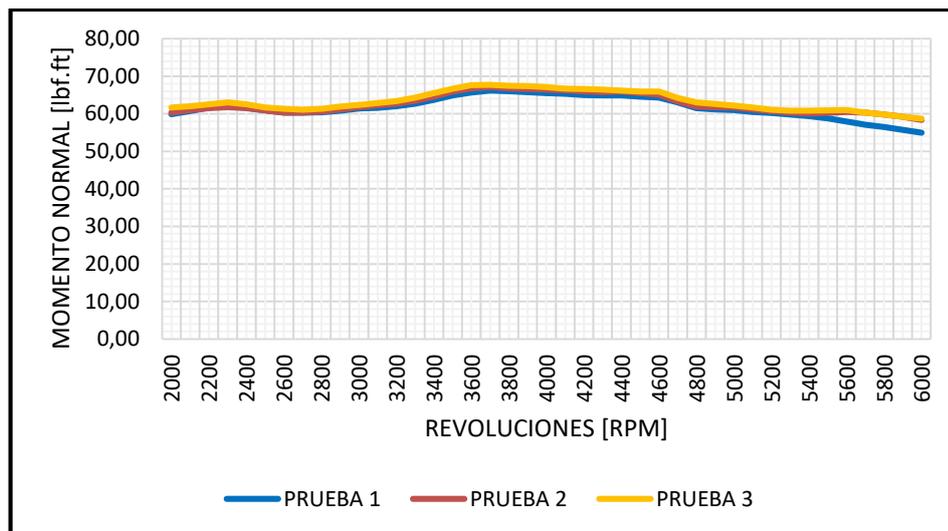
Para la medición del torque se utilizó el dinamómetro de rodillos LPS 3000, los resultados de los ensayos mediante la implementación del sistema de inducción se detallan en la tabla 55.

**Tabla 55**

#### **Momento normal con sistema de inducción**

<b>MOMENTO NORMAL [lbf.ft]</b>				
<b>RPM</b>	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>	<b>PRUEBA 3</b>	<b>PROMEDIO</b>
2000	59,90	60,30	61,70	60,63
2500	60,90	60,90	61,70	61,17
3000	61,40	61,80	62,40	61,87
3500	64,90	65,90	66,70	65,83
4000	65,50	66,40	67,10	66,33
4500	64,60	65,50	65,90	65,33
5000	61,00	61,70	62,20	61,63
5500	58,80	60,20	60,90	59,97
6000	55,00	58,40	58,70	57,37

En la figura 113, se observa la prueba de torque con el sistema de inducción, el valor máximo entre pruebas es de 67,70 lbf. ft a 3700 rpm y un valor mínimo de 55 lbf. ft a 6000 rpm.



**Figura 113. Momento normal vs revoluciones con sistema de inducción**

#### 4.5.2. Potencia

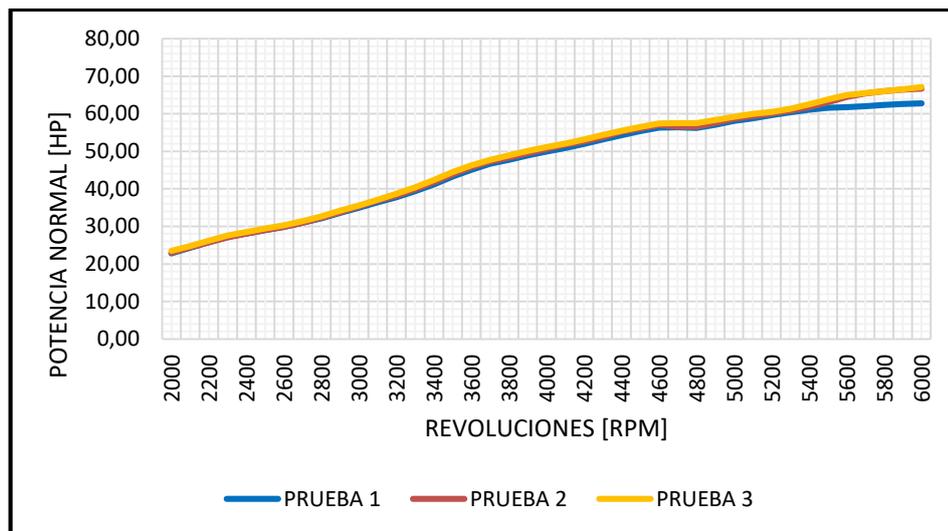
##### a. Potencia normal

**Tabla 56**

##### **Potencia normal con sistema de inducción**

POTENCIA NORMAL [HP]				
RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
2000	22,80	23,00	23,50	23,10
2500	29,00	29,00	29,40	29,13
3000	35,00	35,30	35,60	35,30
3500	43,30	43,90	44,50	43,90
4000	49,90	50,60	51,10	50,53
4500	55,40	56,10	56,50	56,00
5000	58,10	58,70	59,20	58,67
5500	61,60	63,00	63,80	62,80
6000	62,80	66,70	67,10	65,53

La potencia normal tiene un valor máximo de 67,10 HP a 6000 rpm y un valor mínimo de 23,50 HP a 2000 rpm, figura 114, presentando valores similares durante regímenes bajos de velocidad.



**Figura 114. Potencia normal vs revoluciones con sistema de inducción**

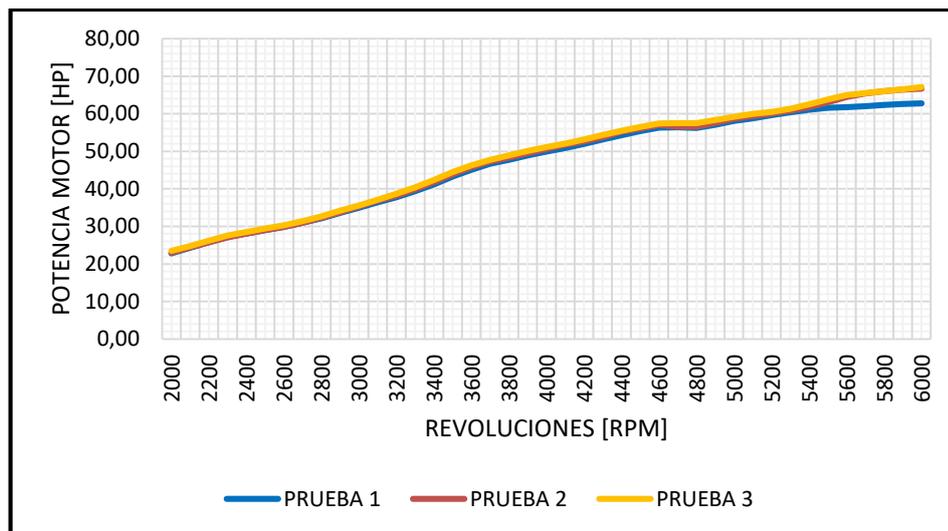
### b. Potencia motor

**Tabla 57**

#### **Potencia motor con sistema de inducción**

<b>POTENCIA MOTOR [HP]</b>				
<b>RPM</b>	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>	<b>PRUEBA 3</b>	<b>PROMEDIO</b>
2000	22,80	23,00	23,50	23,10
2500	29,00	29,00	29,40	29,13
3000	35,00	35,30	35,60	35,30
3500	43,30	43,90	44,50	43,90
4000	49,90	50,60	51,10	50,53
4500	55,40	56,10	56,50	56,00
5000	58,10	58,70	59,20	58,67
5500	61,60	63,00	63,80	62,80
6000	62,80	66,70	67,10	65,53

En la figura 115, se aprecia la potencia motor en función de las rpm con gráficas similares entre pruebas, presenta un valor máximo de 67,10 HP a 6000 rpm, y un valor mínimo de 23,50 a 2000 rpm.



**Figura 115. Potencia motor vs revoluciones con sistema de inducción**

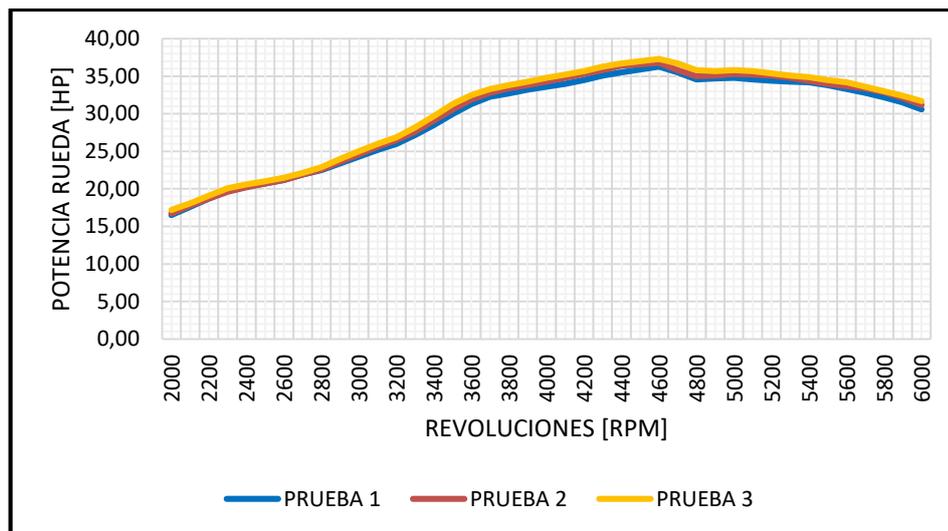
### c. Potencia rueda

**Tabla 58**

**Potencia rueda con sistema de inducción**

POTENCIA RUEDA [HP]				
RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
2000	16,50	16,70	17,20	16,80
2500	20,70	20,70	21,00	20,80
3000	24,30	24,60	25,00	24,63
3500	30,00	30,60	31,30	30,63
4000	33,60	34,30	34,80	34,23
4500	35,90	36,60	37,00	36,50
5000	34,80	35,30	35,80	35,30
5500	33,80	34,00	34,50	34,10
6000	30,60	31,20	31,70	31,17

La potencia rueda presenta un valor mínimo de 17,20 HP a 2000 rpm, aumenta su valor progresivamente mientras se eleva las revoluciones del motor, alcanzando un valor máximo de 37,30 HP a 4600 rpm, figura 116.



**Figura 116. Potencia rueda vs revoluciones con sistema de inducción**

#### 4.5.3. Gases de combustión

##### a. Pruebas de emisiones en ralentí y velocidad crucero

La prueba de emisiones se realizó en ralentí a 750 rpm y velocidad crucero a 2500 rpm haciendo uso del sistema de inducción se realizó con el analizador de gases AGS-688 cuyos resultados se presentan a continuación:

**Tabla 59**

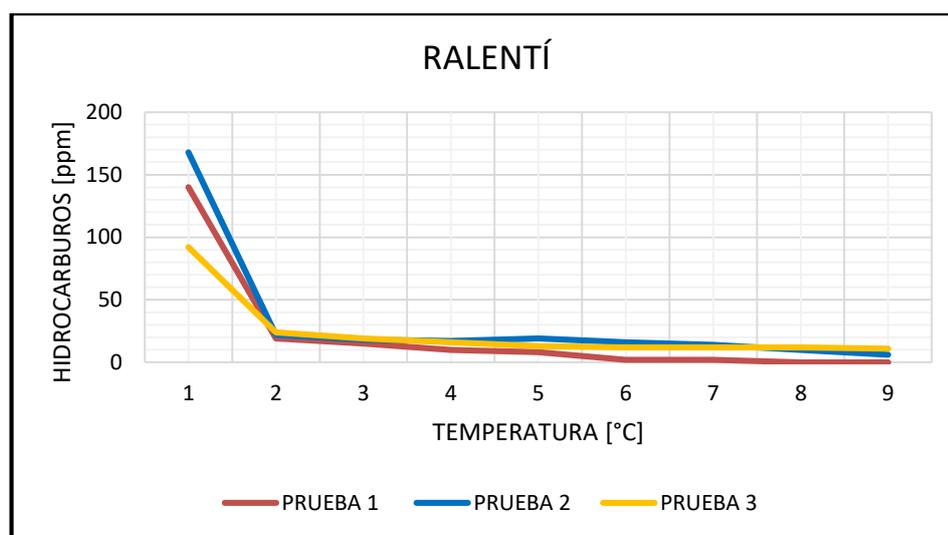
##### Prueba de hidrocarburos con sistema de inducción

HIDROCARBUROS [ppm]				
RALENTÍ				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
22,00	140,00	168,00	92,00	133,33
30,00	19,00	22,00	24,00	21,67
35,00	15,00	18,00	19,00	17,33
40,00	10,00	17,00	16,00	14,33
50,00	8,00	19,00	13,00	13,33
60,00	2,00	16,00	12,00	10,00
70,00	2,00	14,00	12,00	9,33
80,00	0,00	10,00	12,00	11,00
90,00	0,00	6,00	11,00	8,50

CONTINÚA 

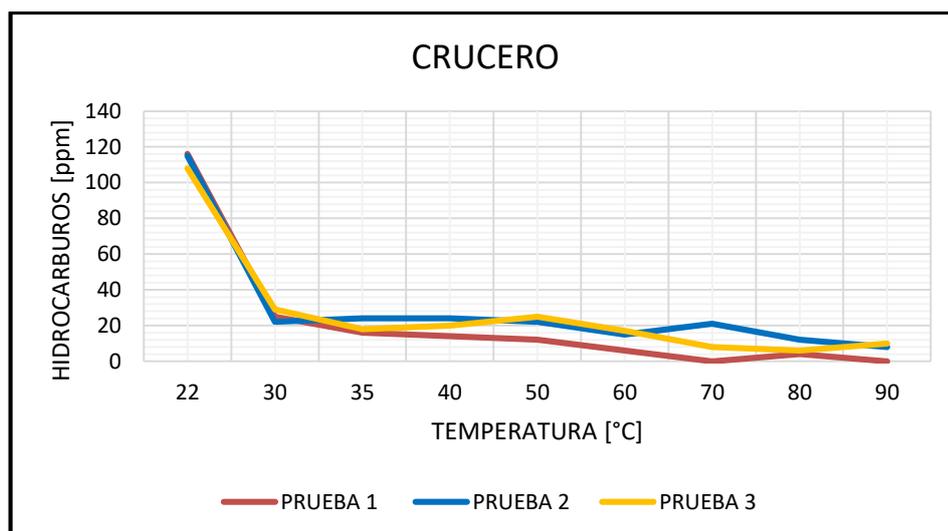
CRUCERO				
22,00	116,00	115,00	108,00	113,00
30,00	25,00	22,00	29,00	25,33
35,00	16,00	24,00	18,00	19,33
40,00	14,00	24,00	20,00	19,33
50,00	12,00	22,00	25,00	19,67
60,00	6,00	15,00	17,00	12,67
70,00	0,00	21,00	8,00	14,50
80,00	4,00	12,00	6,00	7,33
90,00	0,00	8,00	10,00	9,00

En la figura 117, se aprecia el nivel máximo de hidrocarburos en ralentí durante el arranque en frío del vehículo con un valor de 168 ppm, se evidencia una vez que se incrementa la temperatura del motor y por ende del catalizador, a 30°C su valor baja considerablemente a 20 ppm con una tendencia a cero mientras el motor alcanza su temperatura de operación.



**Figura 117. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en ralentí**

Los HC en velocidad crucero presentan un valor máximo de 115 ppm a una temperatura de 22°C con una tendencia a cero desde los 30°C con valores que varían de 20 ppm a 30 ppm hasta el valor normal de operación del motor, figura 118.



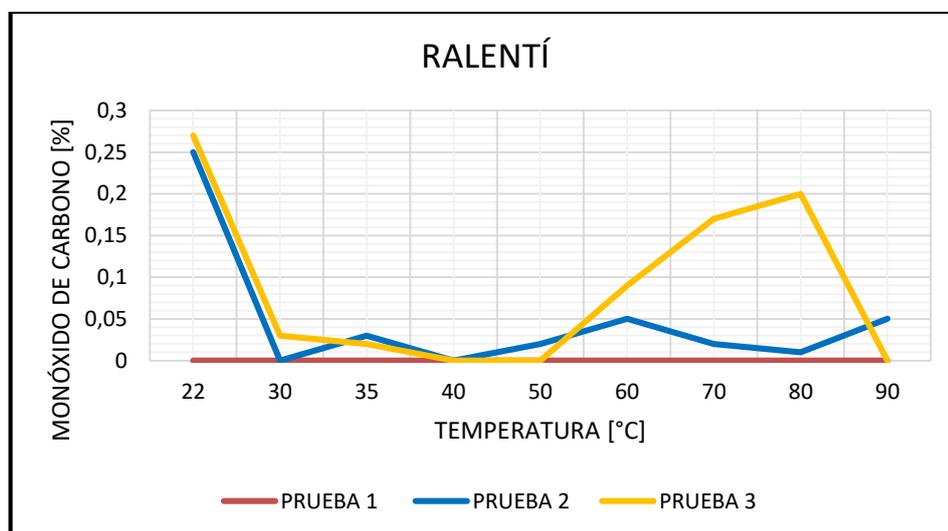
**Figura 118. Hidrocarburos vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero**

**Tabla 60**

**Prueba de monóxido de carbono con sistema de inducción**

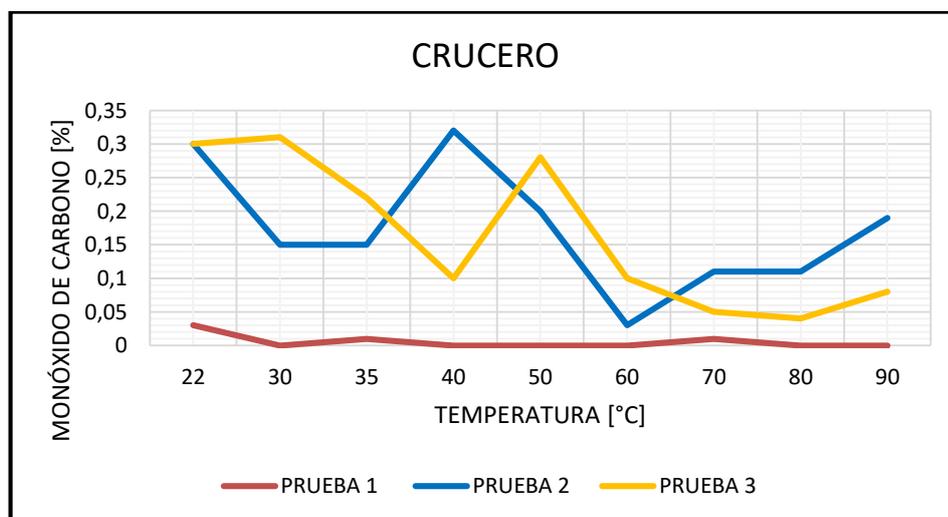
<b>MONÓXIDO DE CARBONO [%]</b>				
<b>RALENTÍ</b>				
<b>T [°C]</b>	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>	<b>PRUEBA 3</b>	<b>PROMEDIO</b>
22	0,00	0,25	0,27	0,26
30	0,00	0,00	0,03	0,03
35	0,00	0,03	0,02	0,02
40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,02	0,00	0,02
60	0,00	0,05	0,09	0,05
70	0,00	0,02	0,17	0,09
80	0,00	0,01	0,20	0,04
90	0,00	0,05	0,00	0,05
<b>CRUCERO</b>				
22	0,03	0,30	0,30	0,21
30	0,00	0,15	0,31	0,23
35	0,01	0,15	0,22	0,13
40	0,00	0,32	0,10	0,21
50	0,00	0,20	0,28	0,24
60	0,00	0,03	0,10	0,06
70	0,01	0,11	0,05	0,06
80	0,00	0,11	0,04	0,07
90	0,00	0,19	0,08	0,13

En la figura 119, se aprecia la concentración de CO en ralentí durante el arranque en frío con un valor máximo de 0,27% y un valor mínimo de cero, se evidencia en una de las pruebas un valor de 0,20% a una temperatura de 80°C generada por una aceleración.



**Figura 119. Monóxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en ralentí**

El comportamiento en velocidad crucero de los CO en los gases de escape presenta un valor máximo 0,32% a una temperatura de 40 a 50°C bajando progresivamente su valor mientras el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento, figura 120.



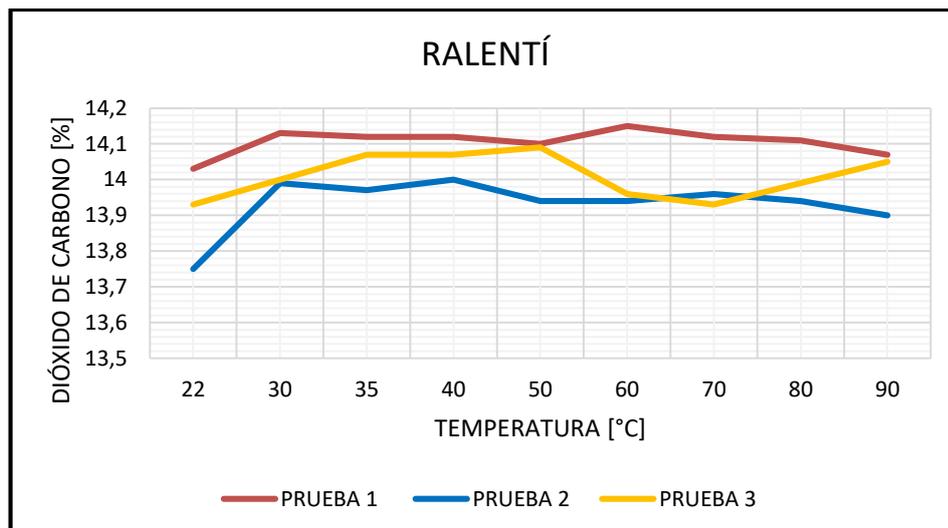
**Figura 120. Monóxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero**

Tabla 61

## Prueba de dióxido de carbono con sistema de inducción

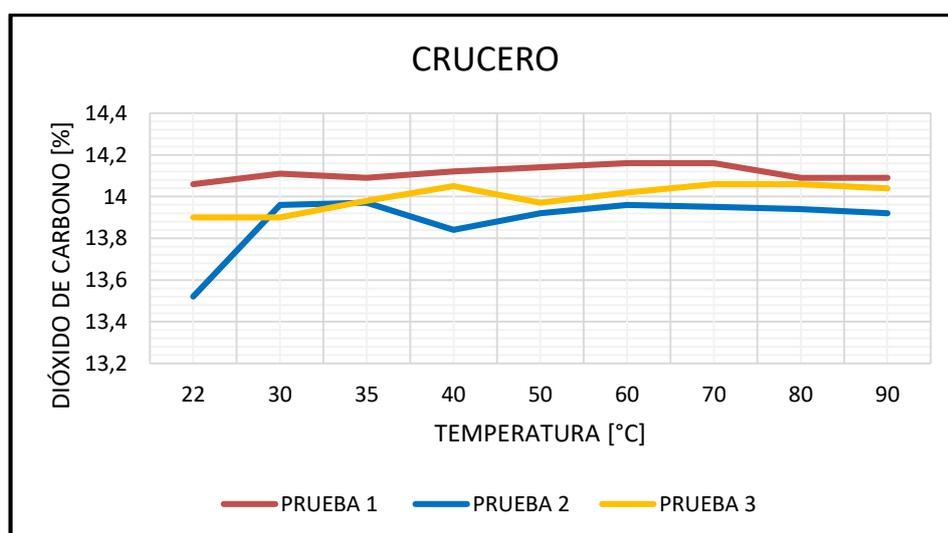
DIÓXIDO DE CARBONO [%]				
RALENTÍ				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
22,00	14,03	13,75	13,93	13,90
30,00	14,13	13,99	14,00	14,04
35,00	14,12	13,97	14,07	14,05
40,00	14,12	14,00	14,07	14,06
50,00	14,10	13,94	14,09	14,04
60,00	14,15	13,94	13,96	14,02
70,00	14,12	13,96	13,93	14,00
80,00	14,11	13,94	13,99	14,01
90,00	14,07	13,90	14,05	14,01
CRUCERO				
22,00	14,06	13,52	13,90	13,83
30,00	14,11	13,96	13,90	13,99
35,00	14,09	13,97	13,98	14,01
40,00	14,12	13,84	14,05	14,00
50,00	14,14	13,92	13,97	14,01
60,00	14,16	13,96	14,02	14,05
70,00	14,16	13,95	14,06	14,06
80,00	14,09	13,94	14,06	14,03
90,00	14,09	13,92	14,04	14,02

En la figura 121, se aprecia el mínimo valor de CO<sub>2</sub> en ralentí durante el arranque en frío del vehículo con un valor de 13,75% incrementándose progresivamente en la medida que la temperatura del motor aumenta a temperatura óptima de operación con un valor máximo de 14,15% a una temperatura de 60°C.



**Figura 121. Dióxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en ralentí**

El dióxido de carbono en velocidad crucero con el sistema de calentamiento presenta un valor mínimo de 13,52% durante el arranque en frío aumentando su valor rápidamente y alcanzando un valor máximo entre pruebas de 14,16% a 70°C determinando un trabajo adecuado del sistema de encendido y por ende una adecuada combustión de la mezcla aire-combustible, figura 122.



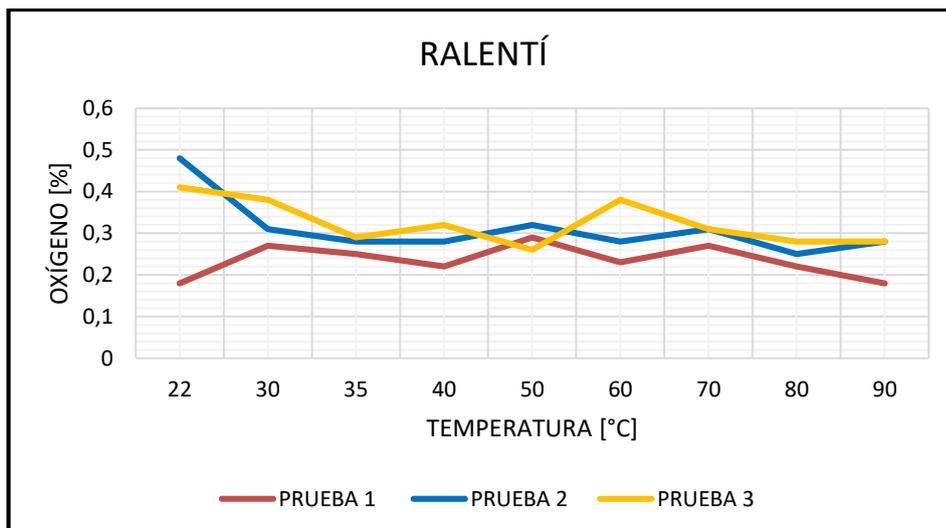
**Figura 122. Dióxido de carbono vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero**

Tabla 62

## Prueba de oxígeno con sistema de inducción

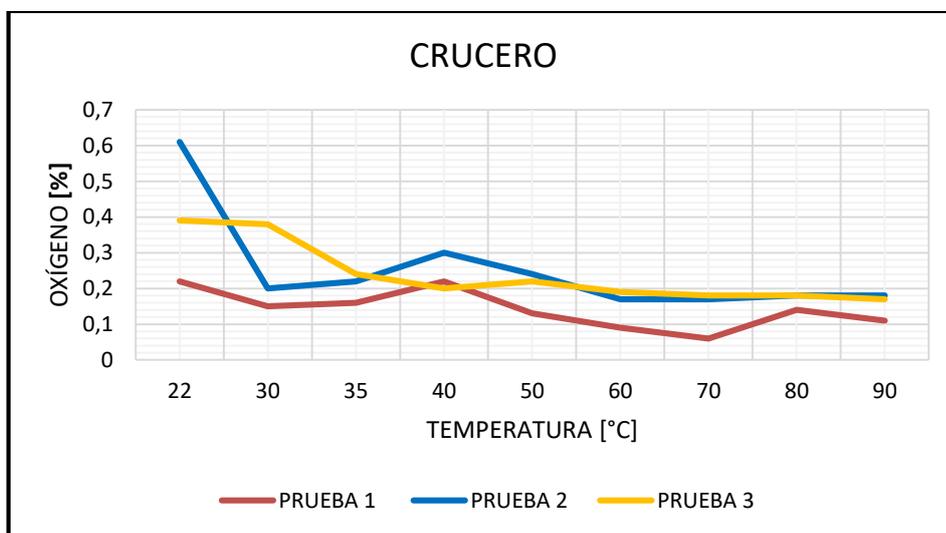
OXÍGENO [%]				
RALENTÍ				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
22,00	0,18	0,48	0,41	0,36
30,00	0,27	0,31	0,38	0,32
35,00	0,25	0,28	0,29	0,27
40,00	0,22	0,28	0,32	0,27
50,00	0,29	0,32	0,26	0,29
60,00	0,23	0,28	0,38	0,30
70,00	0,27	0,31	0,31	0,30
80,00	0,22	0,25	0,28	0,25
90,00	0,18	0,28	0,28	0,25
CRUCERO				
22,00	0,22	0,61	0,39	0,41
30,00	0,15	0,2	0,38	0,24
35,00	0,16	0,22	0,24	0,21
40,00	0,22	0,3	0,2	0,24
50,00	0,13	0,24	0,22	0,20
60,00	0,09	0,17	0,19	0,15
70,00	0,06	0,17	0,18	0,14
80,00	0,14	0,18	0,18	0,17
90,00	0,11	0,18	0,17	0,15

En la figura 123, se observan valores de 0,36% a 0,14% en temperaturas del motor de frío a caliente respectivamente donde los valores se estabilizan a medida que aumenta la temperatura del motor, evidencia de que se está ajustando la mezcla aire combustible.



**Figura 123. Oxígeno vs temperatura con sistema de inducción en ralentí**

El oxígeno en velocidad crucero evidencia un valor máximo de 0,61% a temperaturas de 22°C descendiendo rápidamente y estabilizando su valor y presentando un valor mínimo de 0,06% a una temperatura 70°C, figura 124.



**Figura 124. Oxígeno vs temperatura con sistema de inducción en velocidad crucero**

#### b. Prueba de emisiones con medición continua

La medición de las concentraciones de los gases residuales producto de la combustión aire-combustible se realizó con el analizador AGS-688 con valores de temperatura del motor incrementándose

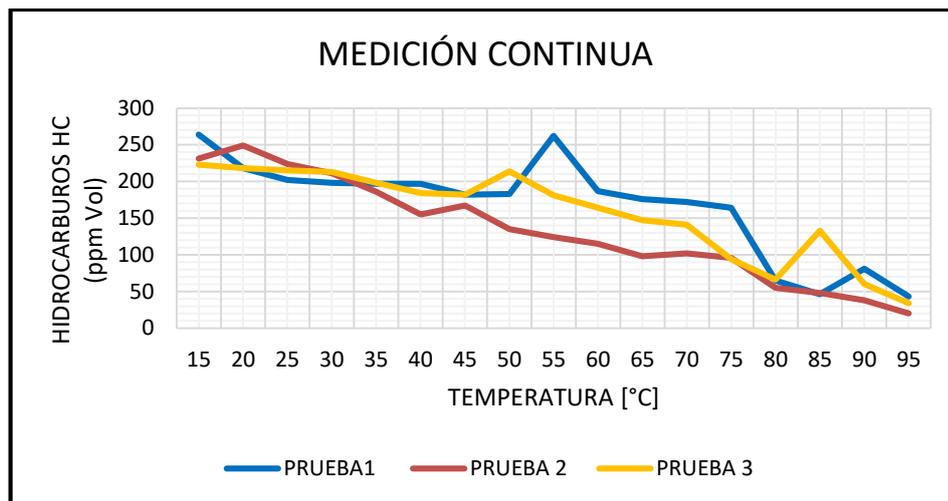
progresivamente de 5°C a 95°C, iniciando su ejecución con el arranque en frío del vehículo a temperatura ambiente.

**Tabla 63**

**Hidrocarburos con medición continua y sistema de inducción**

HIDROCARBUROS HC (ppm Vol.)				
T [°C]	PRUEBA1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	264,00	231,00	223,00	239,33
20,00	218,00	249,00	218,00	228,33
25,00	202,00	224,00	215,00	213,67
30,00	198,00	211,00	213,00	207,33
35,00	197,00	186,00	198,00	193,67
40,00	197,00	155,00	184,00	178,67
45,00	182,00	167,00	182,00	177,00
50,00	183,00	135,00	214,00	177,33
55,00	262,00	124,00	181,00	189,00
60,00	187,00	115,00	164,00	155,33
65,00	176,00	98,00	147,00	140,33
70,00	172,00	102,00	141,00	138,33
75,00	164,00	96,00	94,00	118,00
80,00	65,00	55,00	66,00	62,00
85,00	46,00	48,00	133,00	75,67
90,00	81,00	38,00	60,00	59,67
95,00	43,00	20,00	34,00	32,33

En la figura 125, se observa la máxima cantidad de hidrocarburos durante temperaturas bajas de funcionamiento del motor con un valor de 264 ppm bajando su valor progresivamente con una estabilidad de 32,33 ppm mientras aumenta la temperatura de operación del motor



**Figura 125. Hidrocarburos vs temperatura con medición continua y sistema de inducción**

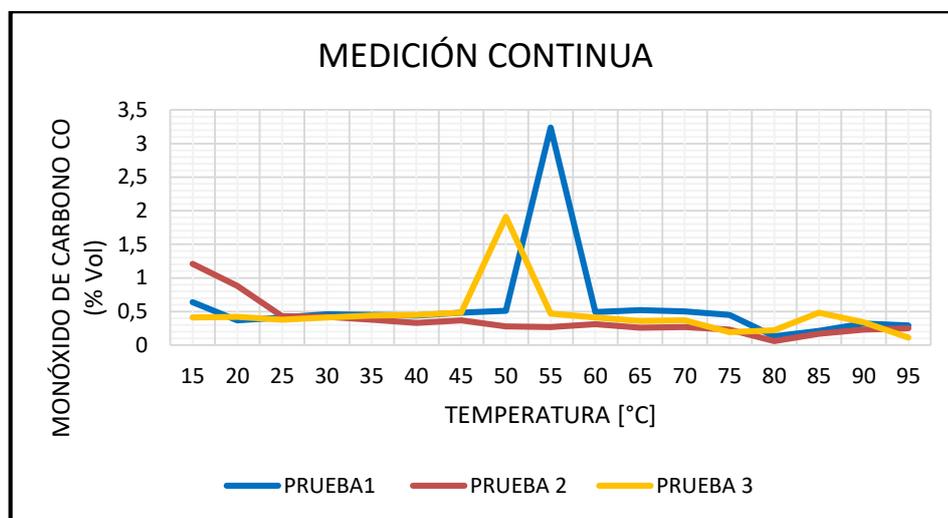
**Tabla 64**

**Monóxido de carbono con medición continua y sistema de inducción**

MONÓXIDO DE CARBONO CO (% Vol.)				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	0,64	1,21	0,41	0,753
20,00	0,37	0,88	0,42	0,557
25,00	0,41	0,43	0,38	0,407
30,00	0,46	0,42	0,41	0,430
35,00	0,45	0,38	0,44	0,423
40,00	0,44	0,33	0,45	0,407
45,00	0,48	0,37	0,48	0,443
50,00	0,51	0,28	1,91	0,900
55,00	3,24	0,27	0,47	1,327
60,00	0,49	0,31	0,41	0,403
65,00	0,52	0,26	0,36	0,380
70,00	0,5	0,27	0,37	0,380
75,00	0,45	0,23	0,19	0,290
80,00	0,13	0,06	0,22	0,137
85,00	0,21	0,17	0,48	0,287
90,00	0,32	0,23	0,34	0,297
95,00	0,29	0,25	0,11	0,217

Los valores de CO tienden a cero durante la operación desde el arranque en frío hasta la temperatura normal de operación del motor, su máximo valor se presenta en una de las pruebas a temperatura de 55°C con un valor de 3,24% debido al consumo de corriente del sistema de inducción

para el calentamiento del catalizador como factor de corrección de la gestión eléctrica y electrónica del motor de combustión interna, figura 126.



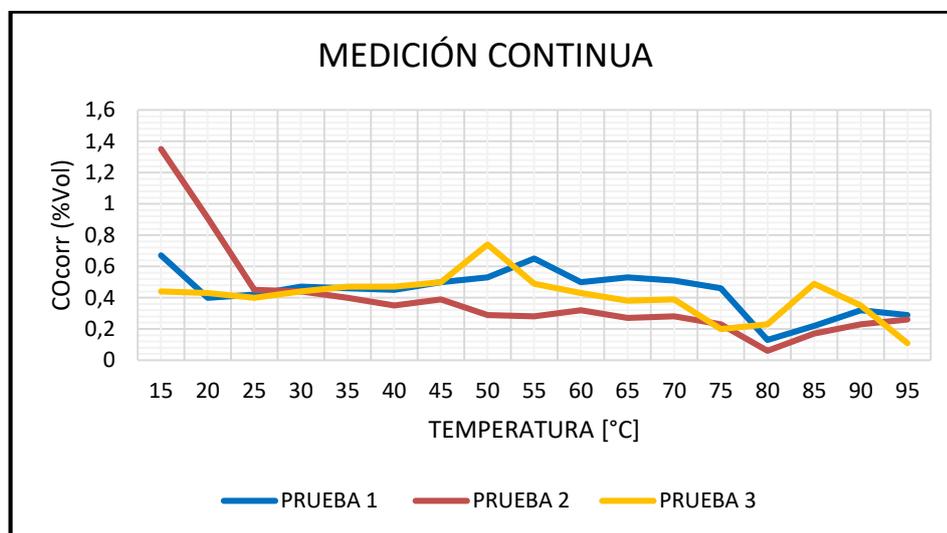
**Figura 126. Monóxido de carbono con medición continua y sistema de inducción**

**Tabla 65**

**Monóxido de carbono corregido con medición continua y sistema de inducción**

T [°C]	COcorr (%Vol.)			PROMEDIO
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	
15,00	0,67	1,35	0,44	0,90
20,00	0,4	0,91	0,43	0,57
25,00	0,42	0,45	0,4	0,43
30,00	0,47	0,44	0,44	0,46
35,00	0,46	0,4	0,47	0,44
40,00	0,45	0,35	0,47	0,42
45,00	0,5	0,39	0,5	0,46
50,00	0,53	0,29	0,74	0,45
55,00	0,65	0,28	0,49	0,53
60,00	0,5	0,32	0,43	0,44
65,00	0,53	0,27	0,38	0,44
70,00	0,51	0,28	0,39	0,43
75,00	0,46	0,23	0,2	0,38
80,00	0,13	0,06	0,23	0,11
85,00	0,22	0,17	0,49	0,20
90,00	0,32	0,23	0,35	0,29
95,00	0,29	0,26	0,11	0,28

En la figura 127, se aprecia el valor máximo de monóxido de carbono corregido durante el arranque en frío con un valor de 1,35% bajando progresivamente su valor mientras se eleva la temperatura del motor, el valor mínimo se da a una temperatura de 80°C con 0,06%.



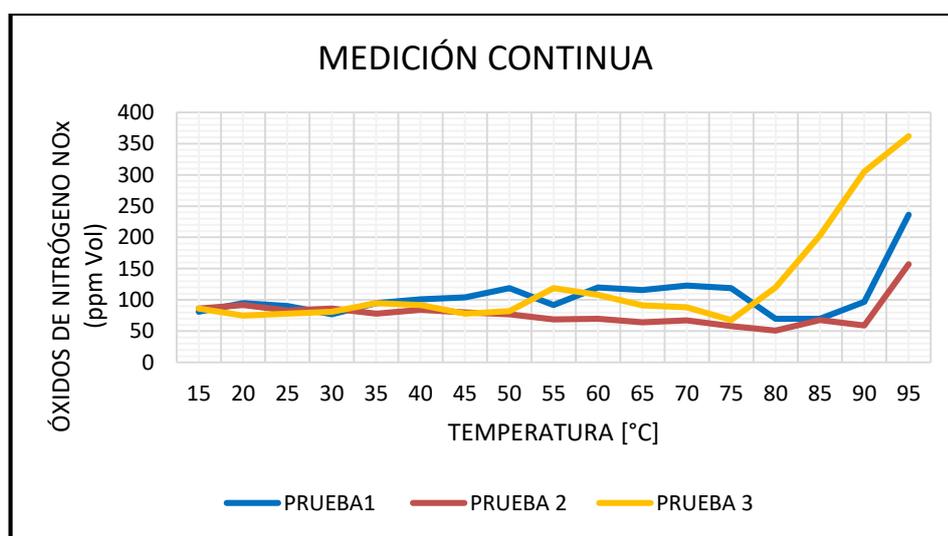
**Figura 127. Monóxido de carbono corregido vs temperatura con medición continua y sistema de inducción**

**Tabla 66**

**Óxidos de nitrógeno con medición continua y sistema de inducción**

ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx (ppm Vol.)				
T [°C]	PRUEBA1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	81,00	86,00	86,00	84,33
20,00	95,00	92,00	75,00	87,33
25,00	90,00	83,00	78,00	83,67
30,00	77,00	86,00	81,00	81,33
35,00	95,00	78,00	95,00	89,33
40,00	101,00	84,00	92,00	92,33
45,00	104,00	80,00	78,00	87,33
50,00	119,00	75,00	82,00	92,67
55,00	92,00	69,00	119,00	93,33
60,00	120,00	70,00	108,00	99,33
65,00	116,00	64,00	91,00	90,33
70,00	123,00	67,00	88,00	92,67
75,00	119,00	58,00	68,00	81,67
80,00	70,00	51,00	120,00	80,33
85,00	70,00	68,00	203,00	113,67
90,00	97,00	59,00	305,00	153,67
95,00	236,00	157,00	362,00	251,67

La medición continua de NOx con sistema de calentamiento presenta un valor promedio de 165 ppm a una temperatura de 15°C, su valor baja progresivamente mientras aumenta la temperatura, cuando el motor alcanza su temperatura óptima de operación la medida de NOx aumenta considerablemente con un valor pico de 362%, figura 128.



**Figura 128. Óxidos de nitrógeno vs temperatura con medición continua y sistema de inducción**

**Tabla 67**

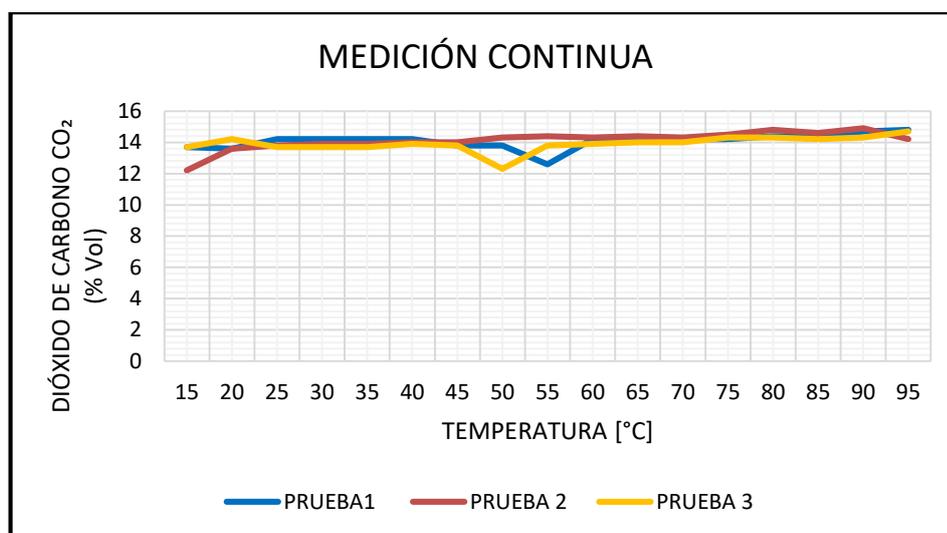
**Dióxido de carbono con medición continua y sistema de inducción**

DÍOXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> (% Vol.)				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	13,70	12,20	13,70	13,20
20,00	13,60	13,60	14,20	13,80
25,00	14,20	13,80	13,70	13,90
30,00	14,20	13,90	13,70	13,93
35,00	14,20	13,90	13,70	13,93
40,00	14,20	14,00	13,90	14,03
45,00	13,80	14,00	13,80	13,87
50,00	13,80	14,30	12,30	13,47
55,00	12,60	14,40	13,80	13,60
60,00	14,20	14,30	13,90	14,13
65,00	14,20	14,40	14,00	14,20
70,00	14,20	14,30	14,00	14,17
75,00	14,20	14,50	14,30	14,33
80,00	14,40	14,80	14,30	14,50
85,00	14,40	14,60	14,20	14,40

CONTINÚA 

90,00	14,70	14,90	14,30	14,63
95,00	14,80	14,20	14,70	14,57

La medición continua con sistema de inducción para el CO<sub>2</sub> muestra su valor mínimo en condiciones de arranque en frío de 12,2%, la medición se estabiliza en todas las pruebas por encima del 14% reflejando un proceso óptimo de combustión de la mezcla aire-combustible y un óptimo trabajo del sistema de encendido, figura 129.



**Figura 129. Dióxido de carbono vs temperatura con medición continua y sistema de inducción**

**Tabla 68**

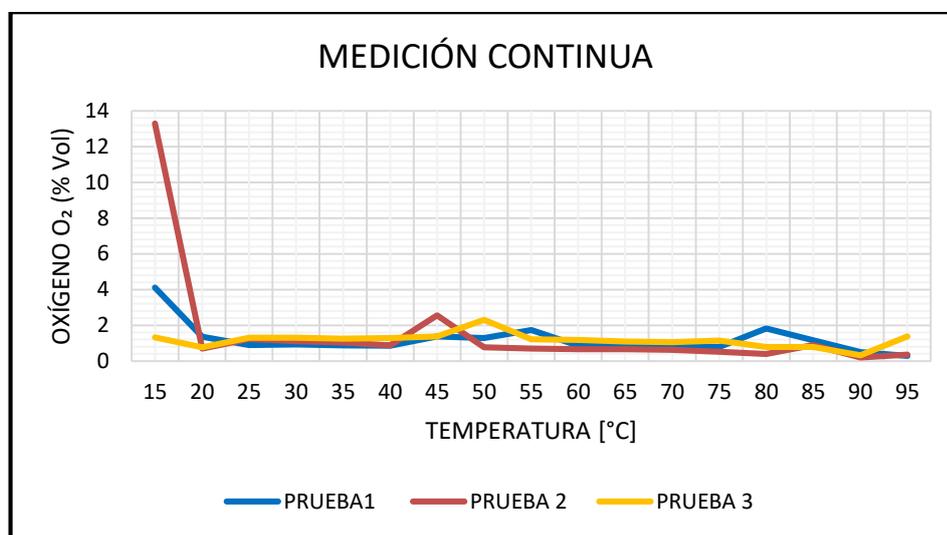
**Oxígeno con medición continua y sistema de inducción**

OXÍGENO O <sub>2</sub> (% Vol.)				
T [°C]	PRUEBA1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	4,11	13,30	1,33	6,25
20,00	1,35	0,69	0,77	0,94
25,00	0,89	1,23	1,31	1,14
30,00	0,93	1,10	1,31	1,11
35,00	0,88	1,03	1,25	1,05
40,00	0,86	0,88	1,29	1,01
45,00	1,38	2,56	1,38	1,77
50,00	1,29	0,76	2,30	1,45
55,00	1,73	0,70	1,21	1,21
60,00	0,86	0,67	1,18	0,90
65,00	0,82	0,66	1,09	0,86

CONTINÚA 

70,00	0,82	0,63	1,06	0,84
75,00	0,78	0,51	1,14	0,81
80,00	1,83	0,40	0,79	1,01
85,00	1,16	0,89	0,79	0,95
90,00	0,50	0,20	0,33	0,34
95,00	0,29	0,35	1,37	0,67

En la figura 130, se observa el porcentaje de oxígeno presente en los gases de combustión con el sistema de inducción, su máximo valor se da durante el arranque en frío con 13,3%, estabilizándose con un valor cercano a cero desde una temperatura de 20°C y durante la prueba.



**Figura 130. Oxígeno vs temperatura con medición continua y sistema de inducción**

**Tabla 69**

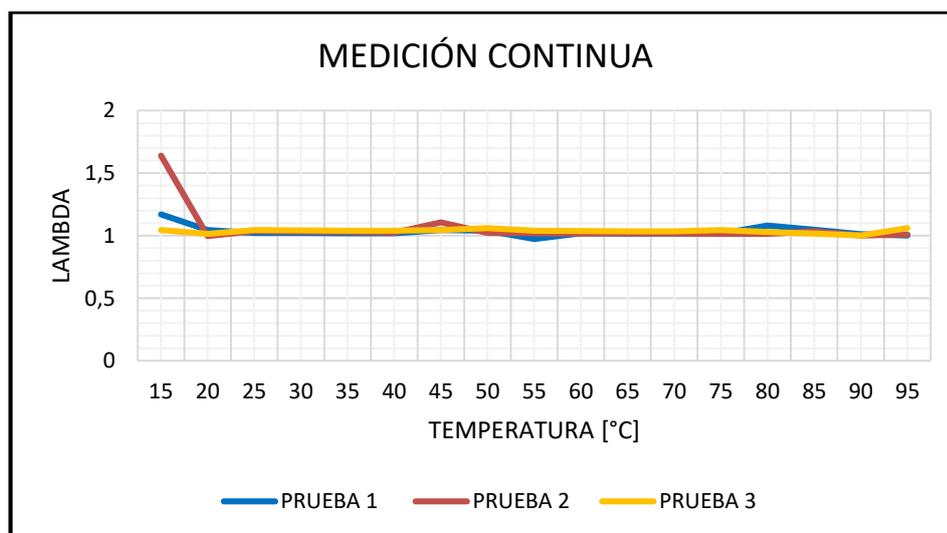
**Lambda con medición continua y sistema de inducción**

LAMBDA				
T [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15,00	1,169	1,641	1,044	1,285
20,00	1,046	0,996	1,015	1,019
25,00	1,022	1,038	1,044	1,035
30,00	1,022	1,032	1,043	1,032
35,00	1,020	1,031	1,040	1,030
40,00	1,020	1,026	1,041	1,029
45,00	1,045	1,106	1,045	1,065
50,00	1,040	1,023	1,060	1,041

CONTINÚA

55,00	0,974	1,020	1,041	1,012
60,00	1,019	1,018	1,038	1,025
65,00	1,016	1,020	1,036	1,024
70,00	1,017	1,018	1,034	1,023
75,00	1,017	1,014	1,045	1,025
80,00	1,082	1,015	1,029	1,042
85,00	1,048	1,035	1,018	1,034
90,00	1,011	1,001	1,003	1,005
95,00	1,003	1,009	1,060	1,024

Los valores que se presentan en la figura 131 corresponden a la medición continua de lambda con sistema de inducción, el máximo valor es de 1,64 reflejando mezcla pobre a una temperatura de 15°C, estabilizando a un valor cercano a uno con mezcla estequiometrica desde los 20°C y durante toda la prueba, figura 150.



**Figura 131. Lambda vs temperatura con medición continua y sistema de inducción**

#### 4.5.4. Consumo de combustible

Los resultados de las pruebas de consumo de combustible con el sistema de inducción instalado en el vehículo siguiendo la prueba de ruta establecida dentro del perímetro urbano de la ciudad de Latacunga, tomando en cuenta tres tipos de tráfico a diferente hora del día.

### a. Tráfico ligero

Tabla 70

#### Consumo de combustible en tráfico ligero

TRÁFICO LIGERO					
CONDICIÓN	DISTANCIA [Km]	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
PRUEBA 1	3,57	0,34	9,41	12,62	0,80
PRUEBA 2	3,57	0,37	10,32	12,63	0,80
PRUEBA 3	3,57	0,36	9,92	12,65	0,72
PROMEDIO	3,57	0,36	9,88	12,63	0,77

### b. Tráfico moderado

Tabla 71

#### Consumo de combustible en tráfico moderado

TRÁFICO MODERADO					
CONDICIÓN	DISTANCIA [Km]	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
PRUEBA 1	3,57	0,47	13,14	12,71	0,96
PRUEBA 2	3,57	0,46	12,70	12,74	0,72
PRUEBA 3	3,57	0,45	12,65	12,72	0,76
PROMEDIO	3,57	0,46	12,83	12,72	0,81

### c. Alto tráfico

Tabla 72

#### Consumo de combustible en alto tráfico

ALTO TRÁFICO					
CONDICIÓN	DISTANCIA [Km]	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
PRUEBA 1	3,57	0,54	13,85	13,69	1,24
PRUEBA 2	3,57	0,64	13,87	13,66	0,72
PRUEBA 3	3,57	0,58	13,89	13,71	0,73
PROMEDIO	3,57	0,59	13,87	13,69	0,90

El consumo de combustible es proporcional al tráfico presente durante la prueba, es así que con alto tráfico se generó un consumo de 0,59 litros de combustible respecto del menor consumo en tráfico ligero que fue de 0,36 litros lo que representa un incremento de 63,88%.

#### 4.5.5. Gestión electrónica

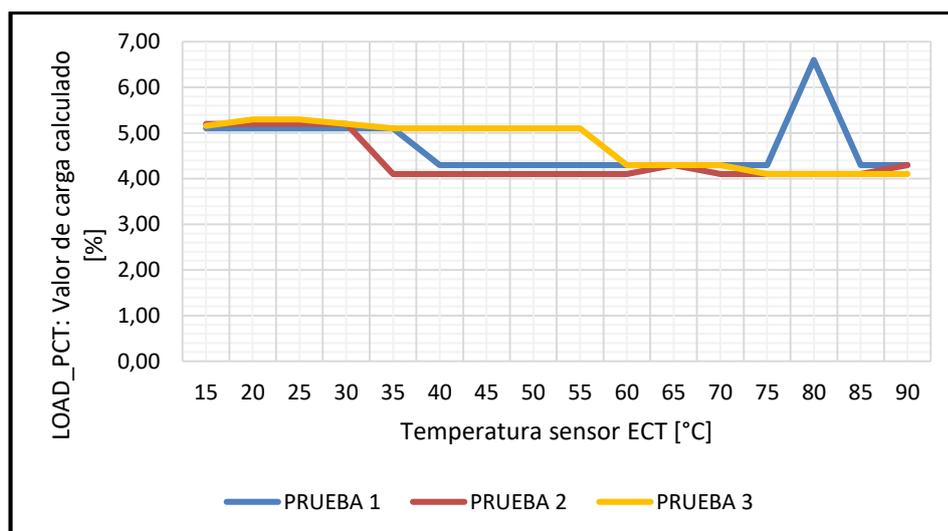
La prueba de gestión electrónica del vehículo se realizó con el scanner AUTOBOSS V30 los resultados utilizando el sistema de inducción se presenta a continuación:

**Tabla 73**

#### Valor de carga calculado con sistema de inducción

LOAD_PCT: Valor de carga calculado [%]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	5,10	5,20	5,16	5,15
20	5,10	5,20	5,30	5,20
25	5,10	5,20	5,30	5,20
30	5,10	5,20	5,20	5,17
35	5,10	4,10	5,10	4,77
40	4,30	4,10	5,10	4,50
45	4,30	4,10	5,10	4,50
50	4,30	4,10	5,10	4,50
55	4,30	4,10	5,10	4,50
60	4,30	4,10	4,30	4,23
65	4,30	4,30	4,30	4,30
70	4,30	4,10	4,30	4,23
75	4,30	4,10	4,10	4,17
80	6,60	4,10	4,10	4,93
85	4,30	4,10	4,10	4,17
90	4,30	4,30	4,10	4,23

La figura 132, muestra la prueba de valor de carga calculado en la gestión electrónica del vehículo mostrando valores similares en las pruebas con un valor de 5% durante el funcionamiento del motor en frío reduciendo su valor de manera progresiva y estabilizando a una temperatura de 60°C.



**Figura 132. Valor de carga calculado vs temperatura del sensor ECT con sistema de inducción**

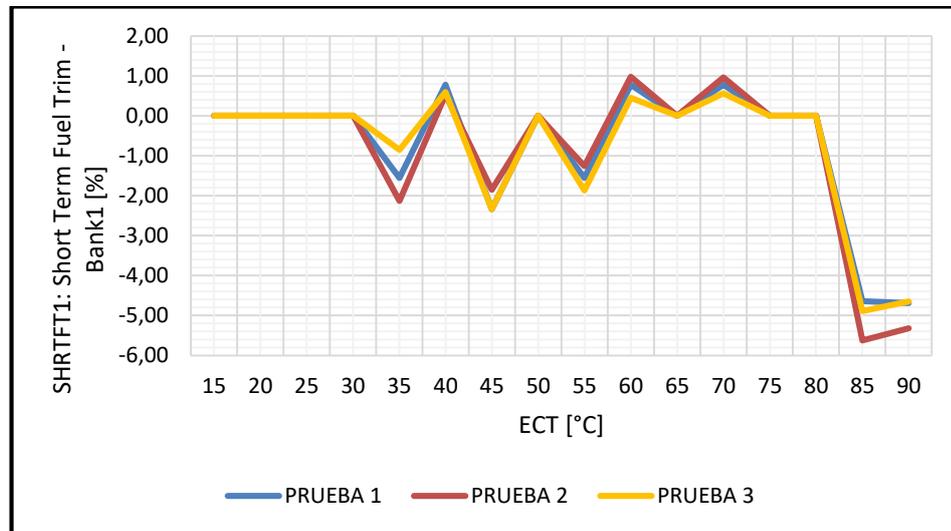
**Tabla 74**

**Recorte de combustible a corto plazo con sistema de inducción**

SHRTFT1: Short Term Fuel Trim - Bank1 [%]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
35	-1,56	-2,13	-0,85	-1,51
40	0,78	0,53	0,59	0,63
45	-2,34	-1,85	-2,34	-2,18
50	0,00	0,00	0,00	0,00
55	-1,56	-1,26	-1,87	-1,56
60	0,78	0,98	0,45	0,74
65	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,78	0,96	0,56	0,77
75	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00
85	-4,64	-5,62	-4,89	-5,05
90	-4,69	-5,32	-4,65	-4,89

En el recorte de combustible a corto plazo se aprecian tres etapas, la primera mantiene un valor de cero durante el arranque en frío, la segunda a medida que el sensor de oxígeno trabaja normalmente se realiza el ajuste de combustible y la tercera etapa a una temperatura normal de operación

del motor únicamente se realiza la descompensación de combustible medido en porcentaje, figura 133.



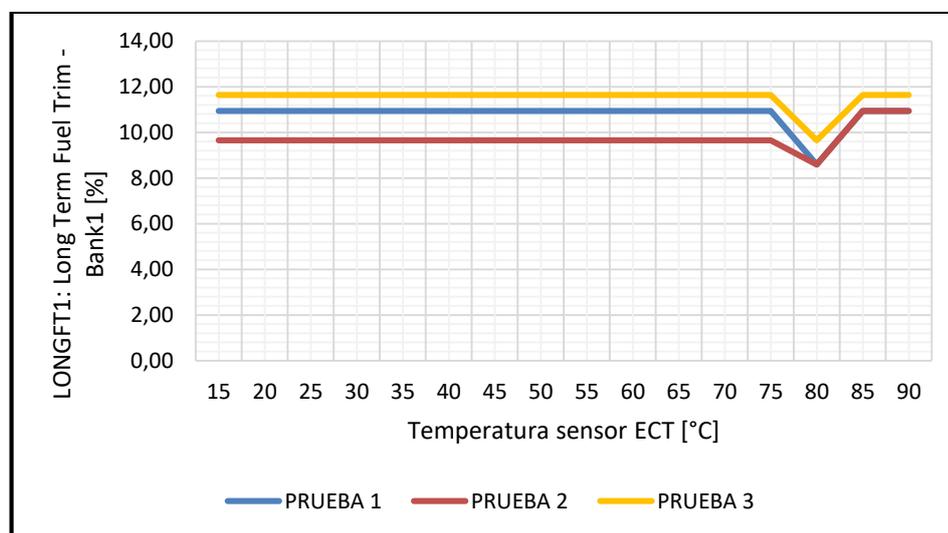
**Figura 133. Recorte de combustible a corto plazo vs temperatura del sensor ECT con sistema de inducción**

**Tabla 75**

**Recorte de combustible a largo plazo con sistema de inducción**

LONGFT1: Long Term Fuel Trim - Bank1 [%]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	10,94	9,65	11,63	10,74
20	10,94	9,65	11,63	10,74
25	10,94	9,65	11,63	10,74
30	10,94	9,65	11,63	10,74
35	10,94	9,65	11,63	10,74
40	10,94	9,65	11,63	10,74
45	10,94	9,65	11,63	10,74
50	10,94	9,65	11,63	10,74
55	10,94	9,65	11,63	10,74
60	10,94	9,65	11,63	10,74
65	10,94	9,65	11,63	10,74
70	10,94	9,65	11,63	10,74
75	10,94	9,65	11,63	10,74
80	8,59	8,59	9,65	8,94
85	10,94	10,94	11,63	11,17
90	10,94	10,94	11,63	11,17

En la figura 153, se aprecia el recorte de combustible a largo plazo la gestión electrónica presenta un ajuste de combustible positivo durante toda la etapa de funcionamiento del motor con variaciones mínimas entre pruebas de 9 a 11% según la gestión electrónica, figura 134.



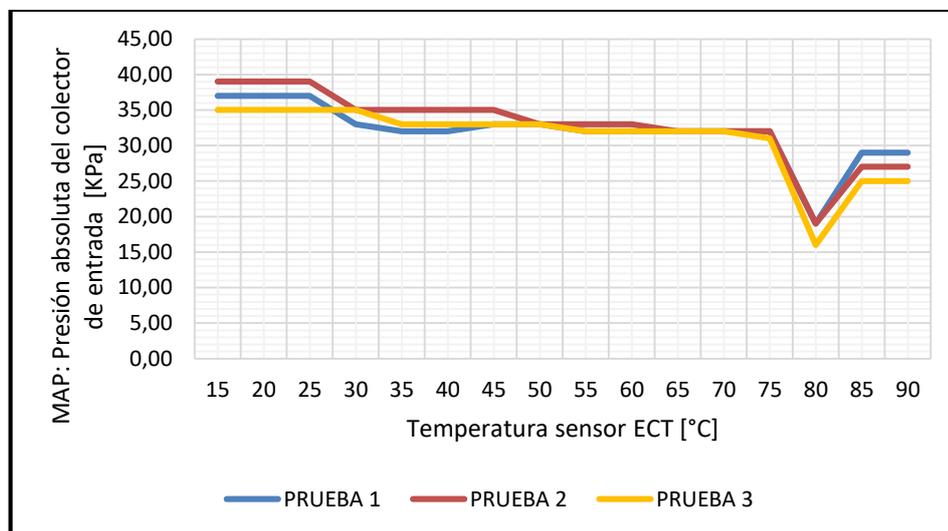
**Figura 134. Recorte de combustible a largo plazo vs temperatura del sensor ECT con sistema de inducción**

**Tabla 76**

**Presión absoluta del colector de entrada con sistema de inducción**

MAP: Presión absoluta del colector de entrada [KPa]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	37,00	39,00	35,00	37,00
20	37,00	39,00	35,00	37,00
25	37,00	39,00	35,00	37,00
30	33,00	35,00	35,00	34,33
35	32,00	35,00	33,00	33,33
40	32,00	35,00	33,00	33,33
45	33,00	35,00	33,00	33,67
50	33,00	33,00	33,00	33,00
55	32,00	33,00	32,00	32,33
60	32,00	33,00	32,00	32,33
65	32,00	32,00	32,00	32,00
70	32,00	32,00	32,00	32,00
75	32,00	32,00	31,00	31,67
80	19,00	19,00	16,00	18,00
85	29,00	27,00	25,00	27,00
90	29,00	27,00	25,00	27,00

La presión absoluta del colector de entrada en la gestión electrónica del vehículo muestra su máximo valor entre pruebas de 39KPa a una temperatura de 15°C, mientras aumenta la temperatura del motor baja su valor hasta un valor mínimo de 16KPa a 80°C de temperatura, figura 135.



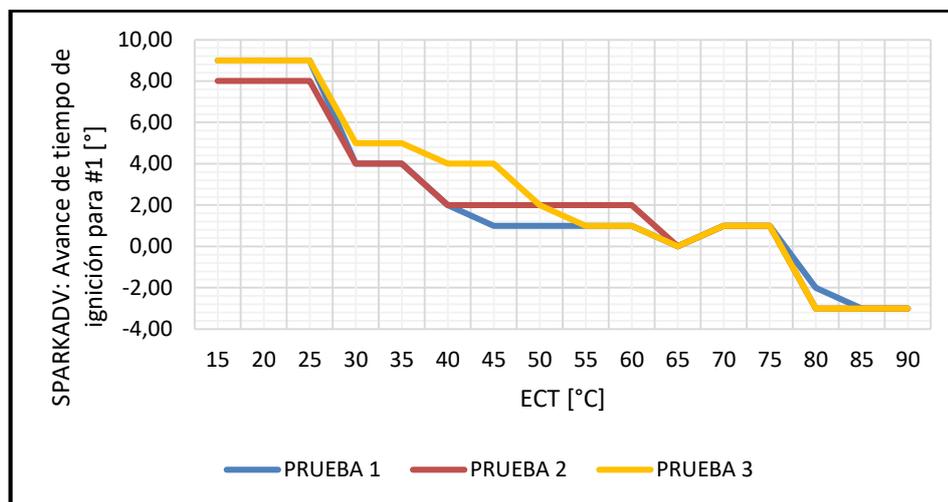
**Figura 135. Presión absoluta del colector de entrada vs temperatura del sensor ECT con sistema de inducción**

**Tabla 77**

**Avance del tiempo de ignición con sistema de inducción**

SPARKADV: Avance de tiempo de ignición para #1 [°]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	9,00	8,00	9,00	8,67
20	9,00	8,00	9,00	8,67
25	9,00	8,00	9,00	8,67
30	4,00	4,00	5,00	4,33
35	4,00	4,00	5,00	4,33
40	2,00	2,00	4,00	2,67
45	1,00	2,00	4,00	2,33
50	1,00	2,00	2,00	1,67
55	1,00	2,00	1,00	1,33
60	1,00	2,00	1,00	1,33
65	0,00	0,00	0,00	0,00
70	1,00	1,00	1,00	1,00
75	1,00	1,00	1,00	1,00
80	-2,00	-3,00	-3,00	-2,67
85	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
90	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00

En el avance del tiempo de inyección se observan curvas similares que presenta su valor máximo de 9 grados durante el arranque en frío bajando su valor progresivamente mientras la temperatura del motor aumenta hasta adquirir un valor mínimo de -3 grados a temperatura normal de operación del motor, figura 136.



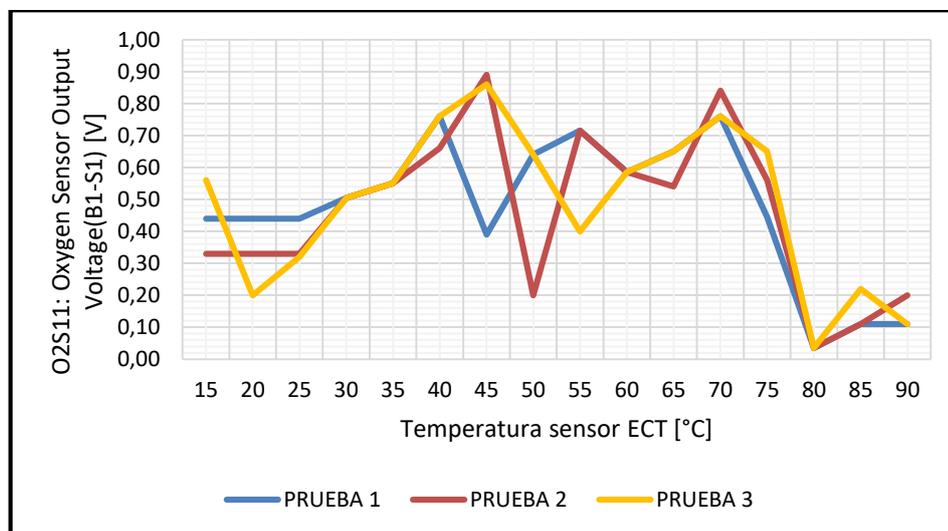
**Figura 136. Avance del tiempo de ignición vs temperatura del sensor ECT con sistema de inducción**

**Tabla 78**

**Voltaje del sensor de oxígeno (B1-S1) con sistema de inducción**

O2S11: Oxygen Sensor Output Voltage(B1-S1) [V]				
ECT [°C]	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
15	0,44	0,33	0,56	0,44
20	0,44	0,33	0,20	0,32
25	0,44	0,33	0,32	0,36
30	0,51	0,51	0,51	0,51
35	0,55	0,55	0,55	0,55
40	0,76	0,66	0,76	0,73
45	0,39	0,89	0,86	0,71
50	0,64	0,20	0,64	0,49
55	0,72	0,72	0,40	0,61
60	0,59	0,59	0,59	0,59
65	0,65	0,54	0,65	0,61
70	0,76	0,84	0,76	0,79
75	0,45	0,56	0,65	0,55
80	0,04	0,04	0,04	0,04
85	0,11	0,11	0,22	0,15
90	0,11	0,20	0,11	0,14

En la figura 137, se observa las variaciones de voltaje manteniendo un promedio de 0,45 voltios durante en arranque en frío y trabajando normalmente desde una temperatura de 25°C.



**Figura 137. Voltaje del sensor de oxígeno vs temperatura del sensor ECT con sistema de inducción**

#### 4.6. Análisis, interpretación y comparación de resultados

Para el análisis, interpretación y comparación de resultados se utilizaron los valores promedios de cada tipo de prueba de las variables de investigación, la comparación se realizó con datos obtenidos de la medición con el funcionamiento del catalizador integrado el sistema de inducción en relación al funcionamiento con catalizador normal.

##### 4.6.1. Torque

**Tabla 79**

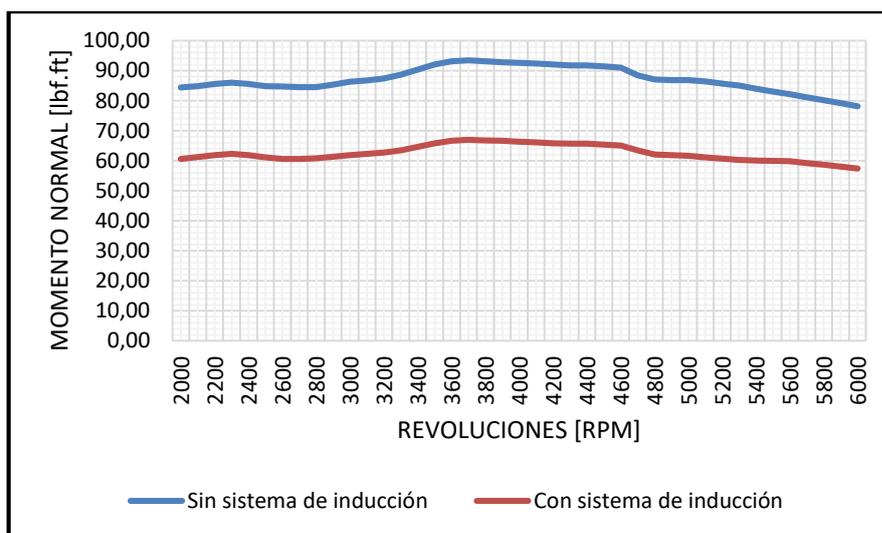
#### Momento normal con y sin sistema de inducción

MOMENTO NORMAL [lbf.ft]		
Revoluciones (RPM)	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	84,40	60,63
2500	84,87	61,17
3000	86,27	61,87
3500	92,07	65,83
4000	92,57	66,33

CONTINÚA 

4500	91,40	65,33
5000	86,90	61,63
5500	83,03	59,97
6000	78,10	57,37

En la figura 138, se aprecia el valor del torque de 92,57 HP y 66,33 HP sin el sistema y con el sistema respectivamente a 4000 rpm lo que representa una disminución de 28,34% debido a la carga eléctrica adicional para el funcionamiento del sistema de inducción.



**Figura 138. Comparación de momento normal vs revoluciones con y sin sistema de inducción**

#### 4.6.2. Potencia

##### a. Potencia normal

**Tabla 80**

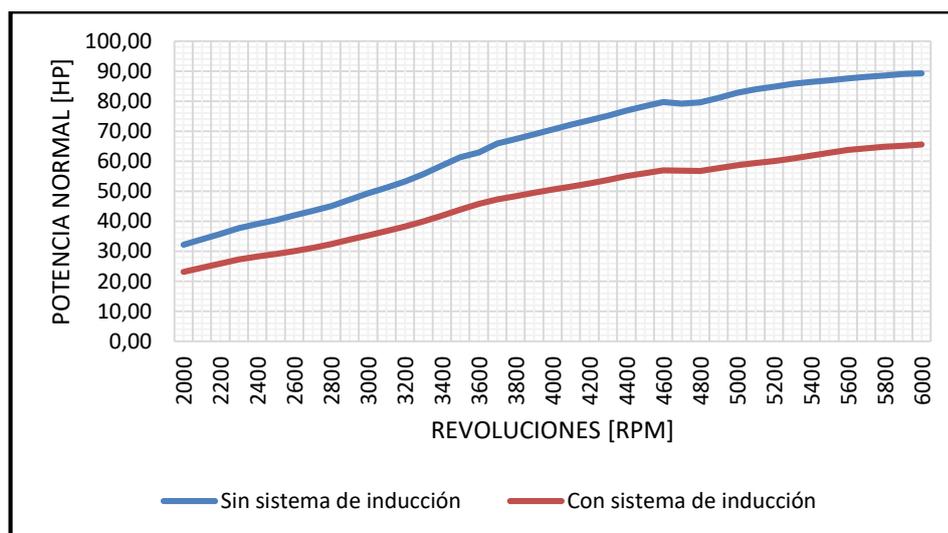
#### Potencia normal con y sin sistema de inducción

POTENCIA NORMAL [HP]		
Revoluciones (RPM)	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	32,17	23,10
2500	40,40	29,13
3000	49,27	35,30
3500	61,33	43,90
4000	70,50	50,53
4500	78,33	56,00

CONTINÚA

5000	82,73	58,67
5500	86,97	62,80
6000	89,27	65,53

La potencia normal disminuye con el funcionamiento del sistema de inducción de 89,27 HP a 65,53 HP a 6000 rpm con una disminución del 26,59%. El sistema de calentamiento influye directamente en el descenso de la potencia normal, figura 139.



**Figura 139. Comparación de potencia normal vs revoluciones con y sin sistema de inducción**

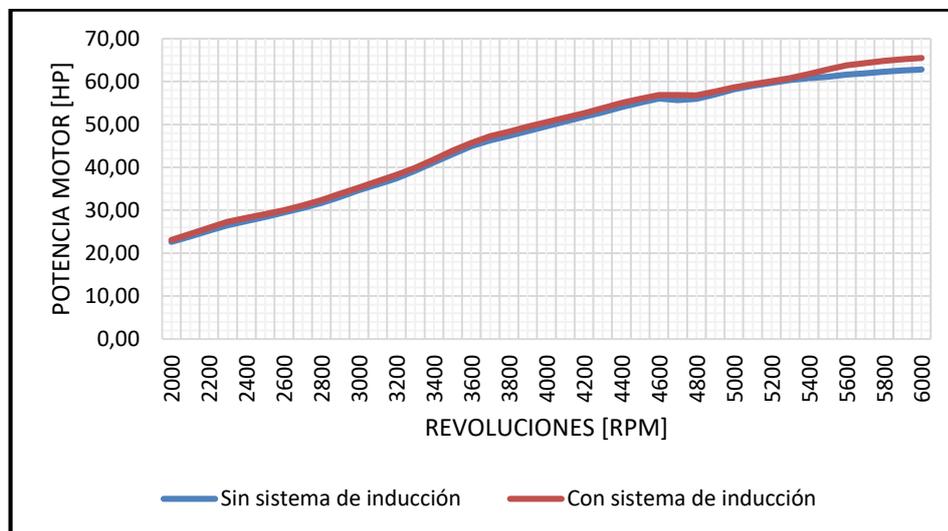
## b. Potencia motor

**Tabla 81**

### Potencia motor con y sin sistema de inducción

Revoluciones (RPM)	POTENCIA MOTOR [HP]	
	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	22,60	23,10
2500	28,43	29,13
3000	34,70	35,30
3500	43,13	43,90
4000	49,60	50,53
4500	55,10	56,00
5000	58,20	58,67
5500	61,13	62,80
6000	62,80	65,53

En la figura 140, se aprecia los valores similares de potencia motor, presentando un valor de 65,53 HP con sistema de inducción y de 62,80 HP sin sistema a 6000 rpm, muestra un claro incremento de 4,34% en relación al funcionamiento sin sistema.



**Figura 140. Comparación de potencia motor vs revoluciones con y sin sistema de inducción**

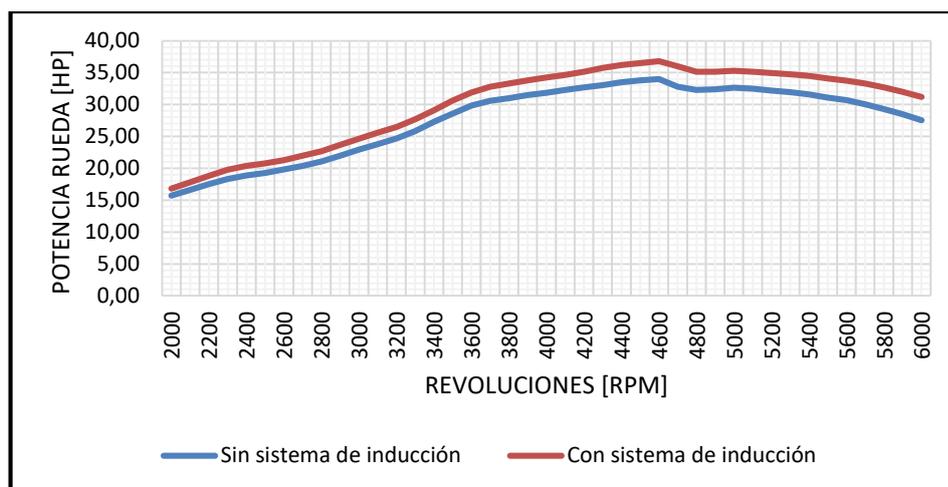
### c. Potencia rueda

**Tabla 82**

#### **Potencia rueda con catalizador con y sin sistema de inducción**

Revoluciones (RPM)	POTENCIA RUEDA [HP]	
	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	15,70	16,80
2500	19,27	20,80
3000	22,93	24,63
3500	28,60	30,63
4000	31,83	34,23
4500	33,80	36,50
5000	32,63	35,30
5500	31,10	34,10
6000	27,53	31,17

La potencia rueda muestra un incremento de su valor de 33,80 HP a 36,50 HP con el uso del sistema de inducción a 4500 rpm, representando un incremento de 7,99% en relación al funcionamiento con el catalizador estándar, figura 141.



**Figura 141. Comparación de potencia rueda vs revoluciones con y sin sistema de inducción**

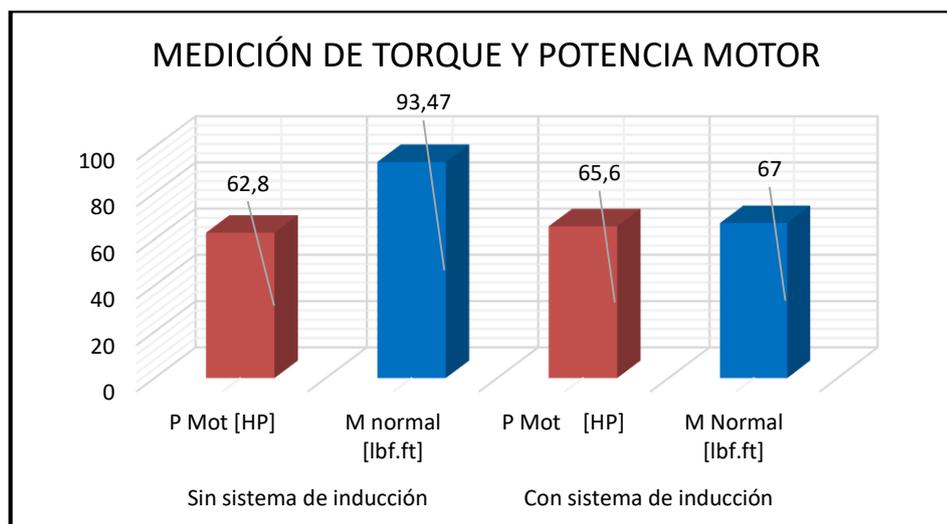
La tabla 82 y 83, muestra un resumen estadístico de los valores máximos que se presentaron en las pruebas de torque y potencia, así como un análisis estadístico, a partir de los valores promedios se obtuvo su variación cuantitativa y porcentual al utilizar el sistema de inducción en relación al funcionamiento sin el sistema en condiciones estándar del vehículo de prueba.

**Tabla 83**

**Tabla estadística de valoración de torque y potencia motor**

Valores	Sin sistema de inducción		Con sistema de inducción	
	$P_{Motor}$ [HP]	$M_{Normal}$ [lbf.ft]	$P_{Motor}$ [HP]	$M_{Normal}$ [lbf.ft]
Valor máximo de Prueba 1	62,6	92,6	62,8	66,2
Valor máximo de Prueba 2	63,4	94,0	66,9	67,1
Valor máximo de Prueba 3	62,4	93,8	67,1	67,7
Valor mínimo total	62,4	92,6	62,8	66,2
<b>Valor máximo total</b>	<b>63,4</b>	<b>94,0</b>	<b>67,1</b>	<b>67,7</b>
Mediana	62,6	93,8	66,9	67,1
Moda	63,4	94,0	67,1	67,7
Rango	1,0	1,4	4,3	1,5
Promedio	62,80	93,47	65,60	67,00
Variación	--	--	2,80	-26,47
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	--	--	4,46	-28,3

La figura 142, muestra el valor de la potencia motor y el torque, sin el sistema la potencia es de 62,8 HP, con el sistema de inducción aumenta su valor a 65,6 HP, lo que representa un incremento de 4,46%, mientras que el torque disminuye de 93,47 HP sin sistema a 67 HP con sistema reflejando una disminución de su valor en 28,25%.



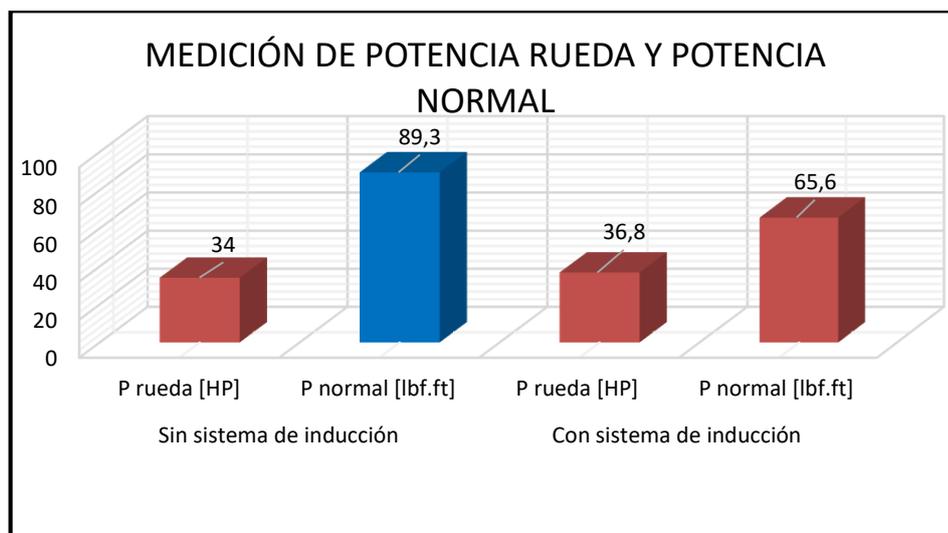
**Figura 142. Resumen estadístico de torque y potencia motor con y sin sistema de inducción**

**Tabla 84**

**Tabla estadística de potencia rueda y potencia normal**

Valores	Sin sistema de calentamiento		Con sistema de calentamiento	
	$P_{Rueda}$ [HP]	$P_{Normal}$ [lbf.ft]	$P_{Rueda}$ [HP]	$P_{Normal}$ [lbf.ft]
Valor máximo 1	32,3	88,9	36,3	62,8
Valor máximo 2	34,9	90,2	36,8	66,9
Valor máximo 3	34,8	88,8	37,3	67,1
Valor mínimo total	32,3	88,8	36,3	62,8
<b>Valor máximo total</b>	<b>34,9</b>	<b>90,2</b>	<b>37,3</b>	<b>67,1</b>
Mediana	34,8	88,9	36,8	66,9
Moda	34,9	90,2	37,3	67,1
Rango	2,6	1,4	1	4,3
Promedio	34	89,3	36,8	65,6
Variación	--	--	2,80	-23,7
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	--	--	8,24	-26,54

En la gráfica de la figura 143, se aprecia que el valor de la potencia rueda aumenta de 34 a 36,8 HP con el uso del sistema de calentamiento, lo que representa un incremento de 8,24% en relación al funcionamiento sin el sistema, mientras que la potencia normal baja su valor de 89,3 a 65,6 HP con el uso del sistema de calentamiento, disminuyendo su valor en 29,23%.



**Figura 143. Resumen estadístico de potencia rueda y potencia normal con y sin sistema de inducción**

#### 4.6.3. Gases de combustión

##### a. Análisis y comparación de emisiones de combustión en ralentí y velocidad crucero

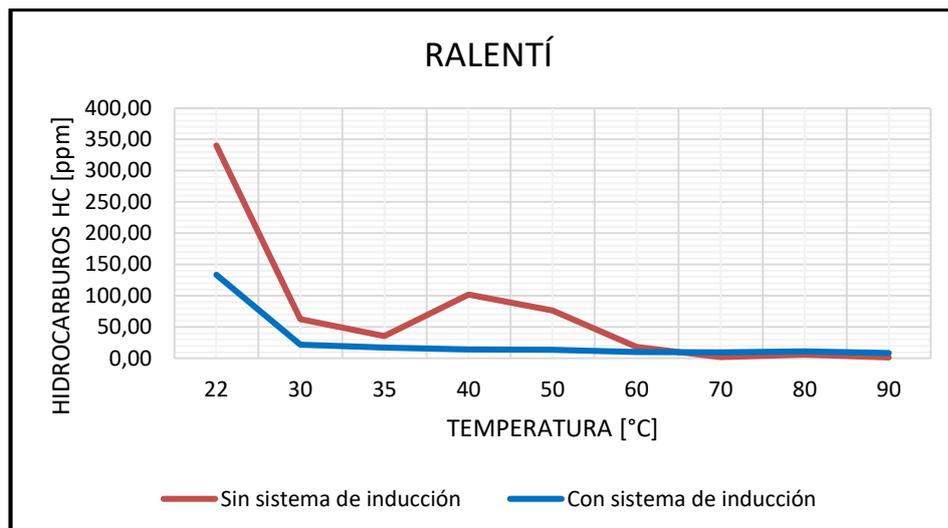
El análisis y la comparación de la concentración de los gases de combustión se realizaron de acuerdo a los valores promedios de las pruebas con sistema de inducción en relación a las pruebas sin el sistema.

Tabla 85

## Hidrocarburos con y sin sistema de inducción

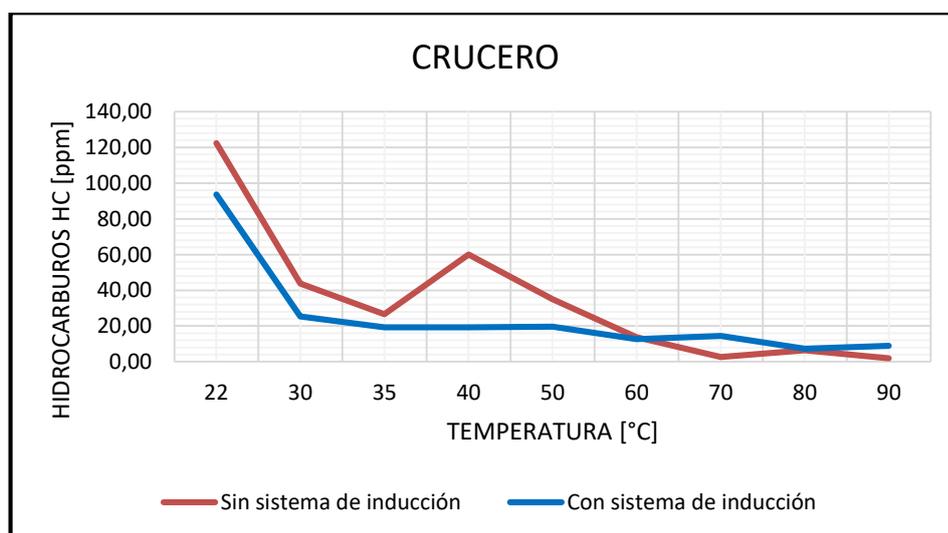
HIDROCARBUROS HC [ppm]		
RALENTÍ		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	340,33	133,33
30,00	62,67	21,67
35,00	35,33	17,33
40,00	102,00	14,33
50,00	76,33	13,33
60,00	18,00	10,00
70,00	2,00	9,33
80,00	6,00	11,00
90,00	1,33	8,50
CRUCERO		
22,00	122,33	93,67
30,00	43,67	25,33
35,00	26,67	19,33
40,00	60,00	19,33
50,00	35,00	19,67
60,00	13,67	12,67
70,00	2,67	14,50
80,00	6,33	7,33
90,00	2,00	9,00

En la figura 144, se muestra que la utilización del sistema inducción en ralentí reduce notablemente la cantidad de HC durante el arranque en frío de 340,33 a 133,33 ppm, representando el 60,82% de reducción, y su valor se estabiliza a una temperatura de 30°C con valores cercanos a cero mientras el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento.



**Figura 144. Comparación de hidrocarburos vs temperatura en ralentí con y sin sistema de inducción**

La gráfica de la figura 145, muestra la reducción de los hidrocarburos con el uso del sistema de inducción de 122,33 a 93,67 ppm durante el arranque en frío con una reducción del 23,42% en relación al funcionamiento sin sistema, se evidencia cuando el motor trabaja en frío, hasta alcanzar una temperatura de 30°C, luego estabiliza la cantidad de hidrocarburos hasta que el motor alcanza su temperatura de operación.



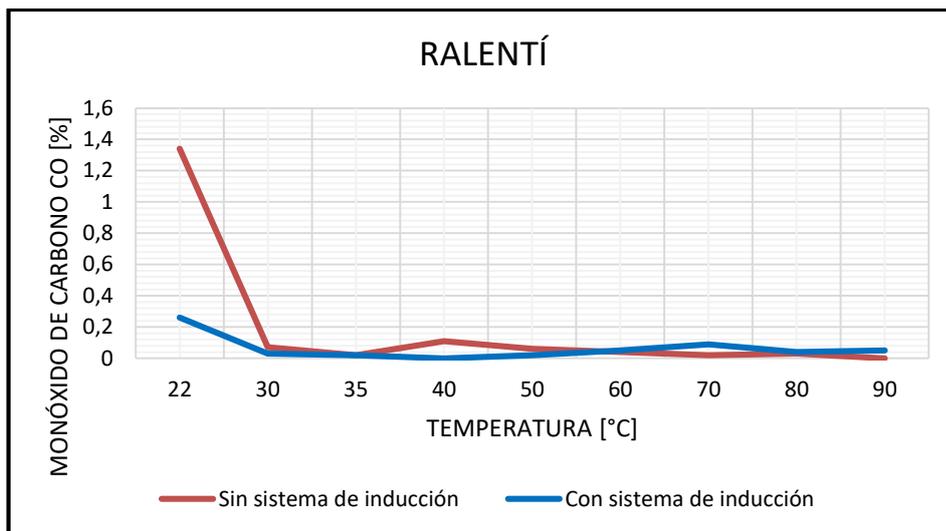
**Figura 145. Comparación de hidrocarburos vs temperatura en velocidad crucero con y sin sistema de inducción**

Tabla 86

**Monóxido de carbono con y sin sistema de inducción**

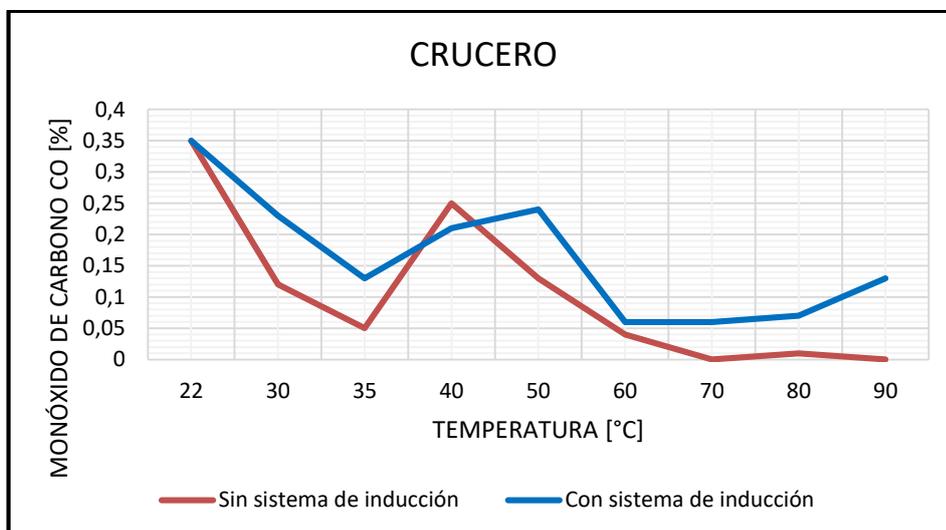
<b>MONÓXIDO DE CARBONO CO [%]</b>		
<b>RALENTÍ</b>		
<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Catalizador sin sistema de inducción</b>	<b>Catalizador con sistema de inducción</b>
22,00	1,34	0,26
30,00	0,07	0,03
35,00	0,02	0,02
40,00	0,11	0,00
50,00	0,06	0,02
60,00	0,04	0,05
70,00	0,02	0,09
80,00	0,03	0,04
90,00	0,00	0,05
<b>CRUCERO</b>		
22,00	0,35	0,35
30,00	0,12	0,23
35,00	0,05	0,13
40,00	0,25	0,21
50,00	0,13	0,24
60,00	0,04	0,06
70,00	0,00	0,06
80,00	0,01	0,07
90,00	0,00	0,13

Durante el arranque en frío con el uso del sistema de inducción la concentración del monóxido de carbono se reduce considerablemente de 1,24% a 0,26% en volumen, representando una reducción de 79,03% en relación al funcionamiento sin sistema, estabiliza su valor normal a los 30°C con valores cercanos a cero mientras el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento, figura 146.



**Figura 146. Comparación de monóxido de carbono vs temperatura en ralentí con y sin sistema de inducción**

La gráfica de la figura 147 muestra un valor de 0,35% en volumen de la concentración de monóxido de carbono con y sin sistema de inducción durante el arranque en frío, a medida que aumenta la temperatura del motor presenta un ligero incremento con un valor más evidente de 0,24% a 50°C.



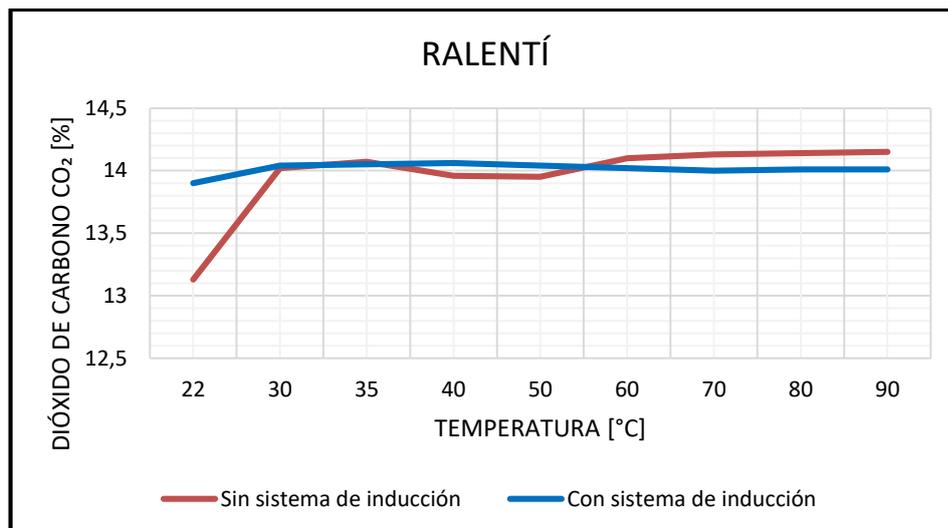
**Figura 147. Comparación de monóxido de carbono vs temperatura en velocidad crucero con y sin sistema de inducción**

Tabla 87

## Dióxido de carbono con y sin sistema de inducción

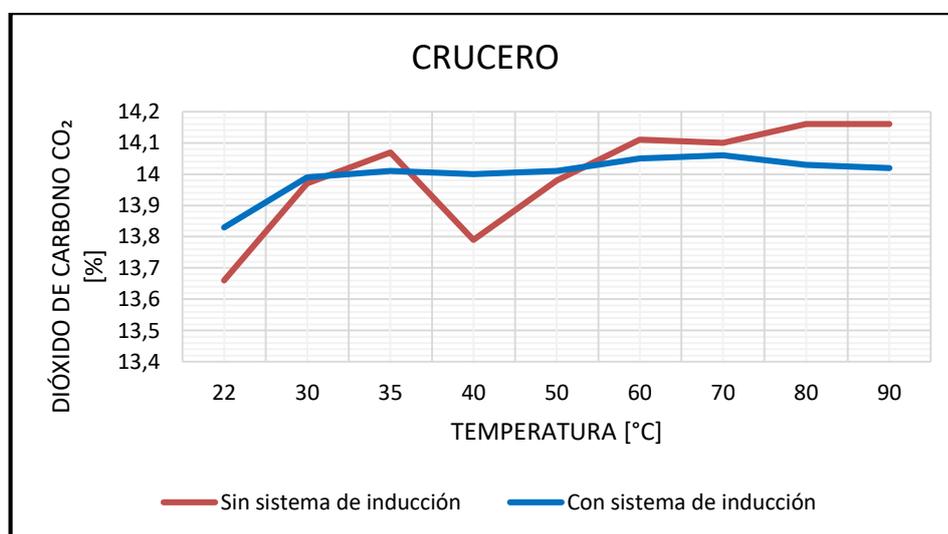
DIÓXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> [%]		
RALENTÍ		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	13,13	13,90
30,00	14,02	14,04
35,00	14,07	14,05
40,00	13,96	14,06
50,00	13,95	14,04
60,00	14,10	14,02
70,00	14,13	14,00
80,00	14,14	14,01
90,00	14,15	14,01
CRUCERO		
22,00	13,66	13,83
30,00	13,97	13,99
35,00	14,07	14,01
40,00	13,79	14
50,00	13,98	14,01
60,00	14,11	14,05
70,00	14,10	14,06
80,00	14,16	14,03
90,00	14,16	14,02

En la gráfica de la figura 148, se observa que utilizando el sistema de inducción en ralentí aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> durante el arranque en frío de 13,66% a 13,86% en volumen, con un incremento de 1,46%, logrando estabilizar su valor por encima del 14%, mientras aumenta la temperatura, es un claro indicativo de la eficacia del sistema de inducción y regulación de temperatura.



**Figura 148. Comparación de dióxido de carbono vs temperatura en ralentí con y sin sistema de inducción**

La concentración de  $\text{CO}_2$  aumenta con el uso del sistema de inducción durante el arranque en frío de 13,66% a 13,83% en volumen, con un incremento de 1,24% en relación al funcionamiento sin sistema, su valor se estabiliza a más del 14% en volumen, éste fenómeno se debe al control de la temperatura del catalizador durante su funcionamiento, figura 149.



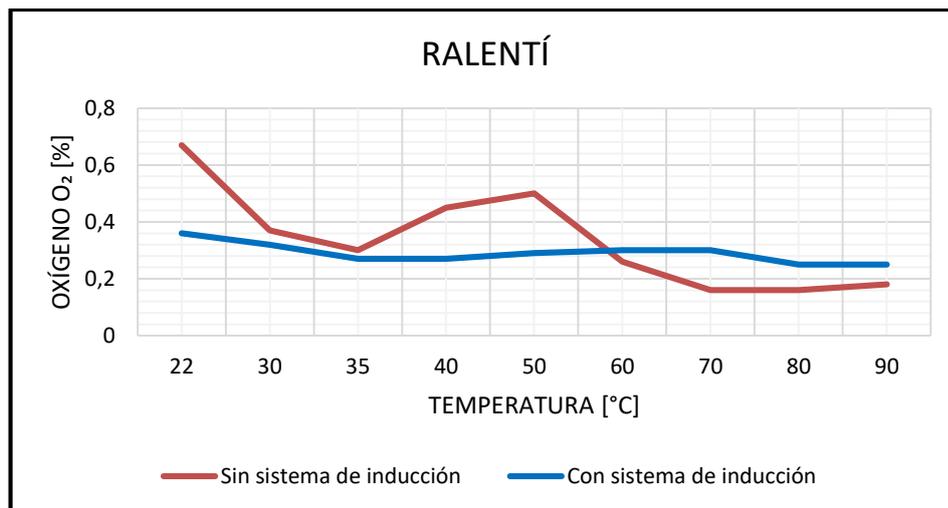
**Figura 149. Comparación de dióxido de carbono vs temperatura en velocidad crucero con y sin sistema de inducción**

Tabla 88

## Oxígeno con y sin sistema de inducción

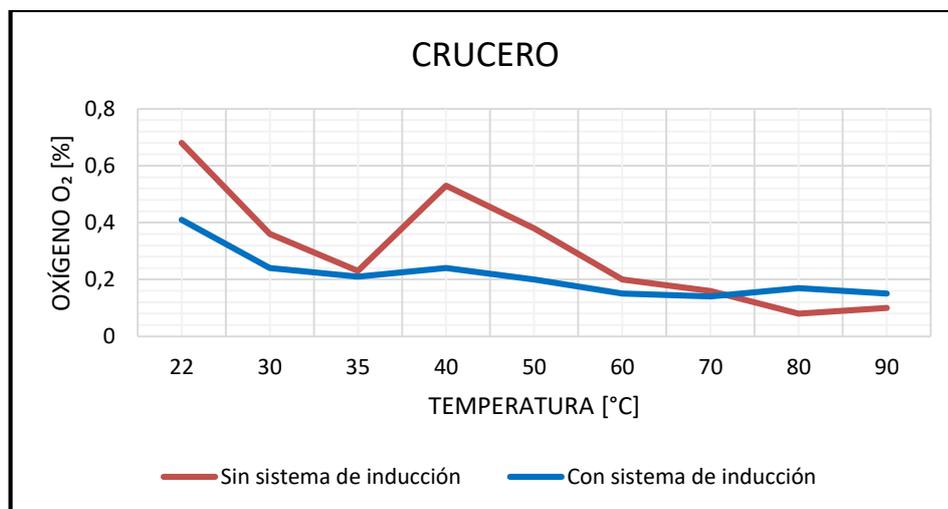
OXÍGENO O <sub>2</sub> [%]		
RALENTÍ		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	0,67	0,36
30,00	0,37	0,32
35,00	0,3	0,27
40,00	0,45	0,27
50,00	0,50	0,29
60,00	0,26	0,30
70,00	0,16	0,30
80,00	0,16	0,25
90,00	0,18	0,25
CRUCERO		
22,00	0,68	0,41
30,00	0,36	0,24
35,00	0,23	0,21
40,00	0,53	0,24
50,00	0,38	0,20
60,00	0,20	0,15
70,00	0,16	0,14
80,00	0,08	0,17
90,00	0,10	0,15

Utilizando el sistema de inducción en ralentí el oxígeno presenta una reducción de su valor durante el arranque en frío de 0,67 a 0,36% en volumen, representando una reducción de 42,27% manteniendo estable su valor mientras aumenta la temperatura hasta alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento, figura 150.



**Figura 150. Comparación de oxígeno vs temperatura en ralentí con y sin sistema de inducción**

En la gráfica de la figura 151, se observa que el oxígeno con prueba en velocidad crucero se reduce de 0,68% a 0,41% en volumen representando una reducción de 39,70%, a 30°C de temperatura estabiliza su valor y mientras alcanza la temperatura de funcionamiento normal.



**Figura 151. Comparación de oxígeno vs temperatura en velocidad crucero con y sin sistema de inducción**

#### **b. Análisis de emisiones de combustión en medición continua con y sin sistema de inducción**

El análisis de los gases de combustión con medición continua se realizó de acuerdo a la comparación de los valores promedio de la medición de las concentraciones de los gases residuales utilizando el

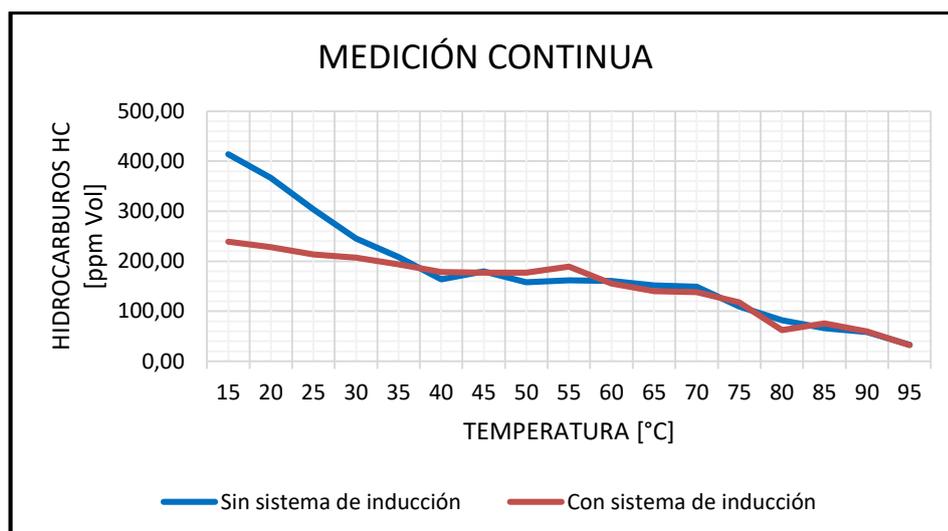
sistema de inducción en relación al funcionamiento del catalizador sin sistema cada 5°C de temperatura a partir del arranque en frío del vehículo.

**Tabla 89**

**Hidrocarburos en medición continua con y sin sistema de inducción**

HIDROCARBUROS HC [ppm Vol.]		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	413,67	239,33
20,00	366,33	228,33
25,00	303,67	213,67
30,00	245,67	207,33
35,00	208,67	193,67
40,00	164,00	178,67
45,00	179,67	177,00
50,00	157,67	177,33
55,00	162,00	189,00
60,00	160,33	155,33
65,00	151,67	140,33
70,00	149,00	138,33
75,00	109,67	118,00
80,00	82,00	62,00
85,00	66,00	75,67
90,00	58,33	59,67
95,00	32,67	32,33

En la figura 152, se observa una reducción considerable de hidrocarburos al utilizar el sistema de inducción con un valor de 413,67 ppm a 239,33 ppm lo que representa el 42,15% de disminución respecto del funcionamiento del catalizador sin el sistema, la reducción se presenta en el arranque en frío hasta una temperatura de 45°C, luego el funcionamiento del catalizador es normal, debido a que el sistema de inducción ha dejado de funcionar.



**Figura 152. Comparación de hidrocarburos vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

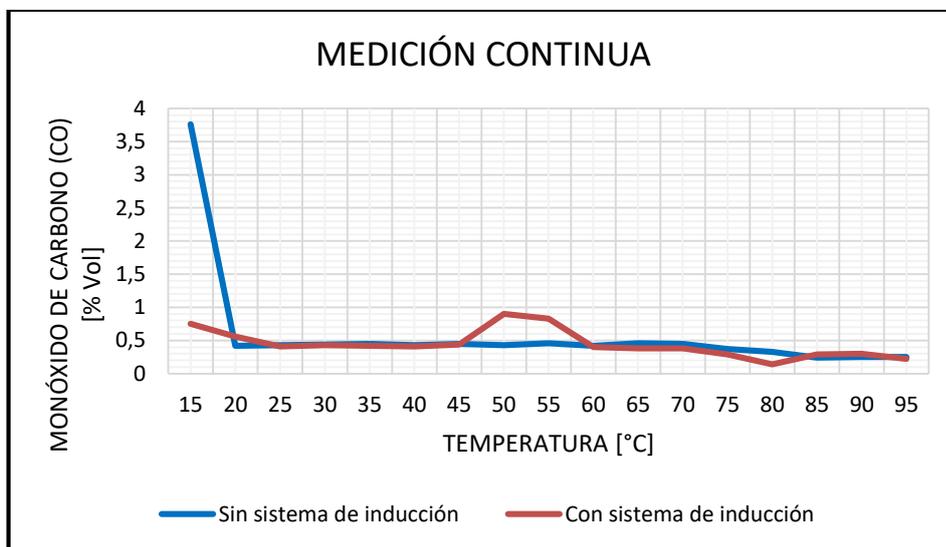
**Tabla 90**

**Monóxido de carbono en medición continua con y sin sistema de inducción**

<b>MONÓXIDO DE CARBONO CO [% Vol.]</b>		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	3,76	0,75
20,00	0,42	0,56
25,00	0,43	0,41
30,00	0,44	0,43
35,00	0,45	0,42
40,00	0,43	0,41
45,00	0,45	0,44
50,00	0,43	0,90
55,00	0,46	0,83
60,00	0,42	0,40
65,00	0,46	0,38
70,00	0,45	0,38
75,00	0,37	0,29
80,00	0,33	0,14
85,00	0,24	0,29
90,00	0,25	0,30
95,00	0,25	0,22

En la gráfica de la figura 153, se aprecia la reducción del monóxido de carbono al utilizar el sistema de inducción de 3,76% a 0,75% en volumen

de concentración, con una reducción de 80% durante el arranque en frío, a una temperatura de 50°C se produce el mayor valor de CO llegando a 0,90 que todavía se encuentra dentro de los límites permisibles la NTE INEN 2204.



**Figura 153. Comparación de monóxido de carbono vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

**Tabla 91**

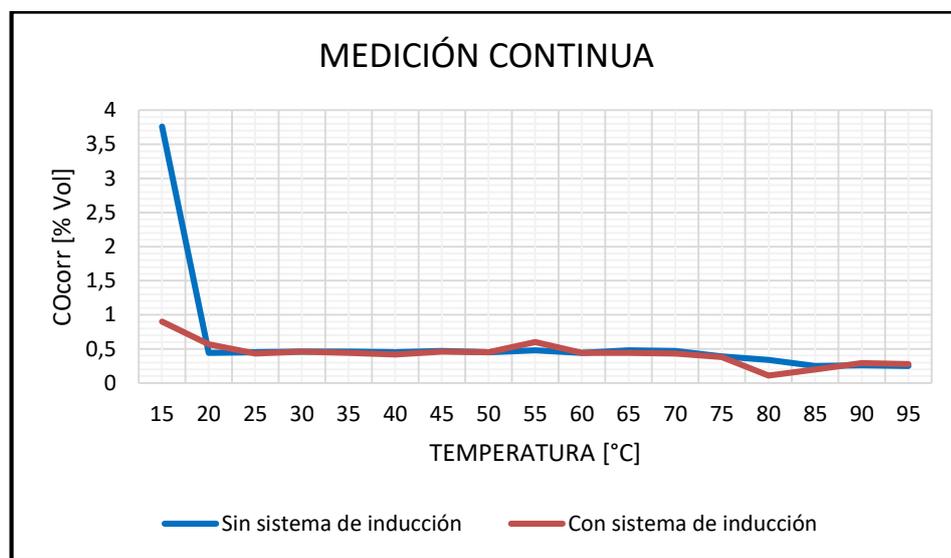
**Monóxido de carbono corregido en medición continua con y sin sistema de inducción**

Temperatura [°C]	COcorr [% Vol.]	
	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	3,76	0,9
20,00	0,44	0,57
25,00	0,45	0,43
30,00	0,46	0,46
35,00	0,46	0,44
40,00	0,45	0,42
45,00	0,47	0,46
50,00	0,45	0,45
55,00	0,48	0,6
60,00	0,44	0,44
65,00	0,48	0,44
70,00	0,47	0,43
75,00	0,39	0,38
80,00	0,34	0,11

CONTINUÁ 

85,00	0,25	0,2
90,00	0,26	0,29
95,00	0,25	0,28

El monóxido de carbono corregido utilizando el sistema de inducción muestra una cantidad importante de reducción del gas durante el arranque en frío del vehículo de 3,76% a 0,9% en volumen de concentración, con el 76,06% en reducción, manteniendo su valor cercano a cero mientras se eleva la temperatura del motor, figura 154.



**Figura 154. Comparación de monóxido de carbono corregido vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

**Tabla 92**

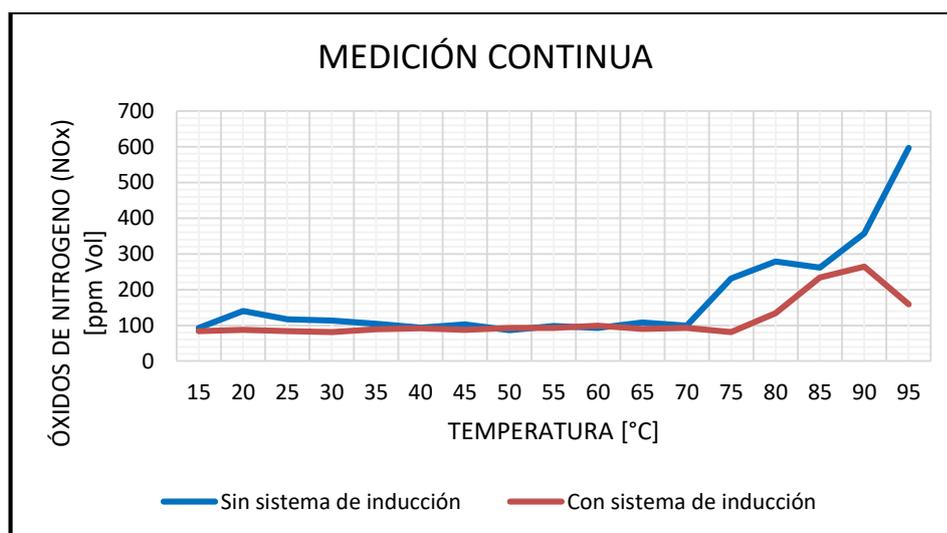
**Óxidos de nitrógeno con medición continua con y sin sistema de inducción**

ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx (ppm Vol.)		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	93,00	84,33
20,00	140,67	87,33
25,00	117,33	83,67
30,00	113,67	81,33
35,00	104,67	89,33
40,00	94,00	92,33
45,00	102,67	87,33
50,00	86,67	92,67

CONTINÚA 

55,00	98,00	93,33
60,00	93,33	99,33
65,00	108,00	90,33
70,00	99,33	92,67
75,00	231,00	81,67
80,00	279,00	133,67
85,00	262,00	233,67
90,00	357,33	264,00
95,00	596,67	158,67

En la figura 155, se observa que la cantidad de óxidos de nitrógeno al utilizar el sistema de inducción reduce de 93 ppm a 84,33 ppm, reflejando el 9,32% de reducción, mantiene un valor estable de 100 ppm desde el arranque en frío hasta una temperatura de 75°C, al aumentar la temperatura de operación del motor se eleva la concentración del gas con un valor menor al producido sin la utilización del sistema.



**Figura 155. Comparación de óxidos de nitrógeno vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

### Tabla 93

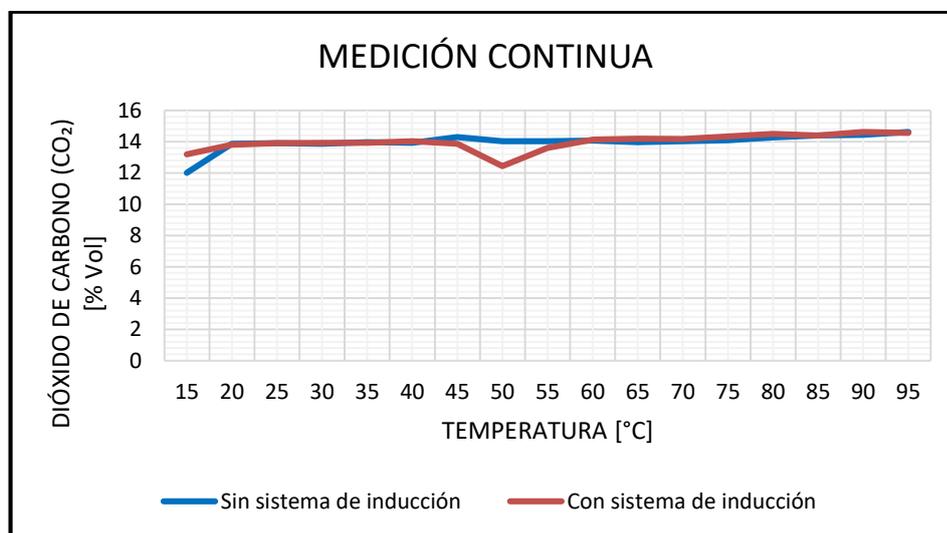
#### Dióxido de carbono en medición continua con y sin sistema de inducción

DÍOXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> (% Vol.)		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	12,00	13,20
20,00	13,87	13,80
25,00	13,90	13,90

CONTINÚA 

30,00	13,87	13,93
35,00	13,97	13,93
40,00	13,93	14,03
45,00	14,30	13,87
50,00	14,03	12,43
55,00	14,03	13,60
60,00	14,07	14,13
65,00	13,97	14,20
70,00	14,03	14,17
75,00	14,10	14,33
80,00	14,27	14,50
85,00	14,40	14,40
90,00	14,43	14,63
95,00	14,63	14,57

Las mediciones de dióxido de carbono presentes al utilizar el sistema de inducción varía de 12% a 13,20% en volumen, presenta una curva estable con un valor superior al 14% en volumen durante toda la prueba, indicativo de la correcta puesta a punto de los sistemas del motor, figura 156.



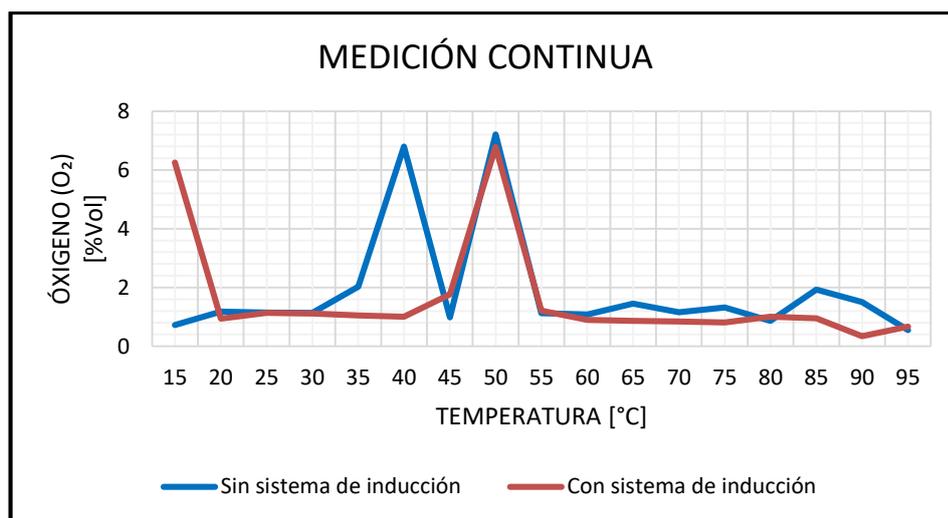
**Figura 156. Comparación de dióxido de carbono vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

Tabla 94

## Oxígeno en medición continua con y sin sistema de inducción

OXÍGENO O <sub>2</sub> (% Vol.)		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,72	6,25
20,00	1,18	0,94
25,00	1,15	1,14
30,00	1,13	1,11
35,00	2,03	1,05
40,00	6,79	1,01
45,00	0,98	1,77
50,00	7,21	6,78
55,00	1,12	1,21
60,00	1,08	0,9
65,00	1,45	0,86
70,00	1,16	0,84
75,00	1,32	0,81
80,00	0,86	1,01
85,00	1,93	0,95
90,00	1,5	0,34
95,00	0,55	0,67

En la gráfica de la figura 157, se aprecia la concentración del oxígeno presente en los gases de escape utilizando el sistema de inducción durante el arranque en frío se incrementa de 0,72% a 6,25% en volumen, representando un incremento de 768%, significa que el precalentamiento del catalizador es efectivo trabajando desde el arranque del vehículo.



**Figura 157. Comparación de oxígeno vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

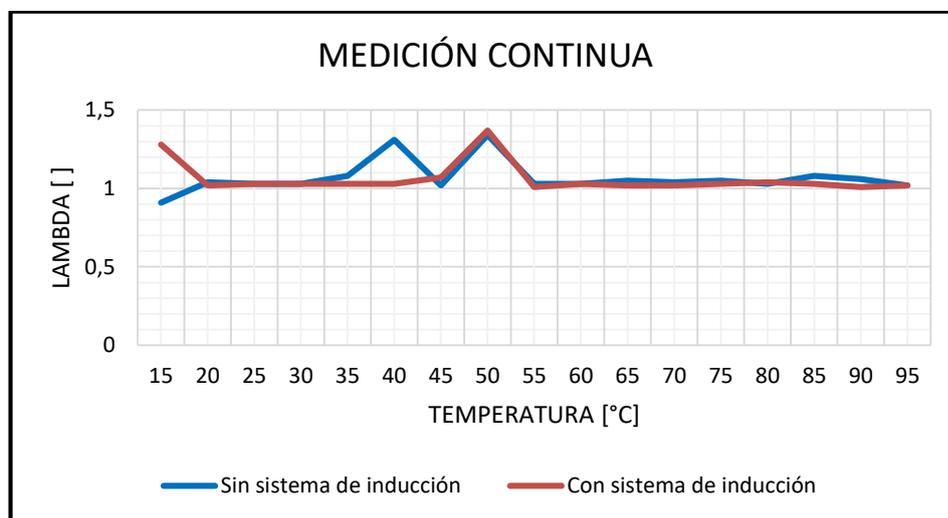
**Tabla 95**

**Lambda en medición continua con y sin sistema de inducción**

<b>LAMBDA</b>		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,91	1,28
20,00	1,04	1,02
25,00	1,03	1,03
30,00	1,03	1,03
35,00	1,08	1,03
40,00	1,31	1,03
45,00	1,02	1,07
50,00	1,34	1,37
55,00	1,03	1,01
60,00	1,03	1,03
65,00	1,05	1,02
70,00	1,04	1,02
75,00	1,05	1,03
80,00	1,03	1,04
85,00	1,08	1,03
90,00	1,06	1,01
95,00	1,02	1,02

El valor de lambda con el uso del sistema de inducción muestra un aumento de 0,91 a 1,28 significa que inicio con una mezcla rica durante el arranque en frío sin el sistema; a diferencia con el sistema tiene una mezcla pobre dada la condición inicial de precalentamiento del catalizador lo que

representa una temperatura correcta de trabajo del catalizador, en tal virtud un ajuste de mezcla rica; dado que el sensor de oxígeno también incrementó su temperatura de trabajo por la transferencia de calor del sistema de inducción, figura 158.



**Figura 158. Comparación de lambda vs temperatura en medición continua con y sin sistema de inducción**

### c. Transformación catalítica del sistema de inducción

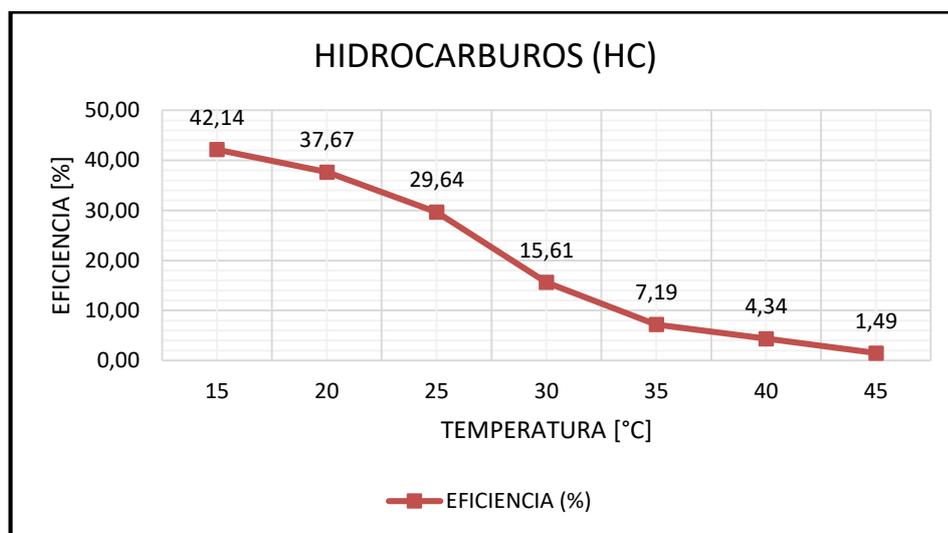
La eficiencia del sistema de inducción en la transformación catalítica de los gases residuales durante el trabajo en frío del motor se calculó en base a la medición continua durante la acción del calentamiento del catalizador en un rango de 15 a 45°C de temperatura, para los gases de mayor impacto al ambiente por ser los más contaminantes.

**Tabla 96**

#### Eficiencia en la transformación de hidrocarburos

Gas	T [°C]	Sin sistema (As)	Con sistema (Ac)	Ecuación	Eficiencia (%)
HC	15	413,67	239,33	$EF_A = \left[ \frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$	42,14
	20	366,33	228,33		37,67
	25	303,67	213,67		29,64
	30	245,67	207,33		15,61
	35	208,67	193,67		7,19
	40	186,78	178,67		4,34
	45	179,67	177,00		1,49
					$\bar{X}$ 19,73

La figura 159, representa la transformación catalítica de los hidrocarburos mediante la acción del sistema de inducción durante el trabajo en frío del motor en comparación al funcionamiento del catalizador estándar; se observa que el máximo valor de la eficiencia es de 42,14% a 15°C, mientras aumenta la temperatura del motor su valor disminuye gradualmente debido a que el catalizador alcanza su temperatura normal de funcionamiento a los 45°C y el sistema de inducción deja de influir en el funcionamiento normal



**Figura 159. Eficiencia de hidrocarburos vs temperatura**

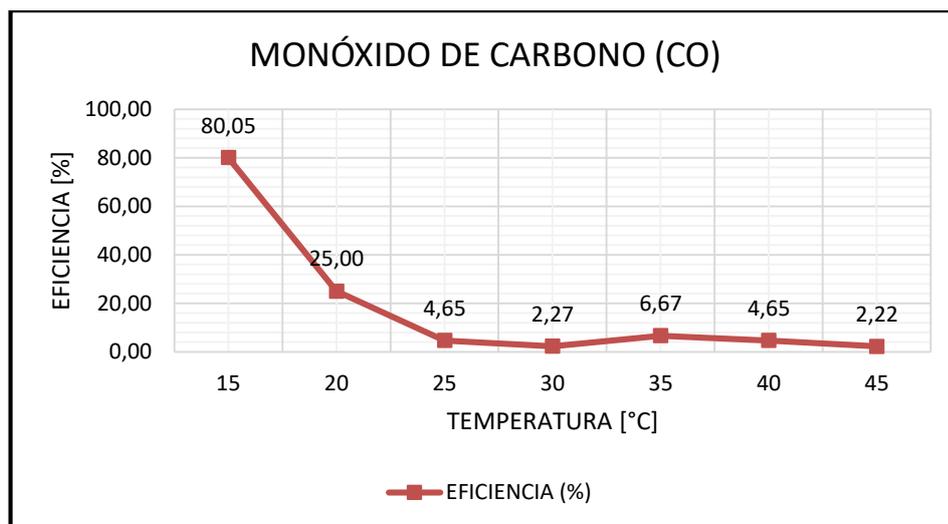
En la tabla 97, se presentan los valores de monóxido de carbono en un rango de temperatura de 15 a 45 °C, tiempo de actuación del sistema de inducción para catalizador.

**Tabla 97**

**Eficiencia en la transformación de monóxido de carbono**

Gas	T [°C]	Sin sistema (As)	Con sistema (Ac)	Ecuación	Eficiencia (%)
CO	15	3,76	0,75	$EF_A = \left[ \frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$	80,05
	20	0,56	0,42		25,00
	25	0,43	0,41		4,65
	30	0,44	0,43		2,27
	35	0,45	0,42		6,67
	40	0,43	0,41		4,65
	45	0,45	0,44		2,22

La gráfica de la figura 160 muestra la cantidad de monóxido de carbono transformado a gases inocuos mediante la acción del sistema de inducción en el catalizador durante el trabajo en frío del motor en comparación al funcionamiento del catalizador estándar; la máxima eficiencia es a 15°C con el 80,05% disminuyendo paulatinamente mientras incrementa la temperatura del motor y el catalizador alcanza su temperatura óptima de funcionamiento a los 30°C.



**Figura 160. Eficiencia del monóxido de carbono vs temperatura**

En la tabla 98, se presentan los resultados de las pruebas de emisiones con y sin sistema de inducción para catalizador, así también el valor de la eficiencia en el tratamiento de óxidos de nitrógeno mediante la acción de sistema implementado en un rango de temperatura de 15 a 45°C.

**Tabla 98**

**Eficiencia en la transformación de óxidos de nitrógeno**

Gas	T [°C]	Sin sistema (As)	Con sistema (Ac)	Ecuación	Eficiencia (%)
NOx	15	93,00	84,33	$EF_A = \left[ \frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$	9,32
	20	140,67	87,33		37,92
	25	117,33	83,67		28,69
	30	113,67	81,33		28,45
	35	104,67	89,33		14,66
	40	94,00	92,33		1,78
	45	102,67	87,33		14,94

La figura 161, representa la eficiencia en la transformación catalítica de los óxidos de nitrógeno mediante la acción del sistema de inducción en el calentamiento del catalizador; la inestabilidad de los valores de óxidos de nitrógeno se debe al ajuste de combustible durante el funcionamiento en frío con mezcla rica y a la temperatura de combustión de la mezcla aire-combustible.

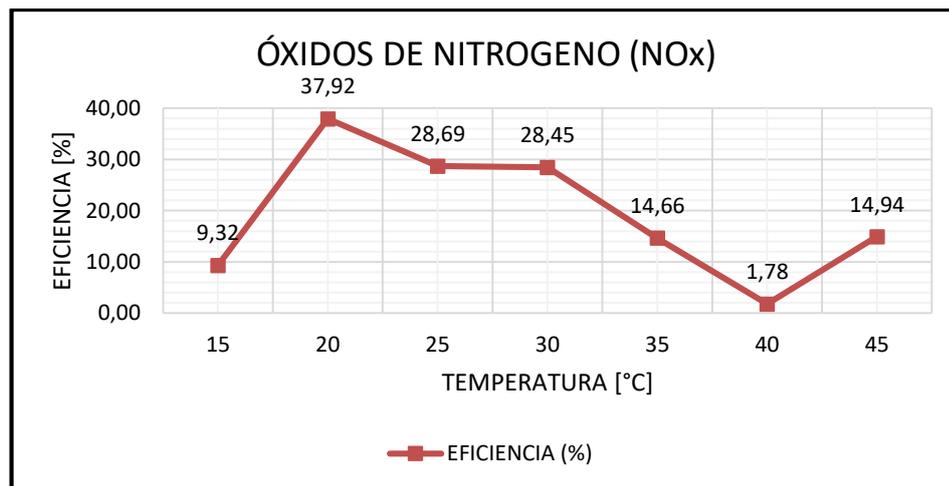


Figura 161. Eficiencia de óxidos de nitrógeno vs temperatura

#### 4.6.4. Análisis de consumo de combustible con y sin sistema de inducción

Para el análisis del consumo de combustible se consideró los valores promedios de las mediciones en tres tipos de tráfico así:

##### a. Tráfico ligero

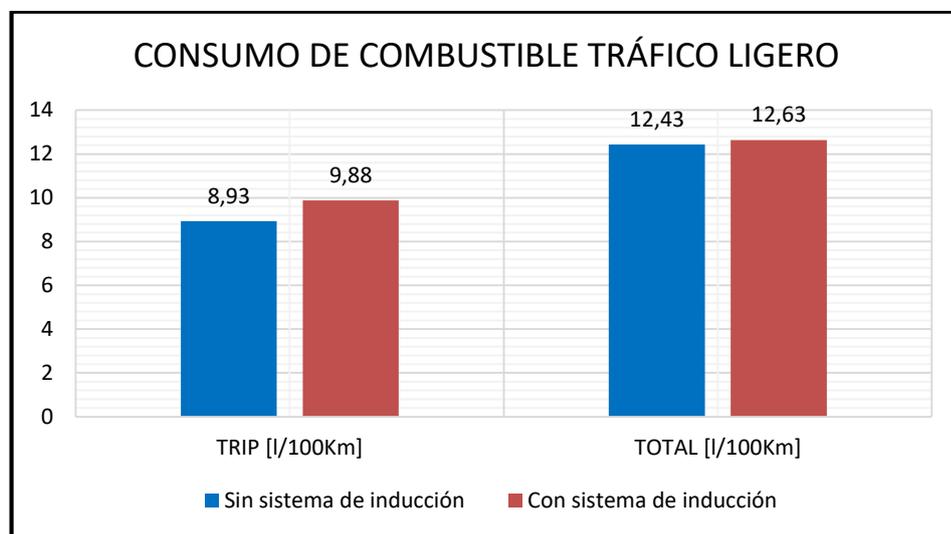
Tabla 99

#### Consumo de combustible en tráfico ligero con y sin sistema de inducción

CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRÁFICO LIGERO				
CONDICIÓN	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
Catalizador sin sistema de inducción	0,32	8,93	12,43	0,68
Catalizador con sistema de inducción	0,36	9,88	12,63	0,77
Variación	0,04	0,95	0,20	0,09
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	12,5	10,64	1,60	13,23

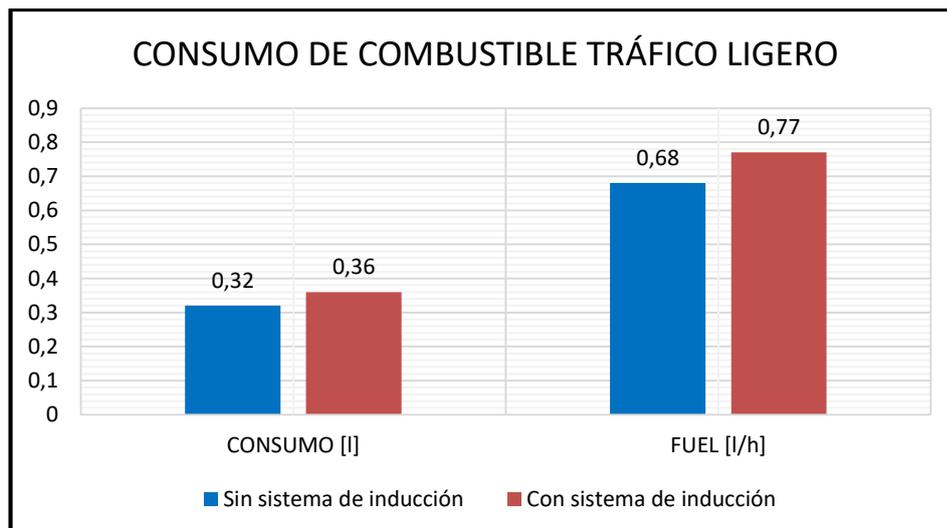
La figura 162, muestra el rendimiento de combustible en tráfico ligero, considerando la prueba sin tomar en cuenta las paradas en ralentí el rendimiento es de 9,88 l/100Km y 8,93 l/100Km con sistema y sin sistema respectivamente, lo que representa una disminución de 10,64% en rendimiento con la acción del sistema.

Mientras tanto considerando el total de la prueba manifiesta un valor de 12,63 l/100Km con sistema y 12,43 l/100Km sin sistema lo que refleja un rendimiento negativo de 1,60%, el sistema requirió de mayor cantidad combustible durante el funcionamiento del sistema de inducción para recorrer la misma distancia.



**Figura 162. Comparación de consumo de combustible en (l/100Km) con tráfico ligero, con y sin sistema de inducción**

Según la figura 163, el consumo volumétrico de combustible en tráfico ligero es de 0,32 litros sin sistema y 0,36 litros con sistema lo que representa un incremento de 12,5%, también se considera el consumo por tiempo recorrido dando un valor de 0,68 l/h y 0,77 l/h con y sin sistema respectivamente incrementando su consumo a 13,23%, el mayor consumo de combustible se da utilizando el sistema de inducción.



**Figura 163. Comparación de consumo de combustible en (l) y (l/h) con tráfico ligero, con y sin sistema de inducción**

### b. Tráfico moderado

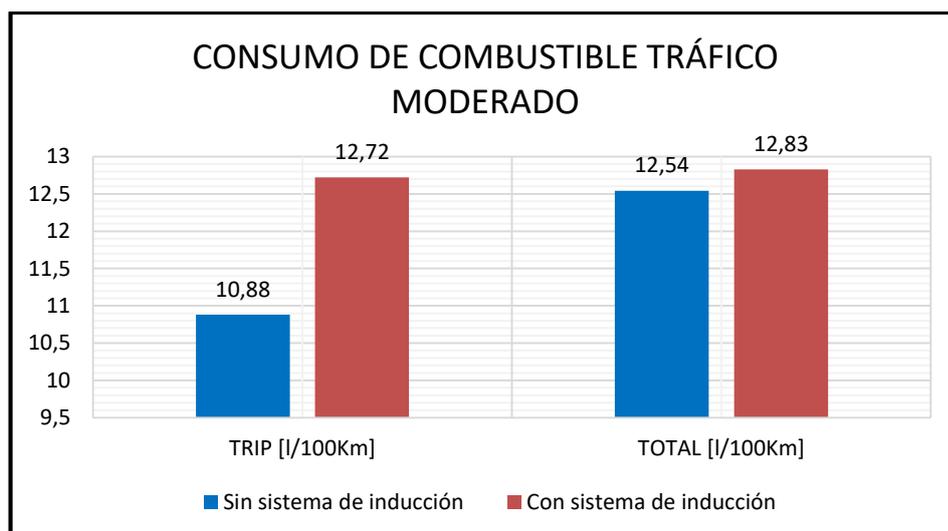
**Tabla 100**

#### **Consumo de combustible en tráfico moderado con y sin sistema de inducción**

<b>CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRÁFICO MODERADO</b>				
<b>CONDICIÓN</b>	<b>CONSUMO [l]</b>	<b>TRIP [l/100Km]</b>	<b>TOTAL [l/100Km]</b>	<b>FUEL [l/h]</b>
Catalizador sin sistema de inducción	0,41	10,88	12,54	0,71
Catalizador con sistema de inducción	0,46	12,72	12,83	0,81
Variación	0,05	1,84	0,29	0,10
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	12,20	16,91	2,31	14,08

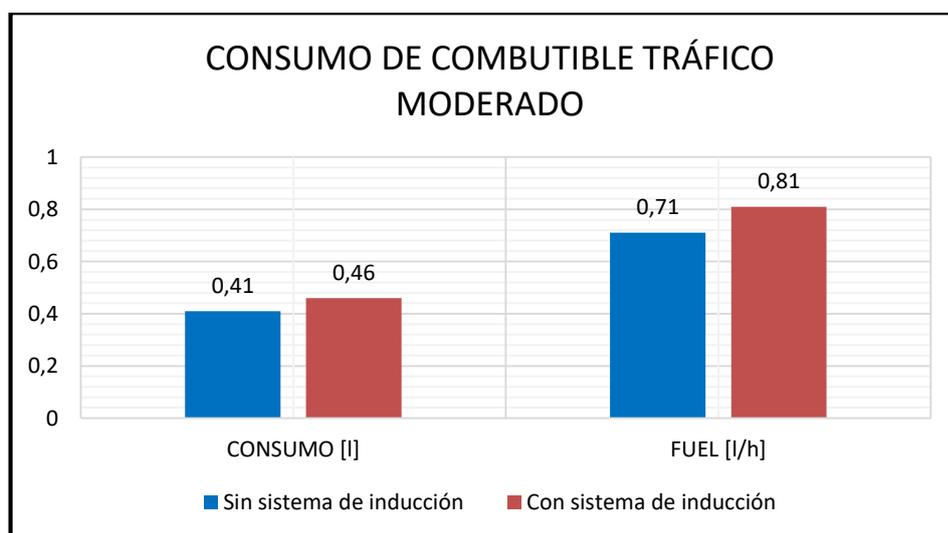
La figura 164, muestra el rendimiento de combustible en tráfico moderado, el rendimiento sin considerar las paradas durante la prueba de ruta es de 12,83 l/100Km con sistema y 10,88 l/100Km sin sistema, la acción del sistema de inducción requiere el 16,91% más de combustible para recorrer la misma distancia.

Considerando el total de la prueba indica un valor de 12,72 l/100Km y 12,54 l/100Km con sistema y sin sistema respectivamente, la implementación del sistema requiere de 2,31% más de combustible para recorrer una distancia de 3,57 km.



**Figura 164. Comparación de consumo de combustible en (l/100Km) con tráfico moderado, con y sin sistema de inducción**

El consumo de combustible volumétrico con tráfico moderado es de 0,41 litros sin sistema y 0,46 litros con sistema lo que representa un incremento de 12,20%, mientras que el consumo por tiempo recorrido con un valor de 0,71 l/h y 0,81 l/h sin sistema y con sistema respectivamente evidenciando un incremento de 14,08%, el mayor consumo se produce con el funcionamiento del sistema de inducción, figura 165.



**Figura 165. Comparación de consumo de combustible en (l) y (l/h) con tráfico moderado, con y sin sistema de inducción**

### c. Alto tráfico

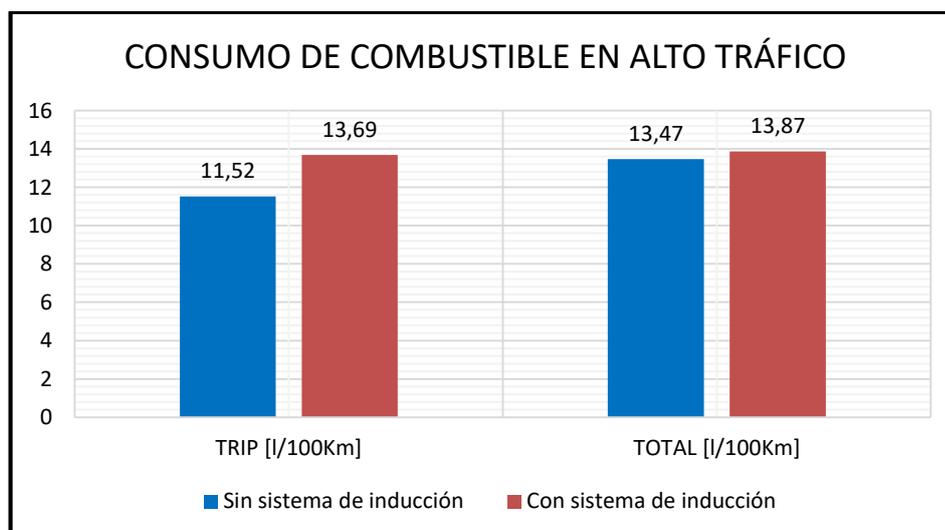
**Tabla 101**

**Consumo de combustible en alto tráfico con y sin sistema de inducción**

CONSUMO DE COMBUSTIBLE ALTO TRÁFICO				
CONDICIÓN	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
Catalizador sin sistema de inducción	0,56	11,52	13,47	0,74
Catalizador con sistema de inducción	0,59	13,69	13,87	0,90
Variación	0,03	2,17	0,40	0,16
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	5,36	18,83	2,96	21,62

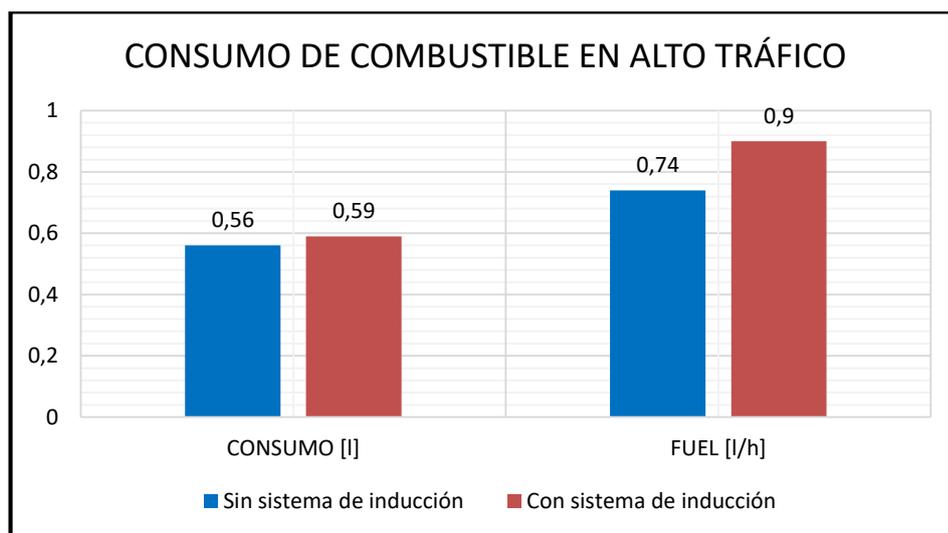
En la gráfica de la figura 166, se observa el rendimiento de combustible en alto tráfico, el rendimiento sin tomar en cuenta las paradas durante la prueba es de 13,87 l/100Km y 11,52 l/100Km con y sin sistema respectivamente, indica que con el funcionamiento del sistema de inducción se requiere de 18,83% más de combustible para recorrer 3,7Km.

Y el rendimiento total indica un valor de 13,69 l/100Km con sistema y 13,47 l/100Km sin sistema, la implementación y funcionamiento del sistema de inducción para catalizador requiere de 2,96% más de combustible para recorrer una distancia de 3,57 kilómetros



**Figura 166. Comparación de consumo de combustible en (l/100Km) con alto tráfico, con y sin sistema de inducción**

El consumo volumétrico de combustible en alto tráfico muestra un valor de 0,56 litros sin sistema y 0,59 litros con sistema evidenciando un incremento de 5,36%, mientras tanto el consumo por tiempo recorrido indica un valor de 0,74 l/h y 0,90 l/h sin sistema y con sistema respectivamente lo que representa un incremento de 21,62%, el mayor consumo de combustible se produce con la acción del sistema de inducción, figura 167.



**Figura 167. Comparación de consumo de combustible en (l) y (l/h) con alto tráfico, con y sin sistema de inducción**

#### 4.6.5. Influencia del sistema de inducción en la gestión electrónica de combustible

En el presente apartado se analizan los PID's de la gestión electrónica de combustible y su comportamiento utilizando el sistema de inducción en relación al funcionamiento del catalizador sin sistema.

**Tabla 102**

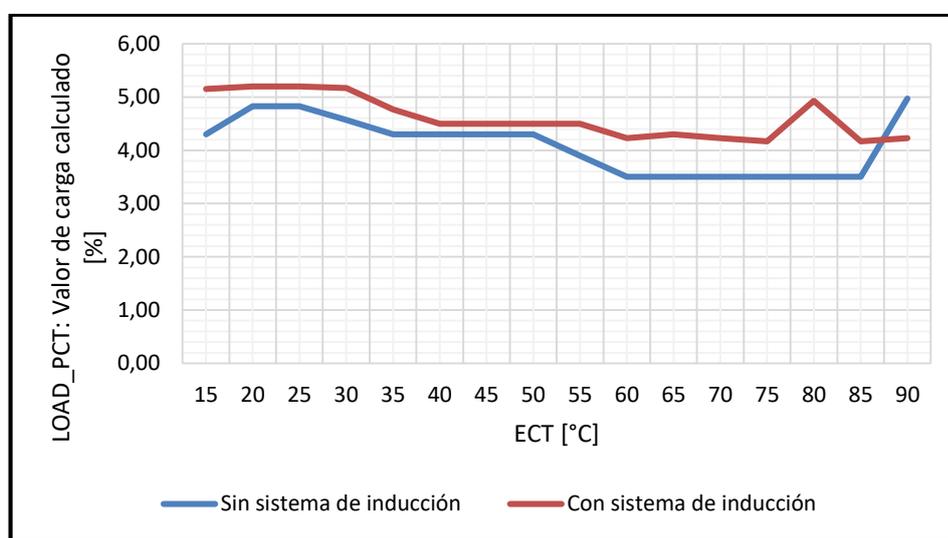
**Valor de carga calculado con catalizador con y sin sistema de inducción**

LOAD_PCT: Valor de carga calculado [%]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15	4,30	5,15
20	4,83	5,20
25	4,83	5,20

CONTINÚA 

30	4,57	5,17
35	4,30	4,77
40	4,30	4,50
45	4,30	4,50
50	4,30	4,50
55	3,90	4,50
60	3,50	4,23
65	3,50	4,30
70	3,50	4,23
75	3,50	4,17
80	3,50	4,93
85	3,50	4,17
90	4,97	4,23

En la figura 168, se aprecia que el valor de la carga calculado utilizando el sistema de inducción es superior durante toda la prueba de la gestión electrónica de combustible en comparación de no utilizar el sistema, representa una carga adicional que influye en la gestión electrónica, en este caso es la carga eléctrica adicional necesario para cargar el banco de baterías de nuevo sistema.



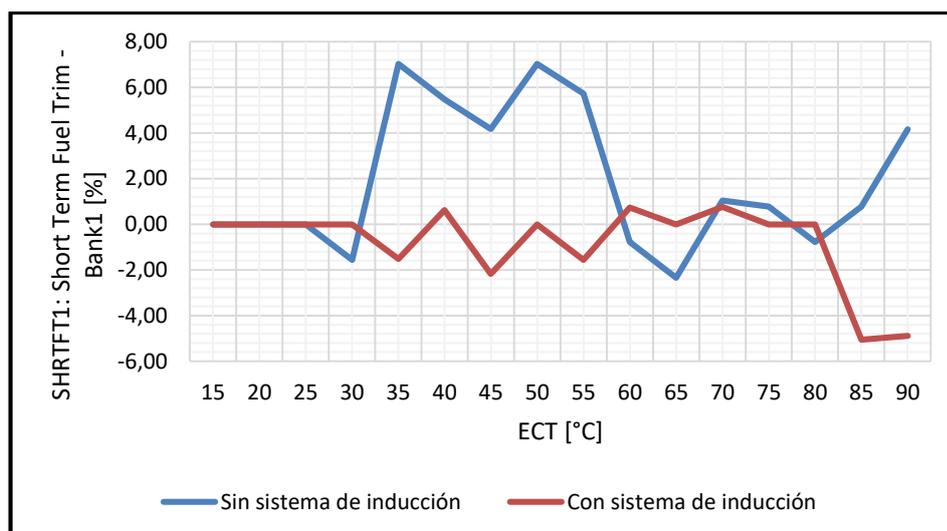
**Figura 168. Comparación de valor de carga calculado vs temperatura del sensor ECT, con y sin sistema de inducción**

Tabla 103

## Recorte de combustible a corto plazo con y sin sistema de inducción

SHRTFT1: Short Term Fuel Trim - Bank1 [%]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,00	0,00
20,00	0,00	0,00
25,00	0,00	0,00
30,00	-1,56	0,00
35,00	7,03	-1,51
40,00	5,47	0,63
45,00	4,17	-2,18
50,00	7,03	0,00
55,00	5,73	-1,56
60,00	-0,78	0,74
65,00	-2,34	0,00
70,00	1,04	0,77
75,00	0,78	0,00
80,00	-0,78	0,00
85,00	0,78	-5,05
90,00	4,16	-4,89

Con la utilización del sistema de calentamiento el comportamiento del recorte de combustible a corto plazo se mantiene en cero durante el arranque del vehículo en frío, cuando el motor alcanza una temperatura de 30°C empieza con el ajuste normal de combustible, dentro de los parámetros normales de funcionamiento, figura 169.



**Figura 169. Comparación de recorte de combustible a corto plazo vs temperatura del sensor ECT con y sin sistema de inducción**

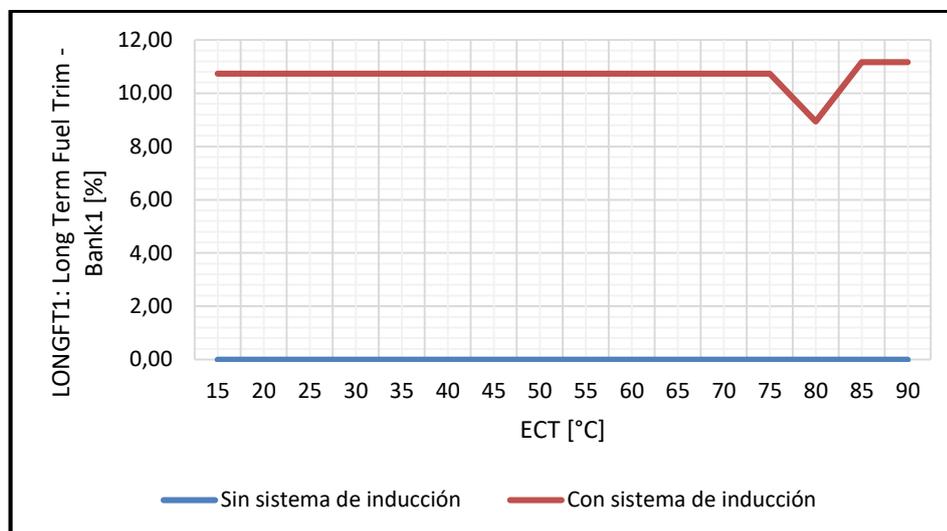
**Tabla 104**

**Recorte de combustible a largo plazo con y sin sistema de inducción**

LONGFT1: Long Term Fuel Trim - Bank1 [%]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,00	10,74
20,00	0,00	10,74
25,00	0,00	10,74
30,00	0,00	10,74
35,00	0,00	10,74
40,00	0,00	10,74
45,00	0,00	10,74
50,00	0,00	10,74
55,00	0,00	10,74
60,00	0,00	10,74
65,00	0,00	10,74
70,00	0,00	10,74
75,00	0,00	10,74
80,00	0,00	8,94
85,00	0,00	11,17
90,00	0,00	11,17

La gráfica de la figura 170, muestra el recorte de combustible a largo plazo, el valor sin utilizar el sistema de inducción es cero durante toda la prueba indicativo del buen funcionamiento del sistema de gestión electrónica, mientras que utilizando el sistema de inducción muestra un valor

constante de 10,74% en compensación de combustible mostrando una falla, esto se debe a la sobrecarga eléctrica de un consumidor adicional que influye directamente en la gestión electrónica del vehículo.



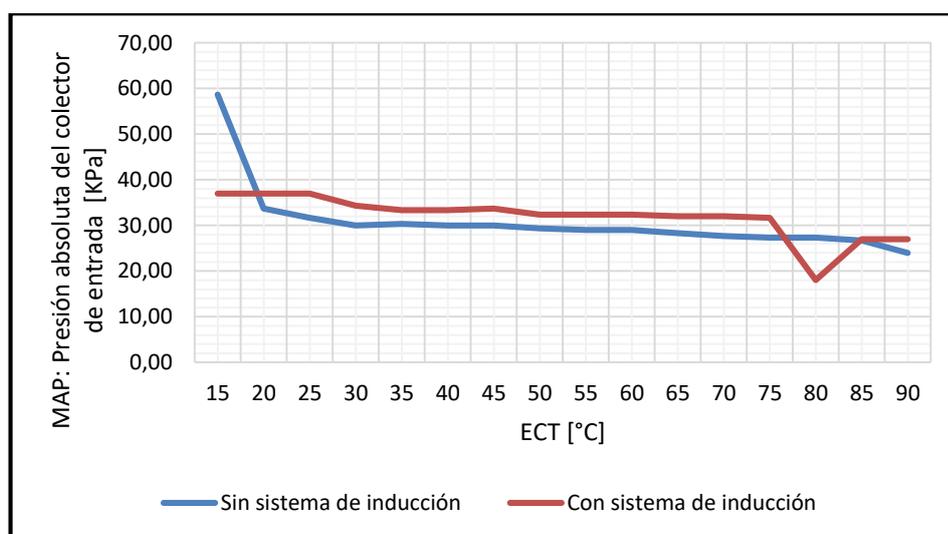
**Figura 170. Comparación de recorte de combustible a largo plazo vs temperatura del sensor ECT con y sin sistema de inducción**

**Tabla 105**

**Presión absoluta del colector con y sin sistema de inducción**

MAP: Presión absoluta del colector de entrada [KPa]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	58,67	37,00
20,00	33,67	37,00
25,00	31,67	37,00
30,00	30,00	34,33
35,00	30,33	33,33
40,00	30,00	33,33
45,00	30,00	33,67
50,00	29,33	32,33
55,00	29,00	32,33
60,00	29,00	32,33
65,00	28,33	32,00
70,00	27,67	32,00
75,00	27,33	31,67
80,00	27,33	18,00
85,00	26,67	27,00
90,00	24,00	27,00

En la figura 171, se observa el valor de la presión absoluta en el colector de admisión, mediante el funcionamiento del catalizador estándar su máximo valor es de 58,67 KPa a 15°C de temperatura del motor, a medida que incrementa la temperatura disminuye la densidad del aire y la presión se estabiliza en 30 KPa a 30°C durante toda la prueba, mientras tanto con la acción del sistema de inducción su valor máximo es de 37 KPa durante el arranque en frío estabilizándose en 35 KPa mientras se incrementa la temperatura del motor.



**Figura 171. Comparación de presión absoluta del colector de entrada vs temperatura del sensor ECT con y sin sistema de inducción**

**Tabla 106**

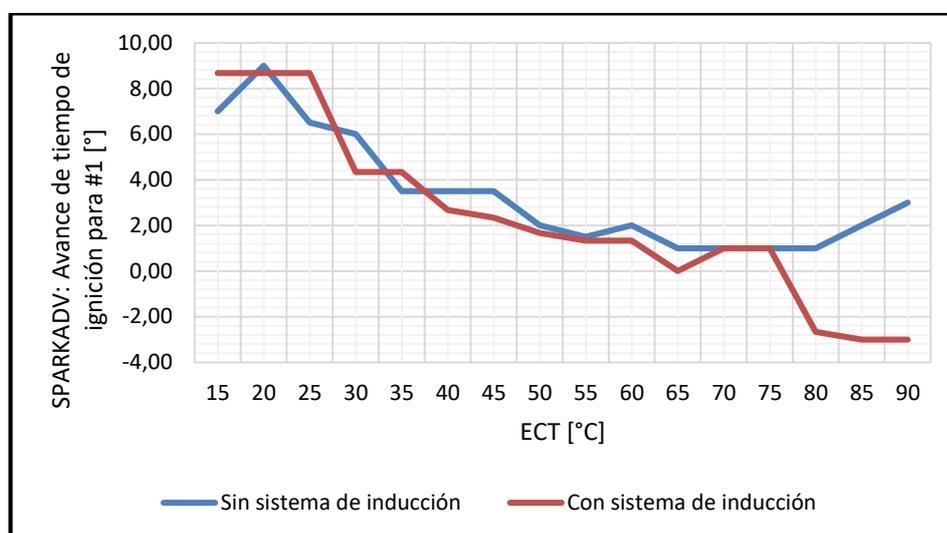
**Avance de tiempo de ignición con y sin sistema de inducción**

SPARKADV: Avance de tiempo de ignición para #1 [°]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema inducción
15,00	7,00	8,67
20,00	9,00	8,67
25,00	6,50	8,67
30,00	6,00	4,33
35,00	3,50	4,33
40,00	3,50	2,67
45,00	3,50	2,33
50,00	2,00	1,67
55,00	1,50	1,33
60,00	2,00	1,33
65,00	1,00	0,00

CONTINÚA 

70,00	1,00	1,00
75,00	1,00	1,00
80,00	1,00	-2,67
85,00	2,00	-3,00
90,00	3,00	-3,00

El avance al tiempo de ignición con el uso del sistema de inducción presenta un valor alto necesario para el arranque en frío a medida que sube la temperatura del motor descende su valor de forma progresiva hasta alcanzar un valor negativo durante la operación normal del motor presentando inestabilidad en el funcionamiento, figura 172.



**Figura 172. Comparación de avance del tiempo de ignición vs temperatura del sensor ECT, con y sin sistema de inducción**

**Tabla 107**

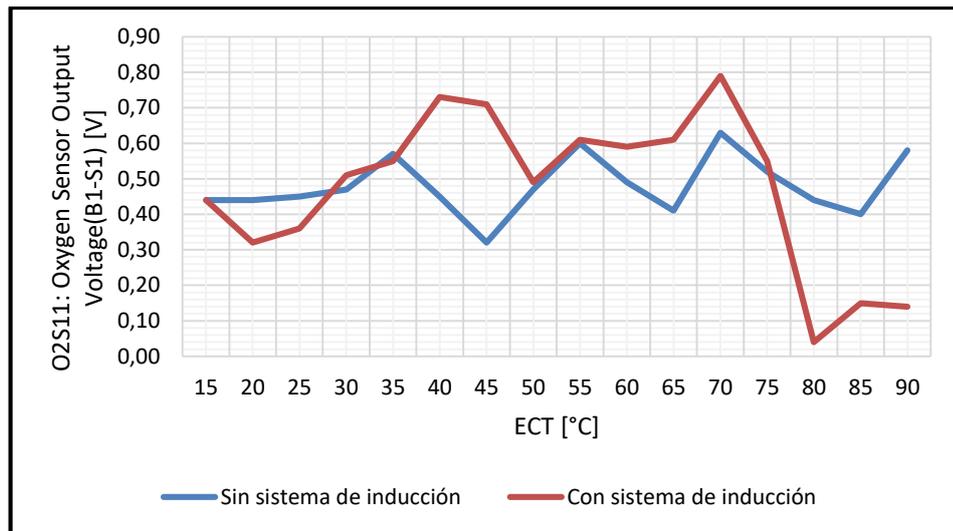
**Voltaje de sensor de oxígeno (B1-S1) con y sin sistema de inducción**

O2S11: Oxygen Sensor Output Voltage(B1-S1) [V]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,44	0,44
20,00	0,44	0,32
25,00	0,45	0,36
30,00	0,47	0,51
35,00	0,57	0,55
40,00	0,45	0,73
45,00	0,32	0,71

CONTINÚA 

50,00	0,47	0,49
55,00	0,60	0,61
60,00	0,49	0,59
65,00	0,41	0,61
70,00	0,63	0,79
75,00	0,52	0,55
80,00	0,44	0,04
85,00	0,40	0,15
90,00	0,58	0,14

En la figura 173, se muestra el voltaje generado por el sensor de oxígeno, cuando se utiliza el sistema de inducción muestra un voltaje menor al generado sin utilizar el sistema, es decir la operación es normal ya que durante el arranque en frío se utiliza mezcla rica, superando una temperatura de 35°C los valores de voltaje son normales variando de 0,2 a 0,8 voltios.



**Figura 173. Comparación de voltaje del sensor de oxígeno vs temperatura del sensor ECT, con y sin sistema de inducción**

## CAPITULO V

### 5. MARCO ADMINISTRATIVO

En la ejecución del proyecto de investigación del desempeño de los catalizadores de tres vías a través del uso de un sistema de inducción para establecer la transformación catalítica y control de emisiones se consideró aspectos administrativos, logísticos y económicos y los recursos necesarios que garantizan la viabilidad y factibilidad de ejecución de la investigación.

#### 5.1. Factibilidad de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta la disponibilidad y optimización de recursos materiales, humanos y tecnológicos, asegurando la factibilidad de su realización.

##### 5.1.1. Recursos materiales

Los recursos materiales que se emplearon para la ejecución del proyecto de titulación se describen a continuación:

**Tabla 108**

#### **Recursos materiales**

Orden	Detalle
1	Fuente de alimentación de CA
2	Módulo de potencia
3	Sistema de calentamiento
4	Módulo de control y monitorización
5	Soporte de vinilo
6	Vehículo de prueba

### 5.1.1. Recurso humano

El talento humano que colaboraron con sus ideas y conocimiento en el desarrollo de la presente investigación en sus diferentes etapas de desarrollo se presentan a continuación:

**Tabla 109**

#### Talento humano

Orden	Nombre	Función
1	Fredy Salazar	Investigador
2	Ing. Leonidas Quiroz	Director de proyecto de investigación Asesor de pruebas y analista de emisiones
3	Ing. German Erazo	Colaborador científico
4	Ing. Diego Lincango	Asesor de pruebas de torque y potencia

### 5.1.2. Recurso financiero

La investigación es autofinanciada en su totalidad por parte del investigador cubriendo la inversión de los recursos materiales y tecnológicos utilizados para su ejecución, con un costo total de 2510,30 USD.

#### a. Equipo y materiales

**Tabla 110**

#### Implementación de la fuente de alimentación de corriente alterna

Orden	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Batería AGM de 12V-170Ah	2	230	460
2	Inversor de potencia 3500W	1	645	645
3	Conductor eléctrico N° 0	5m	13	65
4	Fusible de cuchilla	1	12	12
5	Porta fusible	1	20	20
6	Terminales	12	0,40	4,80
			<b>TOTAL</b>	<b>1206,80</b>

Tabla 111

## Implementación del módulo de potencia

Orden	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Relé automotriz 20A	1	3,60	3,60
2	Base para relé	3,50	3,50	3,50
3	Conductor eléctrico N° 14	4m	0,60	2,40
4	Terminales eléctricos	12	0,10	1,20
5	Termoencogible	1m	1,50	1,50
			<b>TOTAL</b>	12,20

Tabla 112

## Implementación del sistema de inducción

Orden	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Catalizador MAGNAFLOW	1	165	165
2	Bobina de resistencia	1	135	135
3	Fibra de cerámica	1m	12	12
4	Silicona de alta temperatura	3	4,90	14,70
5	Carcasa metálica	1	20	20
			<b>TOTAL</b>	346,70

Tabla 113

## Implementación del módulo de control y monitorización

Orden	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Controlador electrónico de temperatura	1	145	145
2	Termocupla tipo K	1	10	10
3	Cable compensado para termocupla	2m	3,60	7,20
4	Pantalla TFT LCD 2,4"	1	21	21
5	Tarjeta Arduino Mega 2560	1	65	65
6	Soporte de vinilo	1	15	15
7	Baquelita	100cm <sup>2</sup>	1,20	1,20
8	Regulador de tensión LM7805	4	1,10	4,40
9	Condensador	8	0,45	3,60
10	Resistencia	3	0,30	0,90

CONTINÚA 

11	Relés de 12V	4	1,10	4,40
12	Borneras	7	0,20	1,40
13	Estaño	1m	0,50	0,50
14	Pasta de soldar	1	3	3
			<b>TOTAL</b>	282,60

### b. Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos computarizados utilizados en la realización de la investigación se citan a continuación:

<b>Software de modelado paramétrico de sólidos</b>	Modelado CAD del sistema de calentamiento
<b>Software de simulación ingenieril</b>	Simulación y análisis del sistema de calentamiento
<b>Software de estudio de materiales</b>	Selección de materiales para el sistema de calentamiento
<b>Software de circuitos eléctricos y electrónicos</b>	Diseño y simulación de circuitos eléctricos y electrónicos
<b>Software de diseño de circuitos impresos</b>	Diseño del circuito impreso de la placa de control y monitorización
<b>Software Arduino IDE</b>	Programación de la placa Arduino
<b>Software OBDWIZ</b>	Visualización de la gestión electrónica del vehículo
<b>Documentos, texto y hojas de cálculo.</b>	Tabulación y escrito

Tabla 114

## Equipos tecnológicos

Orden	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Monitor-scanner OBDLink SX	1	65	65
2	Multímetro automotriz	1	180	180
3	Cargador de baterías	1	165	165
4	* Analizador de gases CARTEK	1	0	0
5	* Analizador de gases AGS-688	1	0	0
6	* Cuentarrevoluciones MGT 300	1	0	0
7	**Dinamómetro de rodillos LPS 3000	1	0	0
			<b>TOTAL</b>	410

\* Equipo propiedad de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

\*\* Equipo propiedad del CCICEV.

Tabla 115

## Ensayos de investigación

Orden	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Pruebas de torque y potencia	6	42	252
2	Pruebas de emisiones	18	0	0
3	Pruebas de consumo de combustible	18	0	0
			<b>TOTAL</b>	252

## CONCLUSIONES

- Se recopiló información teórica técnica y científica inherente a sistemas de control de emisiones y equipos de medición de parámetros característicos del motor de combustión interna que fundamenta la investigación.
- Con el propósito de obtener datos reales y confiables de cada una de las pruebas se realizó la puesta a punto del motor y los sistemas automotrices del vehículo siguiendo un plan de mantenimiento preventivo.
- Se implementó el monitor scanner OBDLink SX para la medición de consumo de combustible mediante el protocolo de comunicación J1850 VPW.
- Se diseñó y construyó un sistema de inducción experimental para el calentamiento del catalizador realizando pruebas de emisión, potencia, torque, consumo de combustible y gestión electrónica antes y después de la implementación del sistema de monitoreo y control de temperatura del convertidor catalítico.
- El sistema de inducción, se diseñó mediante modelado CAD y simulación de su funcionamiento con un estudio estático térmico considerando valores de simulación como temperatura ambiente 22°C y temperatura de 309°C del monolito cerámico mediante la transferencia de calor por conducción térmica validando el diseño.
- Para alcanzar la temperatura óptima de operación del catalizador la bobina calefactora alcanza una temperatura de 880,03°C, con un flujo de calor direccional máximo de 31,073 W/mm<sup>2</sup> y un flujo de calor total de 96,048 W/mm<sup>2</sup>.

- Para la construcción de la bobina calefactora se obtuvieron datos importantes del modelado a partir del diseño asistido por computador como el material Nicromo y sus dimensiones, según simulación y cálculos la bobina presento una resistencia de  $0,1\Omega$ , además la intensidad de consumo de 120 amperes con una potencia de disipación de 1440W capaz de liberar una energía de 576000 Joule.
- Debido a las condiciones de funcionamiento y a los altos requerimientos de energía se optó por implementar una fuente independiente que cubra las necesidades de consumo de energía por parte de la bobina.
- La eficiencia del inversor de potencia seleccionado es del 90% siendo necesario un consumo de 1600 W-h, la energía necesaria que debe suministrar la fuente es de 133,33 A-h para el funcionamiento del sistema de calentamiento, se seleccionó dos baterías de 12V y 170 A-h conectados en paralelo incrementando la autonomía y el tiempo de descarga.
- Se ejecutaron pruebas del tiempo de calentamiento del catalizador genuino con un tiempo de 17,5 minutos en alcanzar una temperatura máxima de  $309^{\circ}\text{C}$  y estabilizar su valor, con el uso del sistema de inducción tardó 3,75 minutos en alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento del catalizador, presentando una efectividad de 78,57% de calentamiento en relación al funcionamiento sin sistema.
- Se determinó el valor del torque máximo en promedio de 67 lbf. ft con el uso del sistema de calentamiento y de 93,47 lbf. ft sin el uso de sistema, representando el 28,25% de disminución de su valor en relación al funcionamiento sin el sistema.
- La potencia con el sistema de calentamiento mostro un valor promedio de 65,60 lbf. ft y de 62,80 lbf. ft sin el sistema, que

corresponde a 0,32% de incremento en su valor en relación al funcionamiento sin el sistema.

- Las pruebas de análisis de emisiones residuales en ralentí durante el arranque en frío a 22°C de temperatura del motor determinaron una clara disminución de los agentes contaminantes mediante el uso del sistema de inducción en relación al funcionamiento sin el uso del sistema, los hidrocarburos disminuyeron de un valor de 340,33 ppm a 133,33 ppm, representando una disminución de 60,82%, el monóxido de carbono de 1,34% a 0,26% reflejando una disminución de 79,03%. Mientras que el dióxido de carbono incremento su valor de 13,13% a 13,9% estabilizando su valor por encima del 14% en volumen mientras el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento.
- El comportamiento de los gases residuales mediante el funcionamiento del sistema de calentamiento en relación al funcionamiento sin el sistema en velocidad crucero durante el arranque en frío presento una disminución de la concentración de hidrocarburos de 122,33 ppm a 93,67 ppm, presentando una reducción de 23,42%, el monóxido de carbono presento un valor de 0,35% en volumen con y sin sistema de calentamiento, a medida que aumenta la temperatura del motor presento un ligero incremento con un valor más evidente de 0,24% a 50°C en relación al funcionamiento sin sistema, mientras que el dióxido de carbono aumento su valor de 13,66% a 13,83% reflejando un incremento de 1,24%, logrando un valor máximo de 14,06% en volumen a temperatura óptima de funcionamiento.
- El análisis de emisiones en medición continua indico una clara disminución de los gases contaminantes con funcionamiento del sistema de calentamiento durante el arranque en frío a 15°C con valores de concentración de hidrocarburos de 413,67 ppm a 239,33 ppm reflejando una disminución de 42,15%, el monóxido de carbono de 3,76% a 0,75%, mostrando una reducción del 80% y el óxido de

nitrógeno de 93 ppm a 84,33 ppm representado una disminución de 9,32%, todos ellos con relación al funcionamiento sin el sistema.

- La máxima eficiencia del sistema de inducción para catalizador en la transformación catalítica de los gases contaminantes durante el arranque en frío del vehículo es de 42,14% a 15°C para hidrocarburos, de 80,05% a 15°C para monóxido de carbono y de 37,92% a 20°C para óxidos de nitrógeno.
- La evaluación de la eficiencia promedio del sistema de inducción en la transformación catalítica de los tres gases más contaminantes durante el trabajo en frío del vehículo en comparación al funcionamiento del catalizador estándar es de 19,73% para hidrocarburos, 17,93% para monóxido de carbono y de 19,39% para óxidos de nitrógeno durante el funcionamiento del sistema.
- Los resultados obtenidos mediante la evaluación de consumo de combustible a partir de una ruta establecida dentro del perímetro urbano de la ciudad de Latacunga con una distancia total recorrida de 3,57 kilómetros, reflejaron que en tráfico ligero con sistema se consume 12,63 l/100Km y sin sistema 12,43 l/100Km representando el 1,60% en el incremento de consumo, en tráfico moderado con sistema es de 12,83 l/100Km y sin sistema de 12,54 l/100Km manifestando un incremento de 2,31% de consumo, mientras que en alto tráfico con sistema es de 13,87 l/100Km y sin sistema de 13,47 l/100Km con un incremento de consumo de 2,96%, la utilización del sistema de calentamiento influye en el consumo de combustible.
- La influencia del sistema de calentamiento en la gestión electrónica de combustible genero el aumento del 1% en el valor de la carga calculado, así también varió en un grado el avance de tiempo de ignición, mientras que el ajuste de combustible a largo plazo genero un valor constante de compensación de combustible de 10,74%

generando una falla que se puede detectar únicamente con el scanner mediante el monitoreo de DTCs en tiempo real.

- El sistema de inducción presentó una disminución considerable de los subproductos de la combustión durante el arranque en frío; lo que es un indicativo de la eficiencia del sistema de calentamiento para el catalizador con el fin de mejorar la eficiencia catalítica lo que demuestra que la implementación fue exitosa para los fines previstos en la investigación.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar el sistema de inducción para catalizador a diferentes altitudes sobre el nivel del mar y con diferentes tipos de combustible con el uso del analizador de emisiones portátil.
- Desarrollar y evaluar un sistema de calentamiento para catalizador con inyección de aire comprimido a alta temperatura directamente en el catalizador para mejorar el proceso catalítico.
- Implementar un sistema de calentamiento modificando el monolito cerámico del convertidor catalítico mediante la aplicación de resistencias calefactoras generando calor directamente en el catalizador, y evaluar el comportamiento de las emisiones producidas por la combustión.
- Evaluar el sistema de inducción para catalizador trabajando a la par con nuevas tecnologías anticontaminación como la inyección de agua en los cilindros de los motores de encendido por chispa.
- Desarrollar un sistema de inducción para el catalizador de reducción selectiva SCR para el tratamiento de los óxidos de nitrógeno en motores de encendido por compresión evaluando el comportamiento de los gases residuales.
- Impulsar este tipo de investigaciones a fin de mejorar y desarrollar un producto competitivo y de calidad que busca mitigar en parte el impacto ambiental producido por los gases de escape de motores de combustión interna.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agustín Castejón Oliva, G. S. (1993). Tecnología eléctrica. Madrid: McGraw-Hill.
- Alonso Peres, J. M. (2014). Sistemas auxiliares de motor. Madrid: Paraninfo.
- Alvarez Flores, J. A. (2005). Motores alternativos de combustión interna. Cataluña: Ediciones UPC.
- Antonio Lloris Ruiz, A. P. (2003). Sistemas digitales (2 ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- Arias Paz, M. (1999). Manual de Automóviles. Madrid: CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L.
- BOSCH. (2003). Técnica de gases de escape para motores gasolina. Alemania: Robert Bosch GmbH.
- Bosch, R. (2005). Manual de la técnica del automóvil. Alemania: Robert Bosch GmbH.
- Calleja, D. G. (2015). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares (Segunda ed.). Madrid: Paraninfo, SA.
- Castejon Oliva, A., & Santamaria Herranz, G. (1993). Tecnología Eléctrica. Madrid: Interamericana de España S.A.
- Crouse. (2007). Motores. Valencia: Alfaomega Colombiana S.A.
- Gerschler, H. (1985). Tecnología del automóvil. Barcelona: Reverte S.A.
- Giancoli, D. C. (1995). Physics (4th ed ed.). Prentice Hall.
- Hartman, J. (2013). How to Tune and Modify Engine Management System. Texas.
- James W. Nilsson, S. A. (1995). Circuitos eléctricos (4 ed.). Addison: Wesley Iberoamerica.
- Kern, D. (1995). Procesos de transferencia de calor. México, D.F.: Continental S.A.
- Kindler, H., & Kynast, H. (1986). Matemática aplicada para la técnica del automóvil. Barcelona: REVERTE, S.A.
- Kuznetzov, M. (1967). Fundamentos de Electrotécnia. Moscú: MIR.
- Lauster, F. (1982). Electrotérmia Industrial. Bilbao: URMO, S.A.

- Layne, K. (1992). Manual de electrónica y electricidad automotrices. México, D.F.: Prentice Hall.
- Marek, J. (2003). Sensors for Automotive Technology (Wiley-VCH). Darmstadt: Betz-Druck GmbH.
- Ocaña, A. O. (2000). Tratado del automóvil. Madrid: Dossat.
- Perez Bello, M. A. (2011). Sistemas auxiliares del motor (Primera ed.). Madrid: Paraninfo.
- Perez, F. (2000). Estudio y análisis de catalizadores en los motores a gasolina. Latacunga.
- Perez, J. M. (1998). Técnicas del automóvil. Madrid: Thomson/Paraninfo.
- Popovic, Z., & Popovic, B. D. (2001). Introducción al electromagnetismo. México, D.F.: Continental.
- Robert L. Boylestad, L. N. (2009). Teoría de circuitos y dispositivos Electrónicos. México, D.F.: Pearson Education.
- Rodriguez Melchor, J. C. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (Primera ed.). Malaga: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S.A.
- Thonon, J. (1984). Control y puesta a punto del automóvil. Barcelona: Marcombo.
- Tokheim, R. L. (1985). Fundamentos de microprocesadores. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Trasancos, J. G. (2003). Electrotécnia. Madrid: Thomson/Paraninfo.
- Usategui, J. M. (2003). Microcontroladores PIC. Madrid: McGraw-Hill.

## NETGRAFÍA

- AEADE. (2014). ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, Obtenido de [http://www.aeade.net/sdm\\_downloads/anuario-2014/](http://www.aeade.net/sdm_downloads/anuario-2014/)
- Chevrolet. (2011). Ficha Técnica . Recuperado el 17 de noviembre de 2016, Obtenido de [https://www.globalbuypower.com/content\\_data/LAAM/EC/es/GBPEC/001/BRANDSITE/site/vehículos/Autos/Aveo-@ctivo/Sedan-ficha-técnica.html](https://www.globalbuypower.com/content_data/LAAM/EC/es/GBPEC/001/BRANDSITE/site/vehículos/Autos/Aveo-@ctivo/Sedan-ficha-técnica.html)
- Cise Electrónica. (24 de Octubre de 2010). Acerca de los Códigos de falla o DTC. Recuperado el 21 de Diciembre de 2017, Obtenido de Cise Electrónica: <http://www.cise.com/portal/notas-técnicas/item/228-acerca-de-los-c%C3%B3digos-de-falla-o-dtc.html>
- Cise electrónica. (7 de Febrero de 2011). Datos en el scanner. Recuperado el 21 de Diciembre de 2017, Obtenido de Cise electrónica: <http://www.cise.com/portal/notas-técnicas/item/322-datos-en-el-scanner.html>
- Echeverría, F. X. (2011). Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/164/1/T-UIDE-0158.pdf>
- INEN. (2000). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2203. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.2203.2000>
- INEN. (2002). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2204. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.2204.2002>
- Osalan. (18 de Enero de 2018). Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, Obtenido de <http://www.osalan.euskadi.eus/a-quien-nos-dirigimos/-/que-es-la-prevención-de-riesgos-laborales/>
- Semplades. (24 de Junio de 2013). Plan Nacional Del buen vivir. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, Obtenido de <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>

# ANEXOS



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

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **FREDY HERNAN SALAZAR TERCERO.**

En la ciudad de Latacunga, a los ocho días del mes de marzo de 2018.

Ing. Leonidas Quiroz

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

**DIRECTOR DE CARRERA**



Dr. Freddy Jaramillo

**SECRETARIO ACADÉMICO**